

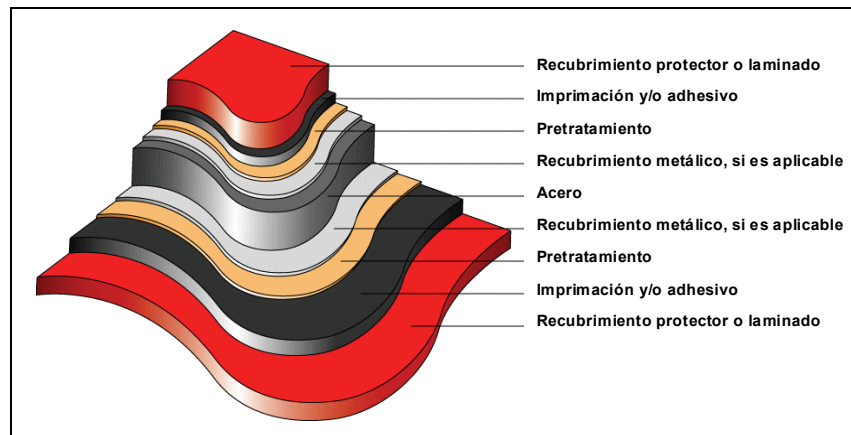


EUROPEAN COMMISSION

Documento de referencia sobre las  
Mejores técnicas disponibles en el

# Tratamiento de superficies mediante disolventes orgánicos

Agosto de 2007



Este documento forma parte de una serie de documentos previstos que se incluyen a continuación (en el momento de redactar el texto todavía no se habían elaborado todos los documentos):

<b>Reference Document on Best Available Techniques . . .</b>	<b>Code</b>
Large Combustion Plants	LCP
Mineral Oil and Gas Refineries	REF
Production of Iron and Steel	I&S
Ferrous Metals Processing Industry	FMP
Non-ferrous Metals Industries	NFM
Smitheries and Foundries Industry	SF
Surface Treatment of Metals and Plastics	STM
Cement and Lime Manufacturing Industries	CL
Glass Manufacturing Industry	GLS
Ceramic Manufacturing Industry	CER
Large Volume Organic Chemical Industry	LVOC
Manufacture of Organic Fine Chemicals	OFC
Production of Polymers	POL
Chlor – Alkali Manufacturing Industry	CAK
Large Volume Inorganic Chemicals - Ammonia, Acids and Fertilisers Industries	LVIC-AAF
Large Volume Inorganic Chemicals - Solid and Others industry	LVIC-S
Production of Speciality Inorganic Chemicals	SIC
Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector	CWW
Waste Treatments Industries	WT
Waste Incineration	WI
Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities	MTWR
Pulp and Paper Industry	PP
Textiles Industry	TXT
Tanning of Hides and Skins	TAN
Slaughterhouses and Animals By-products Industries	SA
Food, Drink and Milk Industries	FDM
Intensive Rearing of Poultry and Pigs	ILF
<i>Surface Treatment Using Organic Solvents</i>	<i>STS</i>
Industrial Cooling Systems	CV
Emissions from Storage	ESB
<b>Reference Document . . .</b>	
General Principles of Monitoring	MON
Economics and Cross-Media Effects	ECM
Energy Efficiency Techniques	ENE

En <http://eippcb.jrc.es> se encuentran disponibles versiones electrónicas de los borradores y documentos finales.

## RESUMEN

El BREF (documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD)) titulado «Tratamiento de superficies mediante disolventes orgánicos (STS)» recoge el intercambio de información efectuado con arreglo a lo dispuesto en el artículo 16, apartado 2, de la Directiva 96/61/CE del Consejo (Directiva IPPC). El presente resumen describe los principales resultados, así como las conclusiones más importantes sobre las MTD y los niveles asociados de consumo y emisiones. Conviene leerlo junto con el «Prefacio», donde se exponen los objetivos del documento BREF, cómo debe consultarse y la terminología empleada. Este texto puede leerse y comprenderse por sí solo pero, al tratarse de un resumen, no es tan completo como el documento BREF íntegro; por este motivo, no pretende sustituirlo como instrumento para la toma de decisiones en cuanto a las MTD.

### Ámbito de aplicación del documento

El ámbito de aplicación de este documento se describe en el anexo I, punto 6.7, de la Directiva IPPC: «*Instalaciones de tratamiento de superficie de materias, objetos o productos, que utilicen disolventes orgánicos, en particular para operaciones de preparación, impresión, revestimiento, desengrase, impermeabilización, encolado, pintado, limpieza o impregnación y con una capacidad de consumo superior a 150 kg de disolventes por hora o a 200 toneladas por año.*»

El sector solicitó que se aclararan las definiciones de «disolventes orgánicos» y «capacidad de consumo». Al término del intercambio de información, pudo observarse que la información sobre disolventes orgánicos manejada durante el mismo se correspondía con la definición de COV (según establece la Directiva 1999/13/CE del Consejo, sobre emisiones de disolventes). También se vio que, a la hora de determinar las conclusiones sobre las MTD, el intercambio se había centrado en instalaciones cuyo uso efectivo de disolventes había superado los umbrales de capacidad de consumo establecidos en la Directiva IPPC (en casos en que el uso en la actividad incluía disolventes recuperados de los equipos de reducción de emisiones de gases residuales). La interpretación de estos umbrales de capacidad se está debatiendo en la Dirección General de Medio Ambiente, la cual intenta desarrollar criterios para la interpretación de determinadas disposiciones de la Directiva.

En este documento se trata de lo siguiente:

- tres procesos de impresión que utilizan disolventes a gran escala (*offset* de bobinas con secado por calor, embalajes flexibles y huecograbado de publicaciones);
- recubrimiento o pintura de hilo para bobina, coches y vehículos industriales, autobuses, trenes, equipos agrícolas, buques y yates, aeronaves, bobinas de acero y aluminio, embalajes de metal, muebles y madera, así como otras superficies metálicas y de plástico;
- aplicación de adhesivos en la fabricación de abrasivos y cintas adhesivas;
- impregnación de madera con conservantes;
- limpieza y desengrase relacionados con estas actividades; no se ha señalado ninguna industria de desengrase independiente.

En este BREF se debate sobre el uso de alternativas hidrosolubles a los revestimientos de base disolvente (como el revestimiento por galvanización); en el BREF STM se consideran otros tratamientos de superficies al agua.

En este documento no se han considerado otras actividades, como las siguientes:

- otros procesos de preparación, impermeabilización, encolado o impregnación que puedan incluirse en el ámbito de los documentos BREF del sector textil o curtidos;
- la producción de paneles laminados, tableros de partículas, etc., ya que éstos utilizan resinas al agua;
- industrias (o partes de estas) o actividades que emplean disolventes manifiestamente por debajo de los umbrales;

- fabricación de pinturas, tintas, adhesivos, etc., que no están incluidos en el ámbito del BREF.

A todas las industrias incluidas en este documento se les aplica también la Directiva sobre emisiones de disolventes (SED, Directiva 1999/13/CE del Consejo). Cuando la SED establece valores límite de emisión, se acepta que estos corresponden a valores límite de emisión mínimos con arreglo a la Directiva IPPC (artículo 18, apartado 2). No se utilizan como valores de emisión asociados a las MTD.

### **Información de carácter general**

Este sector no es homogéneo y engloba diversas industrias, con instalaciones cuyo tamaño va desde PYMES hasta multinacionales. Cada año se venden en Europa 4,5 millones de toneladas de disolventes, el 27 % de los cuales se utilizó en 2003 en las industrias de la pintura y revestimientos, lo que supone un descenso si lo comparamos con el 47 % de 1998, sin duda debido al aumento del uso de tecnologías de polvos al agua y otras tecnologías que utilizan poco los disolventes. Las formulaciones de tinta para imprimir utilizan alrededor del 7 % y los adhesivos alrededor del 4 % (estas cifras incluyen usos importantes no relacionados con la Directiva IPPC).

### **Principales problemas ambientales**

Los principales problemas ambientales se refieren a la emisión de disolventes a la atmósfera, vertidos al agua y a las aguas subterráneas, y al suelo. También es importante el consumo de energía, así como las emisiones de partículas a la atmósfera, la minimización y gestión de los residuos (incluida la reducción del consumo de materias primas por aumento de la eficiencia de su aplicación) y el estado del emplazamiento tras el cese de las actividades.

### **Estructura del documento**

Cada uno de los capítulos del 2 al 19 se refiere a una industria del sector y contiene cuatro secciones, a saber:

- Sección 1: información general sobre la industria o actividad correspondiente;
- Sección 2: descripción de los procesos industriales utilizados en esta industria o actividad;
- Sección 3: datos e información sobre los niveles actuales de consumo y emisiones;
- Sección 4: técnicas que han de tenerse en cuenta para la determinación de las MTD, como se explica más abajo respecto al capítulo 20; sin embargo, se insiste sobre todo en las técnicas o la información específicas de cada industria o actividad.

El capítulo 20 describe más a fondo técnicas genéricas para la reducción del consumo y de las emisiones, así como otras técnicas que se consideran idóneas para determinar las MTD y las condiciones de la autorización basadas en las mismas, y que son pertinentes para varias de las industrias o actividades correspondientes.

### **Consumo y emisiones**

Los mejores datos se relacionan con el volumen de producción sobre la base de parámetros de producción como, por ejemplo, superficie tratada (m<sup>2</sup>) o sólidos introducidos en el proceso. La mayor parte de los datos se refieren a instalaciones específicas o bien son rangos relativos a industrias. En la mayor parte de los casos, se indican valores de emisión asociados con una serie de MTD de cada industria, con arreglo a unos parámetros de producción adecuados.

### **Mejores técnicas disponibles**

El capítulo sobre MTD (capítulo 21) señala las técnicas que se consideran MTD de ámbito europeo, basándose sobre todo en la información que figura en el capítulo 20 y en los capítulos sobre las distintas industrias. A este respecto se tienen en cuenta tanto la definición de mejores técnicas disponibles del artículo 2, apartado 11, como las consideraciones recogidas en el anexo IV de la Directiva IPPC. El capítulo sobre MTD no fija ni propone valores límite de emisión, sino que indica valores de consumo y emisión que se suelen asociar al uso de una combinación de MTD.

Las MTD asociadas a los tratamientos de superficie de base acuosa (tal como se definen en la Directiva IPPC, anexo I, punto 2.6) realizados junto con procesos de base disolvente, se encuentran en el BREF STM. Pueden encontrarse otras técnicas y más información en los documentos BREF CWW, BREF de almacenamiento y BREF de control de emisiones, así como en otros documentos BREF. Sin embargo, estas técnicas no se han validado para las industrias incluidas en este documento.

A continuación se resumen las principales conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles en relación con los problemas ambientales de mayor interés. Aunque la industria es compleja en cuanto al tamaño y la diversidad de sus actividades, pueden considerarse para el conjunto unas mismas MTD genéricas. También se indican otras MTD aplicables a procesos concretos. Los elementos de las MTD aplicables a una instalación concreta se seleccionarán de las MTD descritas en relación con la actividad, teniendo en cuenta las consideraciones recogidas en el anexo IV de la Directiva IPPC.

### **MTD genéricas**

*Diseño, construcción y funcionamiento de la instalación.* Constituye una MTD minimizar el consumo y las emisiones (en particular al suelo, agua y aguas subterráneas, así como a la atmósfera) mediante:

- la aplicación y el seguimiento de sistemas de gestión ambiental y de otros tipos, tanto si están validados externamente como si no; entre ellos se incluye la planificación de la reducción continua de la huella ambiental de la instalación (con medidas e inversiones), la comparación de consumos y emisiones (a lo largo del tiempo frente a los datos internos y externos), la consideración del cierre final a la hora de diseñar nuevas instalaciones o mejorar las existentes, etc.;
- el uso de una gestión del riesgo simple para diseñar, construir y explotar una instalación, junto con las técnicas descritas en este documento y en el BREF de almacenamiento en relación con el almacenamiento y utilización de sustancias químicas del proceso y materias primas; estas MTD ayudan al cierre de la instalación reduciendo las emisiones imprevistas, registrando los datos de utilización de sustancias químicas prioritarias y peligrosas y tratando sin demora la posible contaminación;
- la aplicación de técnicas de explotación como la automatización, la formación y el uso de métodos escritos de explotación y mantenimiento.

*Control* Constituye una MTD controlar las emisiones de disolventes para poder reducirlas mediante:

- la utilización de un plan de gestión de disolventes, lo que es fundamental para calcular las emisiones fugitivas o totales: deben hacerse regularmente, aunque pueden establecerse parámetros clave con fines de evaluación comparativa y control periódico; deben hacerse mediciones directas según las técnicas contempladas;
- la garantía del mantenimiento periódico del equipo crítico para el cálculo de las emisiones, así como de su recalibración en caso necesario.

*Reducción del consumo de agua o conservación de las materias primas en los procesos de tratamiento de base acuosa.* Constituye una MTD el uso de:

- técnicas como el aclarado en cascada (múltiple), el intercambio iónico o la separación por membrana;
- medidas de control para minimizar el uso de agua de refrigeración;
- sistemas cerrados de refrigeración o intercambiadores de calor.

*Minimización del uso de energía.* Constituye una MTD aplicar las técnicas descritas, en particular: reduciendo el volumen de aire que se traslada, minimizando las pérdidas de energía reactiva, controlando la elevada demanda de energía en el momento de arranque de los aparatos, usando aparatos con elevada eficiencia energética, etc.

*Gestión de las materias primas.* Constituye una MTD:

- reducir el impacto ambiental de las emisiones a la hora de seleccionar las materias primas adecuadas;
- reducir el consumo de materias primas utilizando una o varias de las técnicas descritas.

*Sistemas de tratamiento, aplicación y secado/curado de superficies.* Constituye una MTD minimizar las emisiones de COV y el consumo de energía, y maximizar la eficiencia de las materias primas (es decir, reducir los residuos) seleccionando un sistema que combine estos objetivos. Esto es aplicable tanto a una instalación nueva como a la mejora de una existente.

*Limpieza.* Constituye una MTD utilizar las técnicas descritas para:

- conservar las materias primas y reducir las emisiones de disolventes reduciendo al mínimo los cambios de color y la limpieza;
- reducir las emisiones de disolventes recogiendo y reutilizando los disolventes empleados en la limpieza de las pistolas para pintura;
- minimizar las emisiones de COV seleccionando una o varias técnicas en función del proceso y del equipo, de la persistencia de la contaminación y del objeto limpiado (equipo o sustrato).

*Uso de sustancias menos peligrosas (sustitución).* Constituye una MTD:

- emplear técnicas que no utilicen (muchos) disolventes para la limpieza, tal como se describe en la parte general, y para la producción, según se dispone en la parte sobre industrias específicas;
- minimizar los efectos fisiológicos adversos sustituyendo las sustancias que llevan las frases de riesgo R45, R46, R49, R60 y R61 de acuerdo con el artículo 5, apartado 6, de la Directiva 1999/13/CE del Consejo;
- minimizar los efectos ecotóxicos adversos sustituyendo las sustancias que llevan las frases de riesgo R58 y R50/53 cuando haya riesgo de emisión al medio ambiente y existan alternativas;
- reducir la destrucción de ozono estratosférico (capas altas) sustituyendo las sustancias que lleven la frase de riesgo R59; en particular, todos los disolventes halogenados, total o parcialmente, con la frase de riesgo R59 que se utilicen para la limpieza deben sustituirse o controlarse de la forma descrita;
- minimizar la formación de ozono troposférico (capas bajas) utilizando COV o mezclas con bajo potencial de formación de ozono (OFP); en caso de que los valores de emisión asociados no se puedan alcanzar con la utilización de otras medidas o de que no sea posible técnicamente aplicar estas (por ejemplo, por tener efectos cruzados desfavorables) y cuando se proceda a hacer sustituciones como las descritas anteriormente; no obstante, esto no se puede aplicar a formulaciones complejas, como las pinturas de automóviles, ni a determinados sistemas de un solo disolvente cuando no se disponga aún de solución alternativa, como el huecograbado de publicaciones; en caso de que no se aumente el OFP, puede efectuarse la sustitución con disolventes cuyo punto de inflamación sea  $> 55$  °C.

*Emisiones atmosféricas y tratamiento de los gases residuales.* Constituye una MTD proceder, en el diseño, explotación y mantenimiento de la instalación, a lo siguiente:

- minimizar las emisiones en origen, recuperar los disolventes de las emisiones o destruir los disolventes presentes en los gases residuales; se indican los valores de emisión asociados a distintas industrias; (el uso de materiales con bajo contenido de disolventes puede provocar un exceso de demanda de energía para el funcionamiento de los oxidantes térmicos; pueden dejar de usarse los oxidantes en caso de que los efectos cruzados negativos superen a los beneficios de destruir los COV);
- buscar posibilidades para recuperar y utilizar el exceso de calor generado por la destrucción de los COV y minimizar la energía utilizada en la extracción y destrucción de estos compuestos;
- reducir las emisiones de disolventes y el consumo de energía utilizando las técnicas descritas, como la reducción del volumen extraído y la optimización o concentración del contenido de disolventes.

*Partículas emitidas al aire por la pintura con pistola.* Constituye una MTD utilizar una combinación de las técnicas descritas. Los valores de emisión asociados son:

- 5 mg/m<sup>3</sup> como máximo en caso de instalaciones existentes
- 3 mg/m<sup>3</sup> como máximo en caso de instalaciones nuevas.

La industria del revestimiento de madera y muebles registró una opinión divergente: el valor de emisión correspondiente es de 10 mg/m<sup>3</sup> como máximo para las instalaciones, tanto nuevas como existentes. La justificación indicada consiste en que este valor es económica y técnicamente factible en la industria.

*Aguas residuales.* Constituye una MTD:

- reducir los vertidos al agua utilizando técnicas de minimización del agua, realizar pretratamiento y tratamiento de las aguas residuales según se describe;
- controlar las materias primas y efluentes para minimizar el vertido de los materiales con toxicidad acuática y reducir sus efectos cuando haya riesgo de contacto con el agua mediante alguno de los recursos siguientes: uso de materiales menos nocivos, reducción del uso y de las pérdidas de material en los tratamientos del proceso y por derrames, y tratamiento de las aguas residuales;
- en caso de que los disolventes puedan entrar en contacto con el agua, evitar niveles peligrosos en la atmósfera de las canalizaciones del alcantarillado manteniendo un nivel de vertidos que sea seguro;
- en relación con talleres de pintura que utilicen agua, aplicar las técnicas descritas; los valores de emisión asociados en caso de vertido a aguas superficiales son una DQO de 100 – 500 mg/l y una concentración de sólidos en suspensión de 5 – 30 mg/l;
- en caso de lavadores húmedos, reducir el consumo de agua y los vertidos y el tratamiento de efluentes optimizando la transferencia de pintura con una formación mínima de lodos de pintura.

En el BREF CWW se encuentran técnicas de depuración biológica de aguas residuales. En el BREF STM se estudian otras técnicas y los valores de emisión asociados.

*Recuperación de materiales y gestión de residuos.* Constituye una MTD reducir el consumo y las pérdidas de material, así como la recuperación, reutilización y reciclado de material según se describe.

*Olores desagradables.* Constituye una MTD, si se afecta a un receptor sensible, utilizar una técnica de control de las emisiones de COV, como el empleo de materiales o procesos que generen menos olores, o el tratamiento de los gases residuales con métodos como las chimeneas altas.

*Ruido.* Constituye una MTD señalar las fuentes importantes de ruido y los potenciales receptores sensibles situados en su proximidad; cuando el ruido pueda tener impacto, constituye una MTD utilizar técnicas de buenas prácticas como cerrar las puertas de los compartimentos, reducir al mínimo las entregas y utilizar controles de ingeniería, como el uso de silenciadores con los ventiladores grandes.

*Protección de las aguas subterráneas y cierre del emplazamiento.* En la MTD relativa al diseño, construcción y explotación de la instalación, más arriba, se dan MTD para tratar estas cuestiones.

### **MTD para industrias concretas**

*Impresión con offset de bobinas con secado por calor.* Constituye una MTD utilizar una combinación de técnicas para la impresión, la limpieza y la gestión de gases residuales, así como MTD genéricas para reducir la suma de las emisiones fugitivas y los COV que permanecen después del tratamiento de los gases residuales. Los valores de emisión asociados a la combinación de alcohol isopropílico y disolvente de limpieza son los siguientes:

- en caso de prensas nuevas o mejoradas del 2,5 al 10 % de COV, expresado como porcentaje en peso del consumo de tinta;



- en caso de prensas ya existentes, del 5 al 15 % de COV, expresado como porcentaje en peso del consumo de tinta.

Obsérvese que la mitad superior de estas gamas se relaciona con emisiones de alcohol isopropílico de tareas «difíciles» (según la definición). No pueden utilizarse técnicas de concentración debido a problemas de olores.

*Impresión de embalajes flexibles por flexografía y huecograbado de embalajes.* Constituye una MTD:

- utilizar una combinación de técnicas descritas para reducir la suma de emisiones fugitivas y no fugitivas de COV; los valores de emisión asociados a los tres supuestos que se dan en la industria son los siguientes (utilizando la emisión de referencia definida en el anexo II B de la SED):

(supuesto 1) instalaciones en las que todas las máquinas de producción funcionan con disolventes y están conectadas a dispositivos de reducción:

- con incineración: emisiones totales entre el 7,5 y el 12,5 % de la emisión de referencia;
- con recuperación de disolventes: emisiones totales entre el 10,0 y el 15,0 % de la emisión de referencia;

(supuesto 2) instalaciones existentes que cuentan con dispositivos de reducción de los gases residuales, sin que estén conectadas todas las máquinas de producción con base disolventes:

(2.1) respecto a las máquinas conectadas al dispositivo de reducción:

- con incineración: emisiones totales entre el 7,5 y el 12,5 % de la emisión de referencia relativa a estas máquinas;
- con recuperación de disolventes: emisiones totales entre el 10,0 y el 15,0 % de la emisión de referencia relativa a estas máquinas;

(2.2) respecto a las máquinas no conectadas al tratamiento de gases residuales, constituyen MTD las siguientes opciones:

- uso en estas máquinas de productos con bajo o nulo contenido de disolventes;
- conexión al dispositivo de reducción de los gases residuales cuando haya capacidad;
- dar preferencia a las tareas que necesiten un contenido elevado de disolventes en las máquinas conectadas a los dispositivos de reducción de gases residuales;

(supuesto 3) en caso de que las instalaciones carezcan de dispositivos de reducción de los gases residuales y estén utilizando la sustitución, constituye una MTD seguir la evolución de las tintas, barnices y adhesivos con bajo o nulo contenido de disolventes, y disminuir continuamente la cantidad de disolventes consumidos.

En los supuestos 1 y 2.1, cuando una instalación presente una proporción sólidos:disolventes superior a 1:5,5 para el conjunto de las tintas, barnices y adhesivos de base disolventes, es posible que no se alcancen los valores de emisión. En tal caso, constituye una MTD recubrir los tinteros o utilizar rasquetas de cámara y aplicar una combinación adecuada de otras técnicas, según se describe.

También constituyen MTD:

- reducir el consumo de energía cuando se optimiza el tratamiento de los gases residuales en todos los emplazamientos, y
- buscar oportunidades para recuperar y utilizar el eventual exceso de energía en todos los emplazamientos.

*Impresión con huecograbado de publicaciones.* Constituye una MTD:

- reducir la suma de emisiones fugitivas y los COV que permanecen después del tratamiento de los gases, expresado en relación con la entrada total de disolventes:
  - en caso de nuevas instalaciones, del 4 al 5 %, utilizando técnicas aplicables a las nuevas instalaciones, y



- en caso de instalaciones ya existentes, del 5 al 7 %, utilizando técnicas aplicables a las instalaciones ya existentes;
- evitar el consumo excesivo de energía utilizando el número óptimo de regeneraciones necesario para mantener las emisiones por debajo de los valores mencionados;
- reducir las emisiones de tolueno al alcantarillado municipal a un nivel inferior a 10 mg/l mediante la extracción del aire (*stripping*).

*Fabricación de hilo para bobina.* Constituye una MTD:

- minimizar el consumo de energía tras el secado del hilo por enfriamiento utilizando aire ambiente o exterior,
- reducir las emisiones totales de COV mediante una combinación de las técnicas descritas, así como de las MTD genéricas; los valores de emisión total asociados a estas técnicas son los siguientes:
  - 5 g/kg como máximo en caso de hilos distintos de los finos (diámetro > 0,1 mm),
  - 10 g/kg como máximo en caso de hilos finos (diámetro entre 0,01 y 0,1 mm);
- reducir más las emisiones de COV buscando y aplicando técnicas con una necesidad de disolventes baja o nula, en lugar de lubricantes de base disolventes.

*Fabricación de abrasivos.* Constituye una MTD:

- reducir las emisiones totales de COV mediante una o varias de las siguientes técnicas junto con las MTD genéricas:
  - uso de adhesivos con escaso o nulo contenido de disolventes; puede conseguirse si durante el proceso no hace falta refrigerar con agua, por ejemplo en caso de fabricación de abrasivos para pulir en seco;
  - aumento de la concentración interna de disolvente en los secadores;
  - uso de una combinación adecuada de técnicas de tratamiento de los gases residuales.

Los valores de emisión total de COV asociados a estas técnicas están entre el 9 y el 14 % en peso del aporte de disolventes.

*Fabricación de cintas adhesivas.* Constituye una MTD:

- en caso de producción de cintas con adhesivos de base disolventes, reducir las emisiones de COV utilizando una combinación de técnicas, junto con las MTD genéricas, incluidas las siguientes:
  - uso de adhesivos exentos de disolventes, cuando sea posible; los adhesivos de base acuosa y de fusión en caliente sólo utilizan pequeñas cantidades de disolventes (por ejemplo, en su limpieza); sin embargo, sólo pueden utilizarse en determinadas aplicaciones;
  - utilización de uno de los siguientes tratamientos o combinaciones de tratamientos de gases residuales: a+b, a+c, b, o c, en caso de:
    - a) condensación tras una fase de presecado utilizando un secador de gas inerte;
    - b) adsorción con una eficiencia de recuperación superior al 90 % del aporte de disolvente <http://www.google.es/firefox?client=firefox-a&rls=org.mozilla:es-ES:officialntes> y unas emisiones directas, tras esta técnica de reducción, de menos del 1 %;
    - c) equipos de oxidación con recuperación de energía.

Los valores de emisión asociados a estas técnicas son del 5 % en peso, como máximo, del aporte total de disolventes.

*Revestimiento de vehículos.* Constituye una MTD:

- minimizar el consumo de energía en la selección y realización de pintura, secado/curado y sistemas asociados de reducción de los gases residuales;
- minimizar las emisiones de disolventes, así como el consumo de energía y de materias primas, seleccionando una pintura y un sistema de secado como el que se describe; es necesario un sistema completo de revestimiento, dado que considerar las fases de forma individual puede resultar en incompatibilidades; los valores de emisión asociados son de 10 a 35 g/m<sup>2</sup> (zona galvanizada) (o de 0,3 kg/cuerpo + 8 g/m<sup>2</sup> a 1,0 kg/cuerpo + 26 g/m<sup>2</sup> equivalente); se señalan dos circunstancias excepcionales en que se han conseguido valores inferiores;

- establecer y aplicar planes para las instalaciones existentes a fin de reducir consumos y emisiones para alcanzar los valores de emisión antes citados, teniendo en cuenta los efectos cruzados, la relación coste/beneficio, los elevados costes de capital y los largos períodos de amortización para conseguir estos valores; es importante observar que para conseguir una mejora significativa harán falta técnicas con costes de capital importantes; puede ser más rentable y beneficioso para el medio ambiente esperar para un cambio significativo que ir haciendo pequeñas mejoras a corto plazo con las que no se conseguirá la misma mejora, en función de la escala temporal;
- cuando se aplique un tratamiento de gases residuales en cabinas de pulverización, concentrar los COV mediante una de las técnicas descritas de pretratamiento;
- optimizar la eficiencia de la transferencia utilizando una o varias de las técnicas descritas;
- minimizar el consumo de materias primas y la cantidad de residuos maximizando la eficiencia de la transferencia de material;
- minimizar la producción de residuos extrayendo el agua de los lodos de pintura, reciclando estos lodos o utilizando la técnica de emulsión en agua.

*Revestimiento de camiones y vehículos comerciales.* Constituye una MTD:

- minimizar las emisiones de disolventes, así como el consumo de energía y materias primas, utilizando una combinación de sistemas de pintura y secado, junto con sistemas de tratamiento de gases residuales; en particular, utilizar materiales de poliuretano libres de disolventes, aplicados por pulverización sin aire para amortiguación de ruidos y revestimiento de suelos, así como materiales prerrevestidos; los valores de emisión total asociados son de 10 a 55 g/m<sup>2</sup> en el caso de nuevas cabinas de camión y de 15 a 50 g/m<sup>2</sup> en el caso de nuevas camionetas y camiones (zona galvanizada); utilizar una combinación de técnicas para reducir las emisiones de disolventes procedentes de la limpieza; los valores de emisión asociados son inferiores a 20 g/m<sup>2</sup> (zona galvanizada);
- minimizar el consumo de materias primas y la cantidad de residuos maximizando la eficiencia de la transferencia de material;
- minimizar la producción de residuos extrayendo el agua de los lodos de pintura, reciclando estos lodos o utilizando la técnica de emulsión en agua.

*Revestimiento de autobuses.* Constituye una MTD:

- minimizar las emisiones de disolventes, así como el consumo de energía y materias primas, utilizando una combinación de sistemas de pintura y secado, junto con sistemas de tratamiento de gases residuales; en particular, utilizar materiales de poliuretano libres de disolventes aplicados por pulverización sin aire para amortiguación de ruidos y revestimiento de suelos, así como materiales prerrevestidos; los valores de emisión total asociados son de 92 a 150 g/m<sup>2</sup> (zona galvanizada);
- utilizar una combinación de técnicas para reducir las emisiones de disolventes procedentes de la limpieza; los valores de emisión asociados son inferiores a 20 g/m<sup>2</sup> (zona galvanizada);
- minimizar el consumo de materias primas y la cantidad de residuos maximizando la eficiencia de la transferencia de material;
- minimizar la producción de residuos extrayendo el agua de los lodos de pintura, reciclando estos lodos o utilizando la técnica de emulsión en agua.

*Revestimiento de trenes.* Constituye una MTD:

- reducir las emisiones de COV mediante una combinación de técnicas, incluidas las MTD genéricas; los valores de emisión asociados a estas técnicas son de 70 a 110 g COV/m<sup>2</sup> de superficie pintada (no de la zona galvanizada);
- utilizar una combinación de técnicas para reducir las emisiones de partículas al aire; los valores de emisión asociados son de 3 mg/m<sup>3</sup> o menos.

*Revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción.* Constituye una MTD:

- reducir el consumo y la emisión de disolventes, maximizar la eficiencia de la aplicación del revestimiento y minimizar el consumo de energía mediante una combinación de técnicas de pintura, secado y tratamiento de gases residuales; los valores de emisión asociados son:

- emisiones de 20 a 50 mg C/m<sup>3</sup> en gases residuales y del 10 al 20 % en caso de emisiones fugitivas, o bien
- emisiones totales de 0,2 a 0,33 kg COV/kg de sólidos introducidos;
- reducir el consumo de material, las emisiones de disolventes y la cantidad de aire que debe tratarse utilizando técnicas de inmersión para el revestimiento de componentes antes de su ensamblado;
- utilizar otros sistemas de pintura para sustituir a los que emplean disolventes halogenados.

*Revestimiento de buques y yates.* Constituye una MTD:

- minimizar las emisiones al medio ambiente incluyendo las MTD de esta sección en la disciplina sobre los diques secos para la instalación;
- reducir las emisiones de disolventes mediante una combinación de MTD genéricas y de algunas o la totalidad de las siguientes:
  - uso de pinturas al agua, de alto contenido en sólidos, o de dos componentes, si no está limitado por las necesidades técnicas o del cliente;
  - reducir el exceso de pulverización y aumentar la eficacia de la aplicación mediante una combinación de técnicas;
  - en caso de nueva construcción, pulverizar las distintas secciones antes de ensamblarlas en zonas cerradas, con extracción y tratamiento de los gases residuales;
- reducir las emisiones de partículas mediante una o varias técnicas;
- reducir la contaminación de las aguas residuales retirando los residuos, restos y envases de pintura, abrasivos utilizados, barros, residuos de aceite y cualesquiera materiales de desecho procedentes del dique antes de la inmersión; conservarlos en recipientes para su adecuada gestión, como reutilización o eliminación.

*Revestimiento de aeronaves.* Constituye una MTD:

- minimizar el vertido de Cr (VI) al agua utilizando sistemas alternativos de pasivado;
- reducir las emisiones de disolventes a la atmósfera mediante:
  - el uso de pinturas de alto contenido en sólidos;
  - la captura y el tratamiento de los gases residuales durante la aplicación de la pintura a los componentes;
- reducir las emisiones procedentes de la limpieza con una o varias de las siguientes medidas:
  - automatización del equipo de limpieza;
  - medición del disolvente utilizado para la limpieza;
  - utilización de paños preimpregnados;
- reducir las emisiones de partículas a la atmósfera utilizando las técnicas descritas; los valores de emisión asociados son de 1 mg/m<sup>3</sup> o menos.

*Revestimiento de otras superficies metálicas.* Constituye una MTD:

- reducir el consumo y la emisión de disolventes, maximizar la eficiencia de la aplicación del revestimiento y minimizar el consumo de energía mediante una combinación de técnicas de pintura, secado y tratamiento de gases residuales; los niveles de emisión asociados son de 0,1 a 0,33 kg COV/kg de sólidos introducidos; sin embargo, esto no se aplica a las instalaciones en que las emisiones se incluyen en los cálculos de emisiones en masa para el revestimiento en serie de vehículos;
- reducir el consumo de material mediante el uso de técnicas de aplicación de elevada eficacia;
- utilizar otros sistemas de pintura para sustituir a los que emplean disolventes halogenados.

*Revestimiento de bobinas.* Constituye una MTD:

- reducir el consumo de energía utilizando una serie de técnicas; los valores de consumo asociados son:

Consumo de energía por 1000 m <sup>2</sup> de sustrato	Mínimo	Máximo
Electricidad utilizada en kWh/1000 m <sup>2</sup> de aluminio	270	375
Electricidad utilizada en kWh/1000 m <sup>2</sup> de acero	250	440
Combustibles fósiles utilizados en MJ/1000 m <sup>2</sup> de aluminio	4000	9800
Combustibles fósiles utilizados en MJ/1000 m <sup>2</sup> de acero	3000	10 200

**Revestimiento de bobinas: consumo de energía con sustratos de aluminio y acero**

- reducir las emisiones de disolventes utilizando una combinación de las técnicas descritas; los valores de emisión asociados son:
  - en caso de instalaciones nuevas: de 0,73 a 0,84 g/m<sup>2</sup> de gases residuales, y del 3 al 5 % de emisiones fugitivas;
  - en caso de instalaciones ya existentes: de 0,73 a 0,84 g/m<sup>2</sup> de gases residuales, y del 3 al 10 % de emisiones fugitivas; las instalaciones existentes sólo alcanzarán los valores inferiores del rango cuando se mejoren significativamente;
- reciclar el aluminio y el acero de los sustratos residuales.

*Revestimiento e impresión de envases metálicos.* Constituye una MTD:

- reducir el consumo de energía utilizando diversas técnicas o recuperación de energía a partir del tratamiento térmico de gases residuales; los valores de consumo asociados, p. ej. en caso de latas embutidos y estirados (DWI) son:
  - gas natural de 5 a 6,7 kWh/m<sup>2</sup>;
  - electricidad de 3,6 a 5,5 kWh/m<sup>2</sup>;
  - energía recuperada (si puede recuperarse energía, pero no es posible si los niveles de las emisiones se alcanzan por sustitución) de 0,3 a 0,4 kWh/m<sup>2</sup>;
- reducir las emisiones de disolventes utilizando una combinación de técnicas; los valores de emisión asociados son:

	Nivel de emisión de COV en la aplicación (g/m <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	
	Con disolventes	Con agua
Contacto alimentario <ul style="list-style-type: none"> <li>• latas de bebidas DWI</li> <li>• láminas para tapas, latas y componentes</li> <li>• bidones</li> </ul>	6,7 – 10,5 4 – 93 90 – 100	3,2 – 4,5 1 – 30
Contacto no alimentario <ul style="list-style-type: none"> <li>• láminas para tapas, latas y componentes</li> <li>• bidones</li> </ul>	4 – 93 60 – 70	1 – 30 11 – 20
Pintura de imprenta <ul style="list-style-type: none"> <li>• láminas para tapas, latas y componentes <sup>(1)</sup></li> </ul>	2,5 – 13	1 – 6
Notas: <sup>1</sup> Las aplicaciones de pintura y tinta UV son de carácter no alimentario y especial, pero pueden alcanzar valores inferiores a los indicados en este cuadro. <sup>2</sup> Los valores incluyen también las emisiones fugitivas.		

**Envases metálicos: valores de emisión de disolventes asociados a las MTD**

- minimizar los vertidos al agua utilizando una gama de técnicas; los valores de vertido asociados son:

Compuestos	Concentración (mg/l)
DQO	< 350
AOX	0,5 – 1
HC	20 o menos
Sn	4 o menos

**Envases metálicos: valores de vertido asociados al agua residual**

*Revestimiento de piezas de plástico.* Constituye una MTD:

- reducir el consumo y la emisión de disolventes, maximizar la eficiencia de la aplicación del revestimiento y minimizar el consumo de energía mediante una o varias técnicas de pintura, secado y tratamiento de gases residuales; los niveles de emisión asociados son de 0,25 a 0,35 kg COV/kg de sólidos introducidos; sin embargo, esto no se aplica a las instalaciones en que las emisiones se incluyen en los cálculos de emisiones en masa para el revestimiento en serie de vehículos;
- reducir el consumo de material mediante el uso de técnicas de aplicación de elevada eficacia;
- dar prioridad a las técnicas al agua en relación con sistemas nuevos y mejorados;
- desengrasar a mano las superficies simples de polipropileno, mediante paños impregnados.

*Revestimiento de muebles y madera.* Constituye una MTD:

- reducir el consumo y la emisión de disolventes, maximizar la eficiencia de la aplicación del revestimiento y minimizar el consumo de energía mediante una combinación de técnicas de pintura, secado y tratamiento de gases residuales; los niveles de emisión asociados son bien un máximo de 0,25 kg de COV por kg de sólidos introducidos, o bien como se indica en el cuadro siguiente:

Contenido de disolventes orgánicos del sistema de pintura	Contenido de disolventes (% en peso)	Medidas de reducción de las emisiones	Emisión de COV (g/m <sup>2</sup> )
Alto	65	Técnicas de aplicación de elevada eficacia y buena limpieza	40 - 60
Medio	20		10 - 20
Bajo	5		2 - 5

**Revestimiento de madera: emisiones de COV con diversos sistemas de pintura y con medidas de reducción de las emisiones primarias**

- reducir las emisiones de partículas a la atmósfera (véanse las MTD genéricas, más arriba); este sector registró una opinión divergente: el valor de emisión asociado es de 10 mg/m<sup>3</sup> como máximo para las instalaciones tanto nuevas como existentes; la justificación indicada consiste en que este valor es económica y técnicamente factible en la industria.

*Conservación de la madera.* Constituye una MTD:

- reducir las emisiones de disolventes utilizando la impregnación en vacío con sistemas de plaguicidas al agua o con una elevada concentración, con tratamiento de los gases residuales para los sistemas de disolventes;
- utilizar la fase final de vacío del ciclo del proceso para eliminar el exceso de disolvente o de portador;
- utilizar un disolvente con bajo potencial de formación de ozono para los sistemas de base disolvente;
- drenar el exceso de plaguicida en zonas confinadas utilizando sistemas tanto al agua como de base disolvente.

No constituye una MTD hacer pulverizaciones, por su baja eficacia de aplicación general.

*Revestimiento de espejos.* Constituye una MTD:

- reducir el consumo y la emisión de disolventes (principalmente xileno) mediante una combinación de las técnicas descritas y las MTD genéricas; los valores de emisión asociados son de 1 a 3 g/m<sup>2</sup> para las emisiones de gases residuales (del 2 al 3 % de los disolventes introducidos) y de 5 a 10 g/m<sup>2</sup> para las emisiones fugitivas (del 8 al 15 % de los disolventes introducidos);
- reducir el uso de materiales peligrosos utilizando pinturas con bajo contenido en plomo.

Esta industria también utiliza tratamientos de superficies de base acuosa, descritos (con sus MTD) en el BREF STM.

### **Técnicas emergentes**

Se tratan varias técnicas que se están desarrollando más, o se están transfiriendo, para su aplicación a diversas industrias. En particular, respecto a las tintas, revestimientos o adhesivos, son: el uso de una cantidad menor o nula de disolventes, la mejora de los sistemas de base acuosa, los sistemas de uno y dos componentes, las pinturas con elevado contenido de sólidos y el revestimiento con polvo. Suelen implicar el desarrollo de secado no térmico o la maduración mediante radiación UV o de otro tipo. Para aplicar una capa final de lubricante sobre los cables para bobina, el avance fundamental consiste en utilizar técnicas que exigen disolventes en cantidades pequeñas o incluso nulas, lo que actualmente tiene aplicaciones limitadas.

En las industrias de revestimiento de vehículos, se está avanzando en las pinturas diluibles en agua, barnices de uno y dos componentes, pinturas de alto contenido en sólidos, revestimientos de polvo, pinturas de poliuretano que pueden aplicarse tanto a metales como a plásticos, aumento del uso de materiales prerrevestidos y, como consecuencia de muchos de estos avances, una reducción en el número de capas de pintura.

### **Observaciones finales**

El intercambio de información sobre las mejores técnicas disponibles para el tratamiento de superficies utilizando disolventes orgánicos se efectuó entre 2003 y 2006. El intercambio de información fue fructífero y se alcanzó un elevado nivel de consenso durante los trabajos y tras la reunión final del grupo de trabajo técnico. Sólo se registró una opinión divergente sobre las emisiones de partículas procedentes del revestimiento de muebles y madera.

Al final del intercambio de información, pudo verse que se había referido a la información que figura en la sección «Ámbito del documento».

En el capítulo sobre «Observaciones finales» se indican las lagunas en los conocimientos y las recomendaciones de investigación para el futuro. Debe trabajarse más en ciertos aspectos clave, como el potencial de generación fotoquímica de ozono y la relación coste-beneficio de la combustión de gas natural para reducir los COV.

Mediante sus programas de IDT, la CE lanza y apoya una serie de proyectos sobre tecnologías limpias, tecnologías emergentes de tratamiento y reciclado de efluentes, y estrategias de gestión. Estos proyectos podrían aportar una contribución útil a futuras revisiones de los documentos BREF. Por lo tanto, se ruega a los lectores que informen a la Oficina Europea de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (EIPPCB) de todos los resultados de las investigaciones relativas al ámbito de este BREF (véase también su prefacio).



## PREFACIO

### 1. Estado del presente documento

A menos que se indique lo contrario, en el presente documento, «la directiva» significará la directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y control integrados de la contaminación. Dado que la directiva es de aplicación sin perjuicio de otras disposiciones comunitarias sobre seguridad e higiene en el trabajo, también lo es el presente documento.

Este documento forma parte de una serie que presenta los resultados de un intercambio de información entre los Estados miembros de la UE y los sectores industriales afectados en relación con las mejores técnicas disponibles (MTD), el control asociado y sus mejoras. Está publicado por la Comisión Europea de acuerdo con el apartado 2 del artículo 16 de la directiva y, por tanto, debe tenerse en cuenta de conformidad con el anexo IV de la directiva a la hora de determinar dichas «mejores técnicas disponibles».

### 2. Obligaciones legales relevantes de la directiva IPPC y la definición de las MTD

Para ayudar al lector a comprender mejor el marco legal sobre el cual se ha elaborado este documento, en este prefacio se describen algunas de las disposiciones más importantes de la directiva IPPC, incluida la definición del término «mejores técnicas disponibles». Esta descripción es inevitablemente incompleta y se incluye únicamente a efectos informativos. No tiene valor legal y no altera ni merma en modo alguno las disposiciones existentes de la directiva.

El objetivo de la directiva es conseguir una prevención y control integrados de la contaminación generada por las actividades relacionadas en este anexo I para alcanzar un alto nivel de protección del medio ambiente en su conjunto. La base legal sobre la que se asienta la directiva es la protección ambiental. Su aplicación debe englobar otros objetivos comunitarios, como el de la competitividad de la industria comunitaria, contribuyendo así al desarrollo sostenible.

Más concretamente, establece un sistema de permisos para determinadas categorías de instalaciones industriales que exige que tanto los titulares como los reguladores adquieran una perspectiva integrada global respecto del potencial de contaminación y consumo de la instalación. El objetivo general de este planteamiento global tiene que ser el de mejorar la gestión y el control de los procesos industriales para garantizar un alto nivel de protección del medio ambiente en su conjunto. El elemento central de este planteamiento es el principio general que se expone en el artículo 3, según el cual los titulares deben tomar todas las medidas preventivas que sean necesarias para evitar la contaminación, en particular mediante la aplicación de las mejores técnicas disponibles que les permitan mejorar su actividad en términos ambientales.

El término «mejores técnicas disponibles» se define en el apartado 11 del artículo 2 de la directiva como «la fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente». El apartado 11 del artículo 2 aclara un poco más esta definición:

«Técnicas» incluye la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada y paralizada;

Las técnicas «disponibles» son aquellas técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios, tanto si las técnicas se utilizan o producen en el Estado miembro correspondiente como si no, siempre que el titular pueda tener acceso a ellas en condiciones razonables;

«Mejores» significa más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.

Además, el anexo IV de la directiva expone una lista de «aspectos que deben tenerse en cuenta con carácter general o en un supuesto particular cuando se determinen las mejores técnicas disponibles... teniendo en cuenta los costes y ventajas que pueden derivarse de una acción y los principios de precaución y prevención». Entre estos aspectos se incluye la información publicada por la Comisión de conformidad con el apartado 2 del artículo 16.

Las autoridades competentes responsables de otorgar los permisos tienen que tener en cuenta los principios generales establecidos en el artículo 3 a la hora de determinar las condiciones de dichos permisos. Estas condiciones deben incluir los valores límite de emisión, suplementados o sustituidos, en caso adecuado, por medidas técnicas o parámetros equivalentes. De acuerdo con el apartado 4 del artículo 9 de la directiva, estos valores límite de emisión, los parámetros y las medidas técnicas equivalentes deben basarse en las mejores técnicas disponibles, sin prescribir la utilización de una técnica o tecnología específica, y tomando en consideración las características técnicas de la instalación de que se trate, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente. En todos los casos, las condiciones de la autorización deben establecer disposiciones relativas a la minimización de la contaminación a larga distancia o transfronteriza y garantizar un nivel elevado de protección del medio ambiente en su conjunto.

De acuerdo con el artículo 11 de la directiva, los Estados miembros velarán por que las autoridades competentes estén al corriente o sean informadas acerca de la evolución de las mejores técnicas disponibles.

### **3. Objetivo del presente documento**

El apartado 2 del artículo 16 de la directiva exige que la comisión organice «un intercambio de información entre los Estados miembros y las industrias correspondientes acerca de las mejores técnicas disponibles, las prescripciones de control relacionadas, y su evolución», y publique los resultados de dicho intercambio.

El objetivo del intercambio de información se enuncia en el considerando 25 de la directiva, según el cual «los avances y el intercambio de información en la Comunidad sobre las mejores técnicas disponibles deben contribuir a reducir los desequilibrios tecnológicos en el ámbito de la Comunidad, deben ayudar a la divulgación mundial de los valores límite establecidos y de las técnicas empleadas en la Comunidad y, asimismo, deben ayudar a los Estados miembros para la aplicación eficaz de la presente Directiva».

La Comisión (Dirección General de Medio Ambiente) estableció un foro de intercambio de información (IEF) cuya función consiste en contribuir a las tareas realizadas en virtud del apartado 2 del artículo 16. Asimismo, al amparo del IEF se ha creado una serie de grupos de trabajo técnico. Este foro y los grupos de trabajo técnico incluyen una representación de los Estados miembros y de la industria, según exige el apartado 2 del artículo 16.

El objetivo de estos documentos es reflejar con exactitud este intercambio de información realizado según el apartado 2 del artículo 16 y facilitar información de referencia a las autoridades competentes en materia de permisos para poder determinar las condiciones de los mismos. Dado que facilitan información relevante en relación con las mejores técnicas disponibles, estos documentos deberían constituir una herramienta valiosa para reducir el impacto ambiental.

### **4. Fuentes de información**

El presente documento constituye un resumen de la información recopilada de diversas fuentes, en particular las aportaciones realizadas por los grupos creados para ayudar a la Comisión en su

trabajo, y verificadas por los servicios de la Comisión. Desde aquí agradecemos todas las aportaciones realizadas.

## 5. Interpretación y uso del presente documento

La información que se expone en el presente documento está pensada para servir de referencia a la hora de determinar las MTD en casos concretos. Al determinar estas MTD y las condiciones de los permisos basadas en las mismas, deberá siempre tenerse en mente el objetivo global, que es el de conseguir un alto nivel de protección del medio ambiente en su conjunto.

El resto del apartado describe el tipo de información que se proporciona en cada uno de los apartados del presente documento.

El capítulo 1 ofrece información general sobre las industrias o actividades implicadas. Todos los capítulos del 2 al 19 contienen cuatro apartados, a saber:

1. información general sobre la industria o actividad correspondiente;
2. descripción de los procesos industriales utilizados en esta industria o actividad;
3. datos e información sobre los niveles actuales de consumo y emisiones, que plasman la situación en las instalaciones en el momento de elaborar el documento;
4. técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD, como se explica más abajo respecto al capítulo 20; sin embargo, se insiste sobre todo en las técnicas o la información específicas de cada industria o actividad inscritas en el ámbito del presente documento.

El capítulo 20 describe técnicas para la reducción del consumo y de las emisiones, así como otras técnicas que se consideran idóneas para determinar las MTD y las condiciones de la autorización basadas en las mismas, y que son pertinentes para todas o la mayoría de las industrias o actividades afectadas. En esta información se incluye información sobre los niveles de consumo y de emisiones que se considera que se pueden alcanzar utilizando la técnica, los costes y efectos cruzados derivados y hasta qué punto se puede aplicar a la gran variedad de instalaciones afectadas por el presente documento. Esto abarca, por ejemplo, en qué industria o actividad se aplica actualmente la técnica y si es o no aplicable a otras industrias o actividades, incluyendo instalaciones nuevas, antiguas, grandes o pequeñas. No se incluyen las técnicas que, en general, se consideran obsoletas.

El capítulo 21 presenta las técnicas y los niveles de consumo y de emisiones que se consideran compatibles con las MTD en sentido general. El apartado 21.1 establece las MTD aplicables para cada industria del sector, y los apartados del 21.2 al 21.19 establecen las MTD de cada industria que deben utilizarse junto con las del apartado 21.1.

Así pues, el objetivo es proporcionar unas indicaciones generales en lo que respecta a los niveles de consumo y de emisiones que se pueden considerar un punto de referencia adecuado a la hora de determinar las condiciones de los permisos basadas en las MTD o para establecer unas reglas generales vinculantes en virtud del apartado 8 del artículo 9. Sin embargo, cabe destacar que este documento no propone los valores de los límites de emisión. Para la determinación de las condiciones adecuadas para otorgar los permisos habrá que tener en cuenta factores locales y específicos de cada planta, como son las características técnicas de la instalación de que se trate, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente. En el caso de las instalaciones ya existentes, también hay que tener en cuenta la viabilidad económica y técnica de mejorarlas. Incluso el simple objetivo de garantizar un alto nivel de protección del medio ambiente en su conjunto implicará poner en una balanza los diferentes tipos de impacto ambiental y decantarse por unos en detrimento de otros, a menudo en función de consideraciones locales.

Aunque se ha hecho un esfuerzo por abordar algunos de estos problemas, no se pueden tratar en toda su extensión en el presente documento. Por lo tanto, las técnicas y niveles que se exponen en el capítulo 21 no son necesariamente los más adecuados para todas las instalaciones. Por el

contrario, la obligación de garantizar un alto nivel de protección ambiental, incluida la minimización de la contaminación a larga distancia o transfronteriza implica que las condiciones de los permisos no pueden definirse basándose únicamente en consideraciones locales. Por tanto, es de capital importancia que las autoridades competentes tengan en cuenta toda la información expuesta en el presente documento. El resto del apartado describe el tipo de información que se proporciona en cada uno de los apartados del presente documento.

Dado que las mejores técnicas disponibles van cambiando con el tiempo, este documento se irá revisando y actualizando a medida que sea necesario. Todos los comentarios y sugerencias deben dirigirse a la oficina europea de la IPPC en el Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos, cuya dirección es la siguiente:

Edificio Expo, c/Inca Garcilaso, s/n, E-41092 Sevilla, España

Teléfono: +34 95 4488 284

Fax: +34 95 4488 426

Correo electrónico: [JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu](mailto:JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu)

Internet: <http://eippcb.jrc.es>

### **Interrelación entre la directiva IPPC y la directiva sobre emisiones de disolventes**

La siguiente presentación de la problemática hace referencia a la interrelación entre la directiva 1999/13/CE de 11 de marzo de 1999 relativa a la limitación de las emisiones de COV debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones (directiva sobre emisiones de disolventes) y la directiva 96/61/CE de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (directiva IPPC).

Cabe decir que la interpretación del derecho comunitario es, en última instancia, responsabilidad del Tribunal de Justicia de las Comunidades Europeas y, por lo tanto, no puede descartarse que las interpretaciones del Tribunal den origen a nuevos problemas más adelante.

La directiva sobre emisiones de disolventes contiene, entre otras, las siguientes referencias explícitas a la directiva IPPC:

- El artículo 4 de la directiva sobre emisiones de disolventes exige que *«sin perjuicio de las disposiciones de la Directiva 96/61/CE, los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para que las instalaciones existentes cumplan con los requisitos de los artículos 5, 8 y 9 a más tardar el 31 de octubre de 2007»*. Esto deja claro que el cumplimiento de las condiciones establecidas por la directiva sobre emisiones de disolventes no exime de la obligación de operar de conformidad con todas las disposiciones de la directiva IPPC, incluidos los permisos que establezcan valores límite de emisión o parámetros y medidas técnicas equivalentes que se determinen de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4 del artículo 9 o el apartado 8 del artículo 9 de esta última. Tal y como se expone en el prefacio estándar del BREF, existe una cierta flexibilidad en las disposiciones del apartado 4 del artículo 9 de la directiva IPPC, así como en la definición de MTD. Sin embargo, si, comparadas con las condiciones de la directiva sobre emisiones de disolventes, por iniciativa de la autoridad competente o mediante reglas generales vinculantes se determina que se deben cumplir unas condiciones más estrictas para satisfacer los requisitos de la directiva IPPC en el caso de un permiso concreto, serán de aplicación tales condiciones más estrictas.
- El artículo 6 de la directiva sobre emisiones de disolventes contempla la posibilidad de que los Estados miembros definan y apliquen planes nacionales para reducir las emisiones de las actividades e instalaciones existentes consideradas por dicha directiva, excluyendo la limpieza de superficies y la limpieza en seco. Sin embargo, de acuerdo con el apartado 1 del artículo 6 de dicha directiva, *«un plan nacional no podrá eximir a las instalaciones existentes de la aplicación de las disposiciones establecidas en la directiva 96/61/CE bajo ningún*

*concepto*». Por lo tanto, aunque una instalación esté prevista en un plan nacional, deberá seguir cumpliendo todas las disposiciones de la directiva IPPC, incluidos los permisos que establezcan valores límite de emisión o parámetros y medidas técnicas equivalentes que se determinen de acuerdo con los dispuesto en el apartado 4 del artículo 9 o el apartado 8 del artículo 9 de la Directiva IPPC.

La directiva IPPC contiene la siguiente referencia a otras normativas y valores límite de emisión:

- El apartado 2 del artículo 18 contempla que: *A falta de valores límite de emisión comunitarios definidos en aplicación de la presente directiva, los valores límites de emisión pertinentes, tal como se fijan en las directivas enumeradas en el anexo II y otras normativas comunitarias, se aplicarán a las instalaciones enumeradas en el anexo I en cuanto valores límite de emisión mínimos con arreglo a la presente directiva.*

La directiva sobre emisiones de disolventes no está enumerada en el anexo II, ya que entró en vigor después que la directiva IPPC. No obstante, queda claro que, a los efectos del apartado 2 del artículo 18, «*otras normativas comunitarias*» y los valores límite de emisión que contienen son los valores límite de emisión mínimos para este sector industrial.





---

# Documento de referencia de mejores técnicas disponibles sobre el tratamiento de superficies con disolventes orgánicos

RESUMEN.....	I
PREFACIO.....	XIII
ÁMBITO DE APLICACIÓN.....	XLIII
<b>1 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL TRATAMIENTO DE SUPERFICIES CON DISOLVENTES ORGÁNICOS .....</b>	<b>1</b>
1.1 Disolventes orgánicos y tratamiento de superficies .....	1
1.2 Principales problemas ambientales .....	2
1.2.1 Descripción general .....	2
1.2.2 Disolventes .....	3
1.2.3 Metales .....	4
1.2.4 Otros contaminantes .....	4
1.2.5 Energía .....	5
1.2.6 Consumo de materias primas .....	5
1.2.7 Consumo de agua .....	5
1.2.8 Residuos sólidos y líquidos .....	5
1.2.9 Partículas en suspensión .....	5
1.2.10 Ruido .....	5
<b>2 IMPRENTA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Información general sobre la imprenta .....	7
2.1.1 La industria gráfica en la Comunidad Europea .....	7
2.1.2 Los productos .....	11
2.1.2.1 Periódicos .....	11
2.1.2.2 Revistas y catálogos .....	11
2.1.2.3 Libros .....	12
2.1.2.4 Impresión de carácter general .....	12
2.1.2.5 Impresión de seguridad .....	12
2.1.2.6 Etiquetas .....	12
2.1.2.7 Impresos administrativos .....	13
2.1.2.8 Embalajes de papel y cartón .....	13
2.1.2.9 Embalajes flexibles .....	13
2.1.2.10 Productos que requieren grandes grosores de tinta .....	13
2.1.2.11 Papel pintado, papel decorativo y láminas sobre papel para el sector del mobiliario y el laminado .....	14
2.1.2.12 Sobres .....	14
2.2 Procesos y técnicas que se aplican en la impresión .....	14
2.2.1 Sistemas de preimpresión y pruebas .....	14
2.2.2 Creación del soporte gráfico: plancha, cilindro, plantilla o sistema CTP (directo a plancha) .....	15
2.2.3 Impresión .....	16
2.2.3.1 Tipografía y offset seco .....	16
2.2.3.2 Flexografía .....	17
2.2.3.3 Offset: general .....	19
2.2.3.4 Offset de hojas .....	21
2.2.3.5 Prensas rotativas (offset con secado por calor o en frío) .....	22
2.2.3.6 Huecograbado .....	22
2.2.3.7 Serigrafía .....	25
2.2.3.8 Impresión digital .....	26
2.2.3.9 Laminado y barnizado en embalajes flexibles .....	27
2.2.4 Acabado .....	27
2.2.5 Actividades asociadas .....	28
2.3 Niveles actuales de consumo y emisiones en el sector de las artes gráficas .....	29
2.3.1 La industria gráfica en su conjunto .....	29
2.3.2 Offset rotativa con secado por calor .....	29
2.3.2.1 Balances de masas - secado por calor .....	29
2.3.2.2 Consumos - secado por calor .....	36
2.3.2.2.1 Componentes y aditivos .....	36
2.3.2.2.2 Tintas de impresión .....	36

2.3.2.2.3	Disoluciones humectantes .....	36
2.3.2.2.4	Barnices.....	37
2.3.2.2.5	Agentes limpiadores.....	37
2.3.2.2.6	Energía y recursos.....	39
2.3.2.2.7	Sustratos de impresión y otros consumos.....	40
2.3.2.3	Emisiones - secado por calor.....	41
2.3.2.3.1	Emisiones a la atmósfera - fuentes y emisiones fugitivas .....	41
2.3.2.3.2	Residuos.....	43
2.3.2.3.3	Aguas residuales.....	44
2.3.3	Impresión de embalajes flexibles - flexografía y huecograbado .....	45
2.3.3.1	Balances de masa - embalajes flexibles.....	45
2.3.3.2	Consumos - embalajes flexibles.....	49
2.3.3.2.1	Disolventes orgánicos .....	49
2.3.3.2.2	Tintas de impresión y barnices.....	51
2.3.3.2.3	Agentes limpiadores.....	55
2.3.3.2.4	Adhesivos en la laminación.....	56
2.3.3.2.5	Energía y recursos.....	56
2.3.3.3	Emisiones - embalajes flexibles.....	57
2.3.3.3.1	Emisiones a la atmósfera.....	57
2.3.3.3.2	Residuos.....	62
2.3.3.3.3	Aguas residuales.....	63
2.3.4	Huecograbado de publicaciones .....	63
2.3.4.1	Balances de masas - huecograbado de publicaciones.....	63
2.3.4.2	Consumos - huecograbado de publicaciones.....	67
2.3.4.2.1	Tintas de impresión .....	67
2.3.4.2.2	Agentes limpiadores.....	67
2.3.4.2.3	Energía y recursos.....	68
2.3.4.2.4	Sustratos de impresión y otros .....	68
2.3.4.3	Emisiones - huecograbado de publicaciones.....	68
2.3.4.3.1	Emisiones a la atmósfera.....	68
2.3.4.3.2	Residuos.....	70
2.3.4.3.3	Aguas residuales.....	70
2.4	Técnicas a tener en cuenta a la hora de determinar las MTD para la imprenta.....	70
2.4.1	Impresión con offset con secado por calor .....	71
2.4.1.1	Tintas de secado por calor convencionales .....	72
2.4.1.2	Sustitución de tintas de secado por calor convencionales.....	72
2.4.1.2.1	Tintas basadas en aceites vegetales.....	72
2.4.1.3	Reducción de las emisiones de la disolución humectante.....	73
2.4.1.3.1	Sustitución del alcohol isopropílico en la disolución humectante.....	73
2.4.1.3.2	Optimización de la concentración de alcohol isopropílico en la disolución humectante .....	74
2.4.1.3.3	Rodillos de distribución y de planchas cerámicos, metálicos e hidrófilos .....	75
2.4.1.3.4	Ajuste exacto de los rodillos entintadores.....	76
2.4.1.3.5	Aplicación de un sistema pulverizador en la unidad humectante.....	77
2.4.1.3.6	Enfriamiento de la disolución humectante .....	77
2.4.1.3.7	Enfriamiento de los rodillos humectantes y de los cilindros de planchas .....	78
2.4.1.3.8	Eliminación de disoluciones con IPA de la unidad humectante.....	78
2.4.1.4	Filtrado de la disolución humectante .....	79
2.4.1.5	Control de la dureza del agua para la disolución humectante .....	79
2.4.1.6	Offset sin agua .....	80
2.4.1.7	Recogida y tratamiento de gases residuales.....	81
2.4.1.7.1	Confinamiento de prensas o extracción y tratamiento del aire de la sala de prensas....	81
2.4.1.7.2	Extracción y tratamiento del aire de los secadores.....	82
2.4.1.8	Limpieza .....	83
2.4.1.8.1	Sustitución y control de los COV usados en la limpieza.....	83
2.4.1.8.2	Limpiadores automáticos de alta presión para los rodillos humectantes.....	83
2.4.1.8.3	Sistemas de limpieza automática para los cilindros de impresión y de la mantilla	84
2.4.2	Flexografía y huecograbado de embalajes.....	85
2.4.2.1	Tintas convencionales de base disolvente.....	85
2.4.2.2	Sustitución de tintas convencionales de base disolvente.....	86
2.4.2.2.1	Alternativas de curado por UV.....	86
2.4.2.2.2	Alternativas de curado por haz de electrones (HE).....	88
2.4.2.2.3	Tintas al agua .....	88

2.4.2.3	Barnices y adhesivos convencionales de base disolvente .....	90
2.4.2.4	Sustitutos para barnices y adhesivos convencionales.....	90
2.4.2.4.1	Barnices y adhesivos al agua.....	90
2.4.2.4.2	Alternativas de alto contenido en sólidos.....	92
2.4.2.4.3	Alternativas de curado por UV.....	92
2.4.2.4.4	Alternativas sin disolventes.....	93
2.4.2.4.5	Coextrusión.....	93
2.4.2.5	Tratamiento de los gases residuales .....	94
2.4.2.5.1	Confinamiento / cierre.....	94
2.4.2.5.2	Extracción y tratamiento del aire de las prensas y otras áreas de fabricación .....	95
2.4.2.5.3	Derivación de picos de volumen y nivelación de máximo/mínimo: extracción y tratamiento del aire procedente de las prensas y áreas de fabricación .....	96
2.4.2.5.4	Mantenimiento del equipo de tratamiento de gases residuales, derivaciones, sistemas de recogida, etc.....	96
2.4.2.5.5	Cierre automático y temporizado de un sistema de derivación .....	96
2.4.2.6	Limpieza .....	97
2.4.2.6.1	Sustitución de COV por disolventes menos volátiles en la limpieza de suelos.....	97
2.4.2.6.2	Limpieza de piezas de maquinaria y equipos de limpieza/ lavado automático .....	97
2.4.2.6.3	Limpieza de piezas de maquinaria mediante pulverización de agua a alta presión.....	97
2.4.3	Impresión con huecogrado de publicaciones .....	97
2.4.3.1	Tintas convencionales de base disolvente .....	98
2.4.3.2	Sustitutos de las tintas convencionales de base disolvente .....	99
2.4.3.2.1	Alternativas con productos al agua .....	99
2.4.3.2.2	Uso de tintas de retención .....	99
2.4.3.3	Tratamiento de los gases residuales .....	100
2.4.3.3.1	Aumento de temperatura en la sala de prensas.....	100
2.4.3.3.2	Aumento del tiempo de secado .....	101
2.4.3.3.3	Extracción discontinua de aire de los secadores.....	101
2.4.3.3.4	Extracción continua de aire de los secadores .....	102
2.4.3.3.5	Prensa cerrada y encaminamiento discontinuo del aire de ventilación al sistema de tratamiento de gases residuales .....	103
2.4.3.3.6	Prensa cerrada y encaminamiento continuo del aire de ventilación al sistema de tratamiento de gases residuales .....	103
2.4.3.3.7	Extracción discontinua del aire de la prensa, los secadores y la sala de prensas..	104
2.4.3.3.8	Extracción continua del aire de la prensa, los secadores y la sala de prensas .....	104
2.4.3.3.9	Ventilación de ciclo cerrado de aire.....	105
2.4.3.3.10	Air-knife en la bobina .....	106
2.4.3.4	Limpieza .....	107
2.4.3.4.1	Limpieza en prensa de los cilindros de impresión.....	107
<b>3</b>	<b>FABRICACIÓN DE HILO PARA BOBINA .....</b>	<b>109</b>
3.1	Información general sobre la industria de hilo para bobina .....	109
3.1.1	Características del producto y aplicaciones finales .....	110
3.2	Procesos y técnicas aplicadas en la fabricación de hilo para bobina.....	110
3.2.1	Proceso habitual de fabricación de hilos esmaltados.....	111
3.3	Niveles de emisión y consumo actuales en la fabricación de hilos para bobina .....	113
3.3.1	Balance de masa .....	113
3.3.2	Consumo .....	116
3.3.2.1	Revestimientos.....	116
3.3.2.2	Lubricantes.....	117
3.3.3	Emisiones .....	117
3.3.3.1	Emisiones a la atmósfera.....	117
3.3.3.2	Vertidos al agua .....	120
3.3.3.3	Residuos.....	120
3.4	Técnicas a considerar en la determinación de MDT para la fabricación de hilos para bobina ..	121
3.4.1	Técnicas generales en la fabricación de hilos para bobina .....	121
3.4.2	Gestión energética .....	123
3.4.2.1	Enfriamiento de los hilos con aire de la sala o aire exterior.....	123
3.4.3	Procesos convencionales con disolventes.....	123
3.4.3.1	Aplicación de baños convencionales de revestimientos de base disolvente con circuito de revestimiento y aplicación de molde.....	123
3.4.3.2	Aplicación de revestimientos convencionales de base disolvente con aplicación dosificada y mediante fieltros .....	124

3.4.3.3	Aplicación de lubricantes convencionales de base disolvente mediante fieltros.....	124
3.4.4	Emulsiones al agua convencionales .....	125
3.4.5	Sustitución de materiales convencionales de base disolvente .....	125
3.4.5.1	Revestimientos de esmaltado de alto contenido en sólidos.....	125
3.4.5.2	Revestimientos de esmaltado al agua.....	126
3.4.5.3	Revestimientos de esmaltado con curado por UV.....	127
3.4.5.4	Revestimientos de esmaltado sin cresoles.....	127
3.4.5.5	Revestimientos de esmaltado de poliéster pulverizado .....	128
3.4.5.6	Lubricantes sin disolventes .....	128
3.4.6	Sustitución de procesos convencionales de revestimiento con disolventes.....	129
3.4.6.1	Revestimientos de esmaltado por extrusión .....	129
3.4.6.2	Revestimientos de esmaltado por fusión en caliente.....	130
3.4.6.3	Revestimientos de esmaltado epóxicos bicomponente.....	131
3.4.6.4	Revestimientos de esmaltado por electrodeposición.....	131
3.4.6.5	Revestimientos autolubricantes.....	132
3.4.7	Tratamiento de gases residuales .....	132
3.4.7.1	Gases residuales del esmaltado .....	132
3.4.7.2	Lubricación .....	133
<b>4</b>	<b>FABRICACIÓN DE ABRASIVOS.....</b>	<b>135</b>
4.1	Información general sobre la industria de abrasivos.....	135
4.1.1	Ámbito de aplicación.....	135
4.1.2	Fabricación y ventas.....	135
4.1.3	Caracterización de un producto como «abrasivo» y demandas de calidad.....	135
4.1.3.1	El sustrato.....	136
4.1.3.2	Material de unión .....	138
4.1.3.3	Granos abrasivos.....	139
4.1.4	Requerimientos de calidad .....	141
4.2	Técnicas y procesos aplicados en la fabricación de abrasivos .....	141
4.2.1	Descripción general del proceso.....	141
4.2.2	Etapas del proceso en detalle.....	142
4.2.2.1	Pretratamiento de los sustratos.....	142
4.2.2.2	Revestimiento del sustrato con sustancias adhesivas .....	143
4.2.2.3	Revestimiento del sustrato con grano.....	143
4.2.2.4	Flexionado.....	144
4.2.3	Componentes de instalaciones y diferenciación necesaria .....	144
4.3	Valores actuales de consumo y emisión en la fabricación de abrasivos .....	146
4.3.1	Balances de masa .....	146
4.3.2	Consumo .....	148
4.3.3	Emisiones .....	148
4.3.3.1	Emisiones a la atmósfera.....	148
4.3.3.2	Emisiones al agua .....	149
4.3.3.3	Residuos.....	149
4.4	Técnicas a considerar en la determinación de MTD para la fabricación de abrasivos.....	149
4.4.1	Sustancias adhesivas convencionales de base disolvente.....	150
4.4.2	Sustitución de sustancias adhesivas convencionales de base disolvente .....	151
4.4.2.1	Sustancias adhesivas sin disolventes.....	151
4.4.3	Secado .....	151
4.4.3.1	Secado por convección.....	151
4.4.3.2	Secado electromagnético.....	152
4.4.4	Tratamiento de gases residuales .....	152
4.4.4.1	Aumento de la concentración interna de disolvente.....	152
4.4.4.2	Contención y recogida de gases residuales .....	152
4.4.4.3	Sistemas de filtrado en seco .....	152
4.4.4.4	Oxidación térmica .....	152
4.4.4.5	Oxidación térmica regenerativa .....	152
4.4.4.6	Tratamiento biológico .....	153
4.4.5	Tratamiento de aguas residuales.....	153
<b>5</b>	<b>FABRICACIÓN DE CINTAS ADHESIVAS.....</b>	<b>155</b>
5.1	Información general sobre la fabricación de cintas adhesivas .....	155
5.1.1	Aplicaciones de adhesivos sensibles a la presión .....	155
5.2	Procesos y técnicas aplicados en la fabricación de cintas adhesivas.....	156
5.2.1	Estructura de las cintas adhesivas.....	156

5.2.2	Materiales para la fabricación de cintas adhesivas .....	156
5.2.3	Procesos de fabricación de cintas adhesivas.....	158
5.3	Valores actuales de consumo y emisión en la fabricación de cintas adhesivas.....	161
5.3.1	Balance de emisiones de COV .....	164
5.4	Técnicas a considerar en la determinación de MTD para la fabricación de cintas adhesivas ...	165
5.4.1	Adhesivos convencionales de base disolvente .....	166
5.4.2	Sustitución de adhesivos convencionales de base disolvente.....	166
5.4.2.1	Adhesivos de fusión en caliente.....	166
5.4.2.2	Adhesivos al agua .....	166
5.4.2.3	Adhesivos de curado por UV .....	167
5.4.3	Sustitución de la fabricación de adhesivos convencionales de base disolvente .....	167
5.4.3.1	Fabricación sin disolventes de cintas adhesivas.....	167
5.4.4	Secado .....	168
5.4.4.1	Secado por convección con gas inerte.....	168
5.4.4.2	Curado por radiación infrarroja.....	169
5.4.4.3	Curado por radiación ultravioleta.....	169
5.4.4.4	Curado por haz de electrones (HE) .....	169
5.4.5	Tratamiento de los gases residuales.....	169
5.4.5.1	Condensación (refrigeración).....	169
5.4.5.2	Adsorción en carbón activado y recuperación en la instalación.....	169
<b>6</b>	<b>REVESTIMIENTO DE VEHÍCULOS.....</b>	<b>171</b>
6.1	Información general sobre la industria del automóvil.....	171
6.1.1	Cifras de producción y ventas .....	171
6.2	Procesos y técnicas aplicados en la industria del automóvil .....	172
6.2.1	Requisitos de calidad.....	172
6.2.2	Revestimiento en serie.....	173
6.2.3	Materiales de revestimiento aplicados.....	174
6.2.4	Procesos de revestimiento .....	174
6.2.4.1	Técnicas de aplicación de revestimientos .....	174
6.2.4.2	Descripción de las etapas del proceso .....	174
6.2.4.2.1	Pretratamiento .....	174
6.2.4.2.2	Electrorrevestimiento .....	175
6.2.4.2.3	Sellado de juntas y protección de bajos.....	175
6.2.4.2.4	Aplicación del imprimador.....	176
6.2.4.2.5	Limpieza.....	176
6.2.4.2.6	Tipos de revestimientos superiores y su aplicación.....	177
6.2.4.2.7	Secado y curado .....	178
6.2.4.2.8	Conservación de cavidades .....	178
6.2.4.2.9	Reprocesado .....	179
6.2.4.2.10	Conservación para el transporte .....	179
6.3	Valores actuales de consumo y emisión en la industria de automóviles .....	179
6.3.1	Balance de masa .....	179
6.3.2	Consumo .....	179
6.3.2.1	Materiales.....	179
6.3.2.2	Agua.....	180
6.3.2.3	Energía .....	181
6.3.3	Emisiones .....	182
6.3.3.1	Emisiones a la atmósfera.....	182
6.3.3.2	Emisiones al agua .....	185
6.3.3.3	Residuos.....	186
6.4	Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de vehículos .....	186
6.4.1	Sistemas de revestimiento .....	187
6.4.2	Materiales convencionales de base disolvente .....	188
6.4.3	Sustitución de materiales de base disolvente.....	189
6.4.3.1	Sistemas de pintura al agua.....	189
6.4.3.2	Revestimientos en polvo .....	191
6.4.3.3	Revestimientos de polvo en suspensión.....	191
6.4.4	Técnicas y equipos para la aplicación de pintura .....	192
6.4.4.1	Aplicación de pintura por inmersión.....	192
6.4.5	Cabinas de pulverización.....	193
6.4.6	Minimización del consumo de materias primas .....	193
6.4.6.1	Recuperación de disolventes usados .....	193

6.4.7	Técnicas de secado.....	194
6.4.8	Tratamiento de gases residuales.....	194
6.4.9	Tratamiento de aguas residuales.....	194
<b>7</b>	<b>REVESTIMIENTO DE CAMIONETAS, CAMIONES Y CABINAS DE CAMIONES .....</b>	<b>195</b>
7.1	Información general sobre el revestimiento de camionetas, camiones y cabinas de camiones.....	195
7.2	Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de camionetas, camiones y cabinas de camiones.....	195
7.2.1	Cabinas de conducción y vehículos comerciales ligeros.....	195
7.2.2	Revestimiento de carrocerías de camiones.....	196
7.2.3	Pintura de ejes.....	197
7.3	Valores actuales de consumo y emisión en el revestimiento de camionetas, camiones y cabinas de camiones.....	198
7.3.1	Balace de masa.....	198
7.3.2	Consumo.....	198
7.3.2.1	Materiales.....	198
7.3.2.2	Agua.....	198
7.3.2.3	Energía.....	199
7.3.3	Emisiones.....	199
7.3.3.1	Emisiones a la atmósfera.....	199
7.3.3.2	Emisiones al agua.....	200
7.3.3.3	Residuos.....	200
7.4	Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de camionetas, camiones y cabinas de camiones.....	201
7.4.1	Materiales convencionales de base disolvente.....	202
7.4.2	Sustitución de materiales de base disolvente.....	203
7.4.2.1	Sistemas de pintura al agua.....	203
7.4.3	Técnicas y equipos de aplicación de pintura.....	204
7.4.3.1	Electrorrevestimiento.....	204
7.4.3.2	Pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP).....	204
7.4.3.3	Procesos de atomización electrostática.....	204
7.4.3.4	Conos electrostáticos de alta velocidad de rotación.....	204
7.4.3.5	Cabinas de pulverización con separación en húmedo.....	205
7.4.4	Tratamiento de gases residuales.....	205
7.4.4.1	Oxidación.....	205
7.4.4.2	Adsorción en carbono activado.....	205
7.4.5	Tratamiento de aguas residuales.....	206
<b>8</b>	<b>REVESTIMIENTO DE AUTOBUSES.....</b>	<b>207</b>
8.1	Información general sobre el revestimiento de autobuses.....	207
8.2	Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de autobuses.....	207
8.2.1	Pretratamiento.....	207
8.2.2	Revestimiento base / revestimiento por inmersión.....	207
8.2.3	Protección de bajos y sellado de juntas.....	207
8.2.4	Aplicación del imprimador.....	208
8.2.5	Aplicación de la capa final.....	208
8.2.6	Sellado de cavidades.....	208
8.2.7	Sistemas alternativos y técnicas de reducción.....	208
8.2.8	Ejemplos de instalaciones de revestimiento para autobuses.....	209
8.3	Valores actuales de consumo y emisión en el revestimiento de autobuses.....	210
8.3.1	Balace de masa.....	210
8.3.2	Consumo.....	210
8.3.2.1	Materiales.....	210
8.3.2.2	Agua.....	211
8.3.2.3	Energía.....	211
8.3.3	Emisiones.....	211
8.3.3.1	Emisiones a la atmósfera.....	211
8.3.3.2	Emisiones al agua.....	212
8.3.3.3	Residuos.....	212
8.4	Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de autobuses.....	212
8.4.1	Materiales convencionales de base disolvente.....	213
8.4.2	Sustitución de materiales de base disolvente.....	214
8.4.2.1	Sistemas de pintura al agua.....	214
8.4.2.2	Pinturas de alto contenido en sólidos.....	215



8.4.3	Técnicas y equipos de aplicación de pintura .....	215
8.4.3.1	Electrorrevestimiento .....	216
<b>9</b>	<b>REVESTIMIENTO DE TRENES.....</b>	<b>217</b>
9.1	Información general sobre el revestimiento de trenes.....	217
9.2	Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de trenes .....	217
9.3	Valores actuales de consumo y emisión en el revestimiento de trenes .....	219
9.3.1	Balance de masa .....	219
9.3.2	Consumo .....	219
9.3.2.1	Materiales.....	219
9.3.2.2	Agua.....	220
9.3.2.3	Energía .....	220
9.3.3	Emisiones .....	220
9.3.3.1	Emisiones a la atmósfera.....	220
9.3.3.2	Emisiones al agua .....	221
9.3.3.3	Residuos.....	221
9.4	Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de trenes.....	221
9.4.1	Materiales convencionales de base disolvente .....	222
9.4.2	Sustitución de materiales de base disolvente.....	223
9.4.2.1	Pinturas al agua .....	223
9.4.2.2	Pinturas de alto contenido en sólidos .....	223
9.4.2.3	Materiales revestidos.....	224
9.4.3	Técnicas y equipos de aplicación de pintura .....	224
9.4.3.1	Pulverización convencional a alta y baja presión.....	224
9.4.3.2	Pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP).....	224
9.4.3.3	Pulverización sin aire .....	225
9.4.3.4	Pulverización electrostática por aire comprimido, sin aire y asistida por aire .....	225
9.4.3.5	Cabinas de pulverización con separación húmeda .....	225
9.4.4	Minimización del consumo de materias primas .....	225
9.4.5	Tratamiento de aguas residuales.....	225
9.4.5.1	Ultrafiltración y nanofiltración .....	225
9.4.6	Tratamiento de gases residuales .....	225
9.4.6.1	Separación de partículas por efecto Venturi.....	225
9.4.6.2	Lavador .....	225
9.4.6.3	Sistemas de filtrado en seco .....	225
9.4.6.4	Electrofiltro .....	226
9.4.6.5	Oxidación térmica.....	226
<b>10</b>	<b>REVESTIMIENTO DE EQUIPOS AGRÍCOLAS Y DE CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>227</b>
10.1	Información general sobre el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción.....	227
10.2	Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción.....	227
10.3	Valores actuales de consumo y emisión en el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción .....	228
10.3.1	Balance de masa .....	228
10.3.2	Consumo .....	228
10.3.2.1	Materiales .....	228
10.3.2.2	Agua.....	229
10.3.2.3	Energía.....	229
10.3.3	Emisiones .....	229
10.3.3.1	Emisiones a la atmósfera .....	229
10.3.3.2	Emisiones al agua .....	229
10.3.3.3	Residuos.....	229
10.4	Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción .....	229
10.4.1	Materiales convencionales de base disolvente .....	230
10.4.2	Sustitución y reducción de materiales de base disolvente .....	231
10.4.2.1	Sistemas de pintura al agua.....	231
10.4.2.2	Revestimiento en polvo .....	231
10.4.2.3	Materiales revestidos .....	232
10.4.3	Técnicas y equipos de aplicación de pintura .....	232
10.4.3.1	Inmersión convencional.....	232
10.4.3.2	Electrorrevestimiento.....	233
10.4.3.3	Pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP) .....	234
10.4.4	Formación .....	234

10.4.5	Pintura por lotes / agrupación de colores.....	234
10.4.6	Tratamiento de gases residuales .....	235
10.4.7	Tratamiento de aguas residuales.....	235
<b>11</b>	<b>REVESTIMIENTO DE BUQUES Y YATES .....</b>	<b>237</b>
11.1	Información general sobre revestimiento de buques y yates.....	237
11.2	Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de buques y yates .....	237
11.2.1	Nueva construcción.....	238
11.2.2	Reparación y mantenimiento de buques.....	238
11.2.3	Revestimiento de buques.....	239
11.2.4	Reparación y mantenimiento del revestimiento de yates.....	240
11.3	Niveles actuales de consumo y emisión en el revestimiento de buques y yates .....	242
11.3.1	Balace de masa .....	242
11.3.2	Consumos.....	242
11.3.2.1	Materiales .....	242
11.3.2.2	Agua.....	242
11.3.2.3	Energía.....	242
11.3.3	Emisiones.....	243
11.3.3.1	Emisiones a la atmósfera .....	243
11.3.3.2	Emisiones al agua .....	243
11.3.3.3	Residuos.....	244
11.4	Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de buques y yates..	244
11.4.1	Sistemas de gestión: disciplina de dique .....	245
11.4.2	Técnicas de confinamiento.....	246
11.4.2.1	Áreas abiertas.....	246
11.4.2.2	Áreas parcialmente cerradas, cortavientos, cortinas de pulverización, etc. ....	246
11.4.2.3	Áreas completamente cerradas .....	247
11.4.3	Preparación de la superficie .....	248
11.4.3.1	Limpieza abrasiva en seco: sistema abierto .....	248
11.4.3.2	Limpieza abrasiva en seco: sistema cerrado, limpieza al vacío o con obenques .....	249
11.4.3.3	Limpieza con chorro de agua dulce a alta presión .....	250
11.4.3.4	Limpieza húmeda o con lodo.....	250
11.4.3.5	Otros tratamientos superficiales.....	251
11.4.4	Materiales de revestimiento.....	251
11.4.4.1	Materiales de revestimiento convencionales de base disolvente.....	251
11.4.4.2	Sustitución de materiales de base disolvente .....	252
11.4.4.2.1	Pinturas al agua .....	252
11.4.4.2.2	Pinturas de alto contenido en sólidos .....	253
11.4.5	Protección adicional contra la corrosión: protección catódica .....	254
11.4.6	Técnicas y equipos para la aplicación de pintura .....	255
11.4.6.1	Pulverización sin aire.....	255
11.4.6.2	Pulverización en caliente .....	255
11.4.6.3	Extracción de aire integrada en el punto de aplicación.....	256
11.4.7	Alternativas a las pinturas antiincrustantes de base de biocidas.....	256
11.4.7.1	Revestimientos de silicona que desprenden las incrustaciones.....	256
11.4.7.2	Métodos mecánicos .....	257
11.4.7.3	Procesos electroquímicos.....	258
11.4.8	Tratamiento de gases residuales .....	258
11.4.9	Tratamiento de aguas residuales.....	259
11.4.10	Tratamiento de residuos .....	260
<b>12</b>	<b>REVESTIMIENTO DE AERONAVES.....</b>	<b>261</b>
12.1	Información general sobre el revestimiento de aeronaves .....	261
12.2	Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de aeronaves.....	261
12.2.1	Construcción.....	261
12.2.1.1	Pintado de los componentes.....	261
12.2.1.2	Pintado de las superficies exteriores .....	261
12.2.1.3	Protección temporal contra la corrosión .....	262
12.2.2	Mantenimiento .....	263
12.2.2.1	Eliminación de la pintura .....	263
12.2.2.2	Limpieza .....	263
12.2.2.3	Pretratamiento.....	263
12.2.2.4	Imprimación.....	263
12.2.2.5	Capa protectora.....	264

12.2.2.6	Revestimiento transparente.....	264
12.3	Niveles actuales de consumo y emisión en el revestimiento de aeronaves.....	264
12.3.1	Construcción.....	264
12.3.1.1	Consumo de material.....	264
12.3.1.2	Consumo de agua.....	265
12.3.1.3	Consumo de energía.....	265
12.3.1.4	Emisiones a la atmósfera.....	265
12.3.1.5	Emisiones al agua.....	265
12.3.1.6	Residuos.....	265
12.3.2	Mantenimiento.....	266
12.4	Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de aeronaves.....	266
12.4.1	Materiales convencionales de base disolvente.....	267
12.4.2	Sustitución de materiales de base disolvente.....	268
12.4.2.1	Pinturas de alto contenido en sólidos.....	268
12.4.3	Sustitución del cromado con cromo hexavalente.....	269
12.4.4	Técnicas y equipos para la aplicación de pintura.....	269
12.4.4.1	Pulverización electrostática.....	269
12.4.4.2	Cabinas de pulverización con separación húmeda.....	269
12.4.4.3	Pintura de componentes: confinamiento y aplicación automática.....	269
12.4.5	Tratamiento de gases residuales.....	270
12.4.5.1	Separación de partículas mediante efecto Venturi.....	270
12.4.5.2	Lavador.....	270
12.4.5.3	Tratamiento de gases residuales de la pintura del fuselaje.....	270
<b>13</b>	<b>REVESTIMIENTO DE OTRAS SUPERFICIES METÁLICAS.....</b>	<b>271</b>
13.1	Información general sobre el revestimiento de otras superficies metálicas.....	271
13.2	Procesos y técnicas aplicados.....	271
13.3	Niveles actuales de consumo y emisión.....	271
13.4	Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el pintado en serie de otras superficies metálicas.....	272
13.4.1	Nuevos sistemas de revestimiento múltiple para la pintura de llantas de aluminio.....	273
<b>14</b>	<b>INDUSTRIAS DE RECUBRIMIENTO DE BOBINAS.....</b>	<b>277</b>
14.1	Información general sobre el recubrimiento de bobinas.....	277
14.1.1	Dimensiones de la industria de recubrimiento de bobinas.....	277
14.2	Procesos y técnicas aplicados en el recubrimiento de bobinas.....	279
14.2.1	Descripción del proceso típico de una línea de recubrimiento de bobinas.....	279
14.2.1.1	Entrada.....	280
14.2.1.2	Nivelador.....	280
14.2.1.3	Acumulador.....	280
14.2.1.4	Sección de limpieza.....	280
14.2.1.5	Recubrimiento de conversión (pretratamiento).....	280
14.2.1.6	Aplicación de un recubrimiento de imprimación.....	281
14.2.1.7	Aplicación del recubrimiento de acabado.....	281
14.2.1.8	Dispositivo de gofrado/laminador.....	281
14.2.1.9	Sistemas de enfriamiento.....	281
14.2.1.10	Salida.....	282
14.2.2	Tipos de recubrimiento.....	282
14.3	Consumo actual y niveles de emisión en recubrimiento de bobinas.....	284
14.3.1	Balances de masa.....	284
14.3.2	Consumos.....	284
14.3.2.1	Materiales.....	284
14.3.2.2	Agua.....	287
14.3.2.3	Energía.....	288
14.3.3	Emisiones.....	288
14.3.3.1	Emisiones a la atmósfera.....	288
14.3.3.2	Emisiones al agua.....	290
14.3.3.3	Residuos.....	290
14.4	Técnicas a tener en cuenta en la determinación de las MTD para el recubrimiento de bobinas.....	292
14.4.1	Gestión del agua.....	293
14.4.1.1.1	Reutilización del agua dentro de la planta.....	293
14.4.1.1.2	Control del agua de enjuague antes de su vertido mediante medidas de conductividad.....	293
14.4.1.2	Enjuagado en cascada inversa.....	293

14.4.2	Recubrimientos convencionales de base disolvente.....	293
14.4.3	Reemplazo de los recubrimientos de base disolvente (sustitución).....	293
14.4.3.1	Recubrimientos de alto contenido en sólidos.....	293
14.4.3.2	Recubrimientos de base acuosa.....	294
14.4.3.3	Recubrimientos en polvo.....	295
14.4.3.4	Recubrimientos de películas laminadas.....	296
14.4.4	Técnicas y equipamiento para la aplicación de recubrimientos.....	297
14.4.4.1	Recubrimiento con rodillos.....	297
14.4.4.2	Limpieza del equipamiento de aplicación.....	297
14.4.5	Recubrimientos de conversión.....	298
14.4.5.1	Recubrimiento de conversión con cromo.....	298
14.4.5.2	Recubrimientos de conversión libres de cromo.....	298
14.4.6	Aplicación de recubrimientos de conversión.....	299
14.4.6.1	Aplicación por «pulverización, escurrido y enjuague».....	299
14.4.6.2	Aplicación «sin enjuague» o de «secado in situ».....	299
14.4.7	Secado.....	300
14.4.7.1	Secado o curado por convección.....	300
14.4.7.2	Procesos de curado mediante radiación.....	300
14.4.8	Tratamiento de gases residuales.....	300
14.4.8.1	Extracción de aire de una estación de recubrimientos de conversión.....	300
14.4.8.2	Juntas de estanqueidad a la entrada y salida de los hornos/secadores.....	301
14.4.8.3	Presión negativa durante el secado.....	301
14.4.8.4	Extracción de aire procedente de la preparación del recubrimiento.....	301
14.4.8.5	Extracción del aire procedente de la estación de aplicación de pintura.....	302
14.4.8.6	Extracción de aire procedente del horno/secador.....	302
14.4.8.7	Extracción del aire procedente de la zona de enfriamiento.....	303
14.4.8.8	Oxidación térmica recuperativa.....	303
14.4.8.9	Oxidación térmica regenerativa – doble lecho.....	303
14.4.9	Tratamiento de aguas residuales.....	304
14.4.9.1	Tratamiento del agua de enjuagado antes de su vertido.....	304
14.4.9.2	Tratamiento de aguas residuales que contienen cromato.....	304
14.4.9.3	Precipitación de hidróxidos.....	305
<b>15</b>	<b>RECUBRIMIENTO E IMPRESIÓN DE ENVASES METÁLICOS.....</b>	<b>307</b>
15.1	Información general.....	307
15.2	Procesos y técnicas aplicados en el recubrimiento e impresión de envases metálicos.....	308
15.2.1	Fabricación de latas de dos piezas (DWI).....	308
15.2.2	Recubrimiento e imprimación de láminas planas.....	311
15.2.3	Fabricación de latas de tres piezas.....	312
15.2.4	Fabricación de terminaciones, tapones y cierres.....	314
15.2.5	Fabricación de tubos de aluminio extrusionado.....	315
15.2.6	Fabricación de bidones.....	316
15.3	Niveles actuales de consumo y de emisión en el recubrimiento e impresión de envases metálicos.....	318
15.3.1	Balances de masa.....	318
15.3.2	Datos de consumo y de emisiones.....	318
15.3.3	Consumos.....	319
15.3.3.1	Materiales.....	319
15.3.3.2	Agua.....	322
15.3.3.3	Energía.....	322
15.3.4	Emisiones.....	323
15.3.4.1	Emisiones a la atmósfera.....	323
15.3.4.2	Emisiones al agua.....	325
15.3.4.3	Residuos.....	325
15.4	Técnicas a tener en cuenta en la determinación de las MTD para el recubrimiento e impresión de envases metálicos.....	326
15.4.1	Sistemas de recubrimiento y tintas convencionales de base disolvente.....	327
15.4.1.1	Tintas de base disolvente en la fabricación de latas DWI de dos piezas.....	328
15.4.2	Reemplazo de recubrimientos y tintas que contienen disolventes (sustitución).....	329
15.4.2.1	Sistemas de recubrimiento y tintas de base acuosa/disolvente.....	329
15.4.2.2	Sistemas de recubrimiento y masillas de base acuosa en la fabricación de envases metálicos basada en tecnología de alimentación por láminas.....	330
15.4.2.3	Recubrimiento alimentado por hojas.....	330
15.4.2.4	Franja lateral líquida.....	331

15.4.2.5	Pulverización de reparación.....	332
15.4.2.6	Recubrimiento de la franja lateral mediante pulverización de polvo.....	332
15.4.2.7	Materiales recubiertos en bobina.....	333
15.4.2.8	Bobina precubierta.....	333
15.4.2.9	Compuestos UV (barnices y tintas).....	334
15.4.3	Aplicación de recubrimientos y tinta.....	334
15.4.3.1	Rodillos para la fabricación de latas DWI.....	334
15.4.3.2	Rodillos para tecnología de alimentación por hojas.....	335
15.4.3.3	Rodillos para la fabricación de tubos de aluminio extrusionado.....	335
15.4.3.4	Pulverización con aire comprimido.....	336
15.4.3.5	Pulverización sin aire.....	336
15.4.3.6	Pulverización electrostática.....	337
15.4.3.7	Pulverización de polvo.....	337
15.4.3.8	Recubridor en cortina.....	338
15.4.3.9	Curado por radiación.....	338
15.4.4	Impresión.....	338
15.4.4.1	Litografía (offset húmedo) para tecnología de alimentación por hojas.....	338
15.4.4.2	Litografía sin agua.....	339
15.4.4.3	Litografía offset sin agua para la fabricación de tubos de aluminio extrusionado.....	340
15.4.5	Tratamiento de gases residuales.....	340
15.4.5.1	Sistemas de filtro seco.....	340
15.4.5.2	Filtro electrostático.....	340
15.4.5.3	Oxidación térmica.....	340
15.4.5.4	Oxidación catalítica.....	341
15.4.5.5	Adsorción con carbón activo.....	341
15.4.5.6	Tratamiento biológico.....	341
15.4.6	Tratamiento de aguas residuales.....	341
15.4.6.1	Floculación/sedimentación.....	341
15.4.6.2	Ultra y nanofiltración.....	341
<b>16</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE PIEZAS DE PLÁSTICO.....</b>	<b>343</b>
16.1	Información general sobre el recubrimiento de piezas de plástico.....	343
16.2	Procesos y técnicas aplicados en el recubrimiento de piezas de plástico.....	343
16.2.1	Recubrimiento de parachoques.....	345
16.2.2	Recubrimiento de tapacubos.....	346
16.2.3	Recubrimiento de volantes.....	347
16.2.4	Recubrimiento de reflectores.....	348
16.2.5	El recubrimiento en la producción de carcasas para televisores, equipos de alta fidelidad y ordenadores.....	348
16.3	Niveles de consumo y de emisión actuales en el recubrimiento de piezas de plástico.....	348
16.3.1	Balances de masa.....	348
16.3.2	Consumos.....	348
16.3.2.1	Materiales.....	348
16.3.2.2	Agua.....	351
16.3.2.3	Energía.....	351
16.3.3	Emisiones.....	351
16.3.3.1	Emisiones a la atmósfera.....	351
16.3.3.2	Emisiones al agua.....	352
16.3.3.3	Residuos.....	352
16.4	Técnicas a tener en cuenta en la determinación de la MTD para la pintura en serie de piezas de plástico.....	353
16.4.1	Minimización del consumo de materias primas.....	353
16.4.1.1	Pintado por lotes/grupación de colores.....	354
16.4.1.2	Sistemas de rascado de tuberías.....	354
16.4.1.3	Incrementar el número de campanas de alta rotación.....	354
16.4.2	Gestión del agua.....	355
16.4.3	Materiales convencionales de base disolvente.....	355
16.4.4	Reemplazamiento de los materiales de base disolvente (sustitución).....	356
16.4.4.1	Pinturas de base acuosa.....	356
16.4.4.2	Recubrimiento en polvo – secado convencionalmente.....	357
16.4.4.3	Pinturas de curado mediante radiación.....	357
16.4.4.4	Recubrimiento de una capa tras la fluoruración.....	358
16.4.5	Técnicas y equipos de aplicación de pinturas.....	358

16.4.5.1	Pintado en el molde .....	358
16.4.5.2	Pulverización convencional a alta y baja presión .....	359
16.4.5.3	Pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP) .....	359
16.4.5.4	Campanas electrostáticas de alta rotación.....	359
16.4.5.5	Pulverización electrostática con aire comprimido, sin aire y asistida con aire .....	360
16.4.5.6	Procesado de recubrimientos en polvo – pulverización asistida electrostáticamente.....	360
16.4.6	Secado .....	361
16.4.6.1	Secado por convección .....	361
16.4.6.2	Curado mediante radiación ultravioleta (UV).....	361
16.4.6.3	Curado con haz de electrones .....	362
16.4.6.4	Uso de secadores de condensación .....	362
16.4.7	Tratamiento de gases residuales .....	363
16.4.7.1	Filtro electrostático .....	363
16.4.7.2	Separación de partículas por efecto Venturi .....	363
16.4.7.3	Lavador .....	363
16.4.7.4	Tratamiento de los gases residuales procedentes de las cabinas de pintura .....	363
16.4.7.5	Concentración y recirculación de los gases residuales procedentes de las cabinas de pintura.....	364
16.4.7.6	Oxidación térmica.....	365
16.4.7.7	Tratamiento biológico.....	365
16.4.8	Tratamiento de aguas residuales.....	365
16.4.8.1	Ultra y nanofiltración.....	365
<b>17</b>	<b>RECUBRIMIENTO DE MOBILIARIO Y MATERIALES DE MADERA .....</b>	<b>367</b>
17.1	Información general acerca del recubrimiento de mobiliario y materiales de madera.....	367
17.2	Procesos y técnicas aplicados en el recubrimiento de mobiliario y materiales de madera.....	368
17.2.1	Pretratamiento de la superficie de madera.....	368
17.2.2	Aplicación de una capa base.....	369
17.2.3	Aplicación de una capa protectora .....	370
17.2.4	Aplicación de la pintura .....	373
17.2.5	Vaporización instantánea (flash-off) y secado/curado.....	374
17.2.6	Ejemplos de algunos procesos de recubrimiento.....	374
17.2.7	Acabado con sustancias de recubrimiento sólidas.....	376
17.3	Niveles actuales de consumo y de emisión en el recubrimiento de mobiliario y materiales de madera.....	377
17.3.1	Balances de masa .....	377
17.3.2	Consumos.....	377
17.3.2.1	Materiales .....	377
17.3.2.2	Agua.....	378
17.3.2.3	Energía.....	378
17.3.3	Emisiones .....	379
17.3.3.1	Emisiones a la atmósfera .....	379
17.3.3.2	Emisiones al agua .....	379
17.3.3.3	Residuos.....	379
17.4	Técnicas a tener en cuenta en la determinación de la MTD para el pintado de mobiliario y materiales de madera.....	380
17.4.1	Minimización del consumo de materias primas .....	381
17.4.1.1	Pintado de lotes/agrupación de colores.....	381
17.4.1.2	Sistemas de rascado .....	381
17.4.1.3	Sistema de mezcla en línea de productos de 2 componentes .....	381
17.4.2	Materiales convencionales de base disolvente .....	382
17.4.3	Reemplazo de los materiales de base disolvente (sustitución) .....	382
17.4.3.1	Recubrimientos de base acuosa .....	382
17.4.3.2	Recubrimiento en polvo – secado convencionalmente .....	383
17.4.3.3	Pinturas de curado por radiación UV .....	384
17.4.4	Técnicas y equipos de aplicación de pinturas.....	384
17.4.4.1	Aplicación por rodillos y aplicación de relleno utilizando máquinas de recubrimiento con rodillos invertidos .....	384
17.4.4.2	Recubrimiento en cortina (vertido).....	385
17.4.4.3	Inmersión convencional.....	386
17.4.4.4	Inundación .....	387
17.4.4.5	Recubrimiento al vacío .....	387
17.4.4.6	Pulverización convencional a alta y baja presión .....	388



17.4.4.7	Pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP)	388
17.4.4.8	Pulverización asistida electrostáticamente con aire comprimido, sin aire y asistida con aire	388
17.4.4.9	Recubrimientos en polvo - pulverización asistida electrostáticamente	389
17.4.5	Cabinas de pulverización	389
17.4.5.1	Cabina con separación húmeda	389
17.4.5.2	Cabina de pulverización de pintura en pintura	390
17.4.6	Secado	391
17.4.6.1	Secado por convección	391
17.4.6.2	Secador de microondas	391
17.4.6.3	Secadores de alta frecuencia	391
17.4.6.4	Curado con radiación infrarroja	391
17.4.6.5	Curado por radiación en el infrarrojo cercano	392
17.4.6.6	Radiación ultravioleta (UV)	392
17.4.6.7	Curado con haz de electrones	392
17.4.6.8	Secado por convección/radiación combinado (reactor térmico)	392
17.4.7	Tratamiento de gases residuales	392
17.4.7.1	Sistemas de filtro seco	392
17.4.7.2	Filtro electrostático	392
17.4.7.3	Separación de partículas por efecto Venturi	393
17.4.7.4	Lavador	393
17.4.7.5	Tratamiento biológico	393
17.4.7.6	Oxidación térmica	393
17.4.7.7	Oxidación UV	393
17.4.8	Tratamiento de aguas residuales	394
17.4.8.1	Tratamiento de aguas residuales para cabinas de pulverización de pintura con separación húmeda	394
17.4.8.2	Ultra y nanofiltración	394
17.4.9	Tratamiento de residuos	394
17.4.9.1	Recuperación de disolventes usados por destilación	394
<b>18</b>	<b>CONSERVACIÓN DE LA MADERA</b>	<b>395</b>
18.1	Información general sobre la conservación de la madera	395
18.2	Procesos y técnicas aplicados en la conservación de la madera	395
18.3	Niveles actuales de consumo y de emisión en la conservación de madera	396
18.3.1	Balances de masa	396
18.3.2	Consumos	396
18.3.2.1	Materiales	396
18.3.2.2	Agua	397
18.3.2.3	Energía	397
18.3.3	Emisiones	397
18.3.3.1	Emisiones a la atmósfera	397
18.3.3.2	Emisiones al agua, suelo y aguas subterráneas	398
18.3.3.3	Residuos	399
18.4	Técnicas a tener en cuenta en la determinación de la MTD para la protección de madera	399
18.4.1	Conservantes de base disolvente convencionales	400
18.4.2	Reemplazo de los conservantes de base disolvente (sustitución)	401
18.4.2.1	Creosota	401
18.4.2.2	Sistemas de pesticidas concentrados	401
18.4.2.3	Conservantes de base acuosa	402
18.4.3	Sistemas de aplicación	402
18.4.3.1	Aplicación al vacío	402
18.4.4	Tratamiento de gases residuales	403
<b>19</b>	<b>FABRICACIÓN DE ESPEJOS</b>	<b>405</b>
19.1	Información general sobre la fabricación de espejos	405
19.2	Procesos y técnicas aplicados en la fabricación de espejos	405
19.2.1	Panel de vidrio de partida	406
19.2.2	Preparación de la superficie del vidrio	406
19.2.3	Plateado	406
19.2.4	Recubrimiento de pintura	407
19.2.5	Secado	407
19.2.6	Salida del producto acabado	407
19.3	Niveles de consumo y de emisión actuales en la fabricación de espejos	407



19.3.1	Balances de masa .....	407
19.3.2	Consumos .....	407
19.3.2.1	Materiales .....	407
19.3.2.2	Agua.....	408
19.3.2.3	Energía.....	408
19.3.3	Emisiones .....	408
19.3.3.1	Emisiones a la atmósfera .....	408
19.3.3.2	Emisiones al agua .....	408
19.3.3.3	Residuos.....	409
19.4	Técnicas a tener en cuenta en la determinación de la MTD para la fabricación de espejos.....	409
19.4.1	Técnicas generales en la fabricación de espejos.....	409
19.4.2	Reemplazo de las pinturas convencionales de base disolvente (sustitución).....	410
19.4.2.1	Pinturas de alto contenido en sólidos.....	410
19.4.3	Técnicas y equipos de aplicación de pinturas.....	410
19.4.3.1	Recubrimiento en cortina.....	410
19.4.4	Secado .....	410
19.4.5	Tratamiento de gases residuales .....	411
<b>20</b>	<b>TÉCNICAS A TENER EN CUENTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD APLICABLES EN TODOS LOS SECTORES .....</b>	<b>413</b>
20.1	Técnicas de gestión ambiental .....	414
20.1.1	Herramientas de gestión ambiental .....	414
20.1.2	Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas.....	421
20.1.3	Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores .....	423
20.1.4	Determinación de los costes de los beneficios ambientales y estimación de los efectos cruzados.....	424
20.2	Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento) .....	425
20.2.1	Prevención de la contaminación para emisiones imprevistas.....	425
20.2.2	Almacenamiento y manipulación de productos químicos, materiales peligrosos y residuos .....	427
20.2.2.1	Manipulación y uso de disolventes en las áreas de producción .....	428
20.2.3	Automatización de los equipos.....	429
20.2.4	Formación .....	431
20.2.5	Optimización de procesos/equipos .....	432
20.2.6	Mantenimiento .....	432
20.3	Control.....	433
20.3.1	Balances de masa de disolventes.....	433
20.3.2	Medida directa de los disolventes y las emisiones a la atmósfera .....	438
20.3.3	Agua .....	439
20.3.3.1	Prevención de la formación de atmósferas peligrosas en alcantarillas .....	439
20.3.3.2	Control de DBO y DQO y biodegradabilidad.....	440
20.3.3.3	Control y tratamiento de la toxicidad acuática.....	441
20.4	Gestión del agua.....	442
20.4.1	Reutilización/reciclado del agua de aclarado .....	442
20.4.1.1	Regeneración por intercambio iónico .....	442
20.4.1.2	Reutilización del agua dentro de la planta .....	442
20.4.1.3	Aclarado en cascada.....	443
20.4.1.4	Control del uso del agua .....	444
20.5	Gestión de la energía.....	445
20.5.1	Optimización del suministro eléctrico.....	447
20.5.2	Optimización de la demanda eléctrica.....	448
20.5.3	Equipos energéticamente eficiente.....	448
20.6	Gestión de materias primas.....	449
20.6.1	Gestión justo a tiempo (just-in-time).....	449
20.6.2	Control de calidad de pinturas y disolventes .....	449
20.6.3	Minimización del consumo de materias primas .....	450
20.6.3.1	Sistemas de mezcla avanzados.....	450
20.6.3.2	Reutilización de pinturas o tintas de retorno.....	451
20.6.3.3	Reutilización de tintas o recubrimientos recuperados.....	452
20.6.3.4	Canalización directa de la pintura o de la tinta desde el almacenamiento .....	453
20.6.3.5	Canalización directa de los disolventes desde el almacenamiento.....	454
20.6.3.6	Pintado discontinuo/agrupación de colores.....	455
20.6.3.7	Sistemas de rascado .....	455
20.7	Procesos y equipos de recubrimiento .....	456

20.7.1	Pretratamientos anteriores al pintado .....	456
20.7.1.1	Desengrasado de base disolvente.....	456
20.7.1.2	Pretratamientos de base acuosa.....	457
20.7.1.2.1	Desengrasado de base acuosa.....	457
20.7.1.2.2	Fosfatación.....	457
20.7.1.2.3	Recubrimiento de conversión con cromo.....	458
20.7.1.2.4	Recubrimientos de conversión libres de cromo .....	459
20.7.1.2.5	Mantenimiento del baño. Reducción de agua y residuos y reducción de las aguas residuales.....	460
20.7.2	Sistemas de pintado .....	460
20.7.2.1	Pinturas convencionales de base disolvente.....	460
20.7.2.2	Pinturas de base disolvente de alto contenido en sólidos.....	461
20.7.2.3	Pinturas de base acuosa.....	462
20.7.2.4	Recubrimientos de base acuosa con bajos requerimientos de vaporización instantánea (flash-off).....	464
20.7.2.5	Pinturas de curado por radiación.....	465
20.7.2.6	Revestimientos en polvo curados de forma convencional .....	466
20.7.2.7	Fango (slurry) de material en polvo.....	469
20.7.2.8	Materiales previamente revestidos.....	469
20.7.2.9	Pinturas que contienen metales tóxicos .....	470
20.7.3	Procesos y equipos de aplicación de pintura .....	471
20.7.3.1	Revestimiento por rodillos.....	471
20.7.3.2	Revestimiento en cortinas (colada).....	472
20.7.3.3	Inmersión convencional.....	473
20.7.3.4	Revestimiento electrolítico .....	474
20.7.3.5	Inundación .....	476
20.7.3.6	Revestimiento en vacío.....	477
20.7.3.7	Pintado en el molde .....	477
20.7.3.8	Pulverización convencional a alta y baja presión .....	478
20.7.3.9	Pulverización a gran volumen y baja presión (HVLP) (pistolas pulverizadoras de alta eficiencia) .....	479
20.7.3.10	Pulverización en caliente .....	480
20.7.3.11	Pulverización sin aire.....	481
20.7.3.12	Pulverización con aire sin aire en la pistola.....	482
20.7.3.13	Atomización de CO <sub>2</sub> , el sistema Unicarb.....	482
20.7.3.14	Procesos de atomización electrostática .....	483
20.7.3.15	Campanas electrostáticas de alta rotación.....	484
20.7.3.16	Discos electrostáticos de alta rotación .....	485
20.7.3.17	Pulverización electrostática con aire comprimido, sin aire en la pistola y con aire.....	485
20.7.3.18	Aplicación de revestimientos en polvo mediante pulverización electrostática.....	486
20.7.3.19	Aplicación de revestimientos en polvo mediante sinterización de polvo .....	487
20.7.4	Técnicas para gestionar la niebla de pulverización .....	488
20.7.4.1	Cabina de pulverización con separación húmeda .....	488
20.7.4.2	Cabina de pulverización con pintura sobre pintura.....	489
20.7.4.3	Técnicas de emulsión con agua.....	490
20.7.4.4	Cabinas de pulverización con placa fría .....	490
20.7.5	Técnicas de depuración de aguas para reducir la cantidad de aguas residuales y los residuos y para depurar las aguas residuales .....	491
20.7.5.1	Aclarado múltiple (en cascada).....	491
20.7.5.2	Uso de intercambiadores iónicos .....	491
20.7.5.3	Filtración por membrana.....	492
20.7.5.4	Eliminación de los fangos del baño .....	493
20.7.5.5	Filtración de la solución de proceso.....	493
20.7.5.6	Descarga continua de fangos de pintura .....	494
20.7.5.7	Sistema de decantación .....	494
20.7.5.8	Coagulación de partículas sólidas de pintura en sistemas de limpieza húmeda .....	494
20.8	Secado o curado .....	495
20.8.1	Procesos de evaporación .....	495
20.8.1.1	Secado convencional por convección .....	495
20.8.1.2	Secado por convección de gas inerte .....	496
20.8.1.3	Secado por inducción.....	497
20.8.1.4	Secado por radiación (microondas y alta frecuencia) .....	498
20.8.2	Procesos de curado por radiación .....	499

20.8.2.1	Curado por radiación infrarroja .....	500
20.8.2.2	Curado por radiación infrarroja cercana (NIR).....	501
20.8.2.3	Curado por ultravioleta (UV).....	501
20.8.2.4	Curado por haz de electrones (EB).....	503
20.8.3	Reactor térmico (secado por convección/radiación combinado).....	503
20.9	Técnicas de limpieza.....	504
20.9.1	Principios generales de limpieza .....	504
20.9.2	Minimización de la limpieza .....	506
20.9.3	Preparación previa a la limpieza con disolventes u otro tipo de limpieza .....	507
20.9.4	Limpieza con disolventes convencionales.....	507
20.9.5	Limpieza con disolventes con menor velocidad de evaporación.....	508
20.9.6	Limpieza con disolventes potentes.....	508
20.9.7	Limpieza con disolventes con menor potencial de formación de ozono .....	508
20.9.8	Limpieza basada en agua.....	509
20.9.9	Limpieza a mano .....	509
20.9.10	Máquinas de lavado que usan disolventes .....	510
20.9.11	Limpieza con recuperación de disolventes.....	511
20.9.12	Limpieza con pulverización de agua a alta presión .....	511
20.9.13	Limpieza por ultrasonidos .....	512
20.9.14	Limpieza con hielo seco (CO <sub>2</sub> ).....	512
20.10	Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales .....	513
20.10.1	Reemplazamiento de agentes limpiadores (sustitución).....	516
20.10.1.1	Agentes limpiadores con puntos de inflamación > 40 °C .....	517
20.10.1.2	Agentes limpiadores con punto de inflamación > 55 °C.....	517
20.10.1.3	Agentes limpiadores con punto de inflamación > 100 °C.....	518
20.10.1.4	Agentes limpiadores de origen vegetal (VCA).....	519
20.10.1.5	Disolventes potentes no volátiles.....	521
20.10.1.6	Limpieza a base de agua .....	521
20.10.2	Uso de disolventes con menor potencial de formación de ozono (OFP).....	521
20.10.3	Sustitución de disolventes halogenados .....	525
20.10.4	Sustitución de disolventes y otros materiales con propiedades CMR .....	525
20.10.5	Agentes de limpieza a base de agua .....	526
20.11	Depuración de gases residuales.....	527
20.11.1	Diseño, optimización y gestión de las técnicas de extracción y disminución, eliminación.....	527
20.11.1.1	Selección, diseño y optimización del sistema .....	527
20.11.1.2	Mantenimiento de los sistemas .....	532
20.11.1.3	Derivación de los flujos máximos de emisiones (peak shaving).....	533
20.11.1.4	Utilización de variaciones de sobrecapacidad - alisado .....	534
20.11.1.5	Mantenimiento de la concentración de disolvente a tratar mediante el uso de controladores de frecuencia variable.....	535
20.11.1.6	Sistemas específicos/descentralizados de depuración de gases residuales para cada fuente puntual .....	535
20.11.1.7	Depuración centralizada de gases residuales .....	536
20.11.2	Confinamiento y captación de los gases residuales .....	537
20.11.2.1	Encapsulación/confinamiento .....	537
20.11.2.2	Juntas de estanqueidad en la entrada y la salida de los hornos/secadores.....	538
20.11.2.3	Presión negativa en el secado .....	538
20.11.2.4	Extracción del aire de los procesos de revestimiento.....	538
20.11.2.5	Extracción de aire procedente de los procesos de secado .....	539
20.11.2.6	Extracción del aire de la zona de refrigeración.....	540
20.11.2.7	Extracción del aire de los procesos de limpieza.....	540
20.11.2.8	Extracción del aire de los almacenes de materias primas y residuos .....	541
20.11.3	Pretratamiento, filtración y lavado de gases.....	541
20.11.3.1	Aumento de la concentración interna de disolvente .....	541
20.11.3.2	Aumento de la concentración externa de disolvente.....	544
20.11.3.3	Aumento de la concentración de aire externo mediante el uso de una cámara impelente, distribuidora de aire .....	545
20.11.3.4	Filtración por membrana.....	546
20.11.3.5	Separación de partículas por efecto Venturi .....	546
20.11.3.6	Sistemas de filtro seco .....	547
20.11.3.7	Filtro electrostático (precipitador) .....	548
20.11.3.8	Lavador .....	549
20.11.4	Oxidación .....	550

20.11.4.1	Aporte de combustible en el proceso de calentamiento .....	550
20.11.4.2	Oxidación térmica.....	551
20.11.4.3	Oxidación térmica recuperativa .....	552
20.11.4.4	Oxidación térmica regenerativa con doble lecho .....	554
20.11.4.5	Oxidación térmica regenerativa con triple lecho o distribuidor de aire rotativo, rotatorio ..	556
20.11.4.6	Oxidación catalítica .....	557
20.11.4.7	Oxidación por UV.....	559
20.11.5	Condensación .....	560
20.11.5.1	Refrigeración directa.....	560
20.11.5.2	Refrigeración indirecta .....	561
20.11.5.3	Refrigeración .....	561
20.11.5.4	Tratamiento criogénico .....	562
20.11.5.5	Condensación por encima del punto de congelación .....	563
20.11.6	Adsorción .....	564
20.11.6.1	Adsorción utilizando carbón activo o zeolitas .....	564
20.11.6.2	Supervisión continua del rendimiento del adsorbente .....	567
20.11.7	Absorción en un líquido .....	568
20.11.7.1	Absorción en agua .....	568
20.11.7.2	Absorción en aceite y recuperación .....	569
20.11.8	Depuración biológica .....	569
20.11.9	Técnicas de disminución, eliminación de NO <sub>x</sub> .....	570
20.11.9.1	Reducción selectiva no catalítica (SNCR) .....	571
20.11.9.2	Reducción catalítica selectiva (SCR).....	571
20.11.9.3	Lavador de agua.....	572
20.12	Depuración de aguas residuales .....	573
20.12.1	Floculación.....	573
20.12.2	Separación .....	574
20.12.3	Electrofloculación .....	575
20.12.4	Destilación a vacío .....	575
20.12.5	Depuración biológica .....	576
20.12.6	Ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa.....	576
20.13	Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente.....	577
20.13.1	Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso .....	577
20.13.2	Tratamiento de los disolventes usados para su reutilización .....	579
20.13.2.1	Filtración.....	579
20.13.2.2	Destilación .....	579
20.13.3	Toallitas de limpieza desechables .....	580
20.13.4	Toallitas de limpieza reutilizables .....	581
20.13.5	Recuperación de los disolventes utilizados con las toallitas.....	582
20.13.6	Contenedores reutilizables .....	582
20.13.7	Tratamiento del carbón activo utilizado .....	583
20.13.7.1	Recuperación en el emplazamiento del carbón activo y de otros adsorbentes utilizados ...	584
20.13.7.2	Regeneración/eliminación fuera del emplazamiento de disolventes del carbón activo y de otros adsorbentes utilizados .....	584
20.13.7.3	Incineración del carbón activo y de otros adsorbentes utilizados .....	585
20.13.8	Fangos de aguas residuales.....	585
20.13.8.1	Centrífugas.....	585
20.13.8.2	Filtros prensa .....	586
20.14	Disminución, eliminación de polvo .....	586
20.15	Disminución, eliminación de olores.....	586
20.15.1	Tanques de venteo durante las entregas de materiales de base disolvente .....	587
20.16	Reducción de ruido .....	587
<b>21</b>	<b>MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA EL TRATAMIENTO DE SUPERFICIES MEDIANTE DISOLVENTES ORGÁNICOS.....</b>	<b>589</b>
21.1	Mejores técnicas disponibles aplicables a todas las industrias del sector .....	593
21.2	Mejores técnicas disponibles para impresión.....	604
21.2.1	MTD para impresión con offset rotativa con secado por calor.....	605
21.2.2	MTD para flexografía y huecograbado de envases (impresión de envases flexibles) .....	607
21.2.3	MTD para el huecograbado de publicaciones .....	610
21.3	Mejores técnicas disponibles para la fabricación de bobinas de alambre .....	611
21.4	Mejores técnicas disponibles para la fabricación de abrasivos .....	611
21.5	Mejores técnicas disponibles para la fabricación de cinta adhesiva.....	612

21.6	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de vehículos .....	612
21.7	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de furgonetas, camiones y cabinas de camiones .....	615
21.8	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de autobuses.....	616
21.9	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de trenes.....	617
21.10	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción (EAC) .....	618
21.11	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de buques y yates.....	619
21.12	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de aeronaves.....	620
21.13	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de otras superficies metálicas .....	621
21.14	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de bobinas .....	622
21.15	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento e impresión de envases metálicos .....	623
21.16	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de piezas de plástico .....	625
21.17	Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de muebles y madera.....	626
21.18	Mejores técnicas disponibles para la conservación de la madera.....	627
21.19	Mejores técnicas disponibles para la fabricación de espejos .....	628
<b>22</b>	<b>TÉCNICAS EMERGENTES PARA EL TRATAMIENTO DE SUPERFICIES MEDIANTE DISOLVENTES ORGÁNICOS .....</b>	<b>631</b>
22.1	Impresión/revestimiento .....	631
22.1.1	Flexografía mediante curado por UV .....	631
22.2	Fabricación de bobinas de alambre.....	631
22.2.1	Encerado de alambres finos.....	631
22.3	Fabricación de abrasivos.....	632
22.3.1	Procesos de secado y endurecimiento de alta velocidad.....	632
22.4	Fabricación de cinta adhesiva .....	632
22.5	Revestimiento de vehículos y camionetas ligeras.....	632
22.5.1	Mejora de recubrimientos transparentes de 1 y 2 componentes diluibles en agua .....	632
22.5.2	Desarrollos en revestimiento en polvo .....	633
22.5.3	Concepto de conversión de bajo coste.....	633
22.5.4	Aumento del uso de materiales prerrevestidos .....	633
22.5.5	Sistemas de pintura de poliuretano (PU) .....	634
22.5.6	Reducción de las capas de pintura.....	634
22.6	Revestimiento de camiones y vehículos comerciales .....	635
22.7	Revestimiento de autobuses.....	635
22.8	Revestimiento de trenes .....	635
22.9	Revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción .....	635
22.10	Revestimiento de buques y yates .....	635
22.10.1	Mezcla de aire electrostático caliente.....	635
22.10.2	Reemplazo de las pinturas antiincrustantes de base de biocidas (sustitución) .....	636
22.10.2.1	Pinturas con biocidas naturales.....	636
22.10.2.2	Revestimientos con propiedades de superficie especiales para la reducción de las incrustaciones .....	636
22.11	Revestimiento de aeronaves.....	637
22.12	Revestimiento de otras superficies metálicas.....	637
22.13	Industrias de revestimiento de bobinas .....	637
22.14	Revestimiento e impresión de envases metálicos .....	637
22.14.1	Revestimiento con bajo contenido de disolventes (pintura de base acuosa).....	637
22.14.2	Procesos de curado por radiación .....	637
22.15	Revestimiento en serie de piezas de plástico .....	638
22.16	Revestimiento de muebles y madera.....	638
22.16.1	Revestimiento en polvo.....	638
22.16.2	Blanqueo con peróxido e IR.....	639
22.16.2.1	Tratamiento con plasma no térmico.....	639
22.17	Conservación de la madera .....	640
22.18	Fabricación de espejos .....	640
22.19	Tratamiento de gases residuales.....	640
22.19.1	Tubos de adsorción de carbón calentados eléctricamente .....	640
22.20	Tratamiento de aguas residuales .....	641
22.20.1	Cabinas de pulverización con separación húmeda: con partículas de SiO <sub>2</sub> .....	641
<b>23</b>	<b>OBSERVACIONES FINALES .....</b>	<b>643</b>
23.1	Calendario de trabajo .....	643
23.2	Fuentes de información y desarrollo del documento .....	643

23.3	Nivel de consenso .....	645
23.4	Vacíos de conocimiento y recomendaciones para posteriores investigaciones y recogida de información .....	645
23.4.1	Aspectos generales: .....	645
23.4.2	Aspectos para industrias concretas .....	647
23.5	Revisión de este documento .....	649
<b>BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA .....</b>		<b>651</b>
<b>GLOSARIO .....</b>		<b>659</b>
<b>24</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>669</b>
24.1	Modelos para calcular la relación coste-beneficio .....	669
24.1.1	Modelo y hojas de resumen del EGTEI.....	669
24.1.2	Modelo de costes ambientales regionales (MKM, MilieuKostenModel).....	671
24.2	Cálculo de emisiones de COV y unidades utilizadas.....	677
24.2.1	Cumplimiento con la Directiva sobre emisiones de disolventes .....	677
24.2.1.1	Valores límite de emisión (ELV) y emisiones fugitivas (Anexo IIA de la SED) .....	677
24.2.1.2	Esquema de reducción de emisiones (SED, anexo IIB).....	678
24.2.2	Precisión.....	679
24.2.3	Eficiencia de aplicación del revestimiento .....	680
24.3	Medición de emisiones fugitivas, método directo.....	681
24.3.1	Aplicaciones al sector de estampado .....	687
24.4	Casos comunes de balance de masa .....	690
24.5	Determinación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en talleres de pintura de vehículos .....	694
24.5.1	Principios básicos/generales.....	694
24.5.2	Explicación.....	696
24.5.2.1	Control de los flujos de masa de las emisiones de COV.....	696
24.5.2.1.1	Mediciones a final de línea (end of pipe).....	696
24.5.2.1.2	Cálculo del balance de masa del disolvente .....	698
24.5.2.1.3	Métodos para la determinación de los flujos de masa específicos .....	700
24.5.2.2	Determinación del rendimiento total del área de superficie.....	701
24.5.2.2.1	Área superficial de los vehículos .....	701
24.5.2.2.2	Número de vehículos por período de tiempo .....	702
24.5.2.3	Escala de tiempo para la representatividad del balance de masa .....	702
24.5.2.3.1	Valores límite basados en periodos de corta duración .....	702
24.5.2.3.2	Valor límite basado en el valor medio anual.....	703
24.6	Algunos valores límites indicados por la Directiva sobre Emisiones de Disolventes .....	703
24.7	Cálculo del POCP efectivo (Potencial de Creación Fotoquímica de Ozono).....	704
24.8	Costes sociales marginales del cambio climático .....	707
24.9	Eficiencia de eliminación de las técnicas de tratamiento de gases residuales.....	708



## Lista de ilustraciones

Figura 1.1: Emisiones de disolventes orgánicos volátiles no metánicos procedentes de procesos IPPC en 2001 .....	4
Figura 2.1: descripción general de los principales procesos de impresión.....	10
Figura 2.2: Prensa flexográfica de ocho tintas con un cilindro de impresión central (prensa satélite).....	18
Figura 2.3: Esquema de una prensa offset de alimentación de hoja A4 color con cuatro unidades de impresión de tres cilindros.....	21
Figura 2.4: prensa de 4 + 4 tintas para huecograbado de publicaciones.....	24
Figura 2.5: el principio del estarcido.....	25
Figura 2.6: balance de COV de la planta virtual .....	32
Figura 2.7: niveles específicos consumo y emisiones de COV en un proceso virtual de secado por calor	33
Figura 2.8: entrada específica de sustancias y salida de residuos en un proceso virtual de secado por calor....	34
Figura 2.9: consumo específico de energía en un proceso virtual de secado por calor .....	40
Figura 2.10: balance de COV de una planta virtual de huecograbado de publicaciones.....	65
Figura 3.1: Proceso habitual de fabricación de hilos esmaltados .....	111
Figura 4.1: Esquema general de los diferentes tipos de abrasivos .....	136
Figura 4.2: Flujo de proceso esquemático para abrasivos revestidos .....	142
Figura 5.1: Disposición esquemática de una línea de fabricación de cintas adhesivas .....	159
Figura 5.2: Diferentes tipos de unidades aplicadoras de adhesivos.....	159
Figura 5.3: Laminadora .....	160
Figura 5.4: Generación de residuos (2004) .....	162
Figura 5.5: Consumo de energía (2004).....	162
Figura 5.6: Flujo de disolventes (2004).....	163
Figura 5.7: Balance de COV de la planta de referencia .....	164
Figura 6.1: Esquema genérico de un proceso de pintura de carrocerías.....	173
Figura 6.2: Intervalo de emisiones de COV en 65 talleres de pintura de Europa.....	184
Figura 7.1: Emisiones de COV en diversas plantas europeas de montaje de camionetas, camiones y cabinas de camiones .....	200
Figura 8.1: Emisiones de COV para diversas plantas de montaje de autobuses europeas .....	212
Figura 14.1: Disposición típica de una línea de recubrimiento de bobinas .....	279
Figura 14.2: Capas típicas de un producto recubierto de acero.....	282
Figura 15.1: Proceso de fabricación de latas para bebidas [13, DFIU e IFARE, 2002].....	309
Figura 15.2: Proceso de producción de láminas planas metálicas [76, TWG, 2004] .....	311
Figura 15.3: Proceso de producción de latas de tres piezas [76, TWG, 2004].....	313
Figura 15.4: Proceso de producción de tapas, tapones y cierres [76, TWG, 2004].....	314
Figura 15.5: Proceso de fabricación de tubos de aluminio extrusionado [76, TWG, 2004].....	315
Figura 15.6: Proceso de producción de bidones [76, TWG, 2004] .....	317
Figura 16.1: Proceso de recubrimiento de parachoques de base acuosa .....	345
Figura 16.2: Flujo del proceso para el recubrimiento de tapacubos con un sistema de recubrimiento convencional.....	347
Figura 16.3: Destino de los COV introducidos en la planta de parachoques para coches.....	352
Figura 18.1: Diagrama de flujo de una instalación típica de conservación de madera mostrando los consumos y emisiones .....	396
Figura 19.1: Diagrama de flujo de la fabricación de espejos [61, GEPVP, et al., 2004].....	406
Figura 20.1: Todas las entradas y salidas de disolventes (utilizando las definiciones de la SED).....	435
Figura 20.2: Esquema de depuración de aguas residuales aplicado a una cabina de pulverización con separación húmeda .....	488
Figura 20.3: Esquema de una unidad de fosfatación con un intercambiador iónico .....	492
Figura 20.4: Evaluación de las potenciales sustituciones a través del POCP.....	523
Figura 20.5: Esquema de rangos de aplicación de las tecnologías de disminución, eliminación de COV disponibles.....	527
Figura 20.6: Ejemplo de consumo de gas por debajo del punto autotérmico para una planta de embalajes flexibles .....	529
Figura 20.7: Cámara impelente .....	546
Figura 24.1: Sin depuración a final de línea (end of pipe), y sin reciclaje interno .....	690
Figura 24.2: Sin depuración a final de línea (end of pipe), pero con recuperación interna del disolvente y reutilización .....	691
Figura 24.3: Con recuperación del disolvente y reutilización (interna y externa).....	692
Figura 24.4: Depuración destructiva a final de línea (end of pipe) .....	693
Figura 24.5: Flujos de masa básicos de entrada/salida de disolventes en el taller de pintura.....	695



---

## Lista de tablas

Tabla 2.1: Número de empresas gráficas en los países europeos .....	7
Tabla 2.2: número de empleadores en la industria gráfica europea .....	8
Tabla 2.3: Cifra de negocio de la industria gráfica europea, todas las actividades .....	9
Tabla 2.4: diferencias entre las prensas de huecograbado de publicaciones y de huecograbado de embalajes .....	23
Tabla 2.5: Datos operativos de una planta virtual de offset con secado por calor .....	30
Tabla 2.6: condiciones de producción de la planta virtual de offset con secado por calor .....	30
Tabla 2.7: entrada y salida de la planta virtual de secado por calor .....	31
Tabla 2.8: combinaciones de tipos de prensas de secado por calor y tipos de trabajos analizados .....	35
Tabla 2.9: datos sobre el consumo de disolventes por tipo de prensa y tipo de trabajo .....	35
Tabla 2.10: emisiones de COV de la planta virtual con secado por calor .....	35
Tabla 2.11: receta básica típica para las tintas de offset rotativa con secado por calor .....	36
Tabla 2.12: agentes limpiadores en secado por calor y procesos offset en general .....	38
Tabla 2.13: consumo de energía de la planta virtual de secado por calor (según Tabla 2.7) .....	39
Tabla 2.14: logros de las técnicas de incineración en plantas de secado por calor .....	43
Tabla 2.15: balance de masa de una planta de impresión flexográfica con buenas prácticas .....	46
Tabla 2.16: maquinaria y condiciones de producción de las imprentas flexográficas virtuales .....	47
Tabla 2.17: balance de COV y residuos para una imprenta flexográfica virtual de base disolvente .....	48
Tabla 2.18: balance de COV y residuos para una imprenta flexográfica virtual de proceso combinado .....	49
Tabla 2.19: disolventes típicos utilizados en los procesos de impresión de embalajes de base disolvente .....	49
Tabla 2.20: disolventes típicos utilizados en los procesos de impresión de embalajes al agua .....	50
Tabla 2.21: uso de COV específicos en procesos de impresión de embalajes .....	50
Tabla 2.22: receta básica media para las tintas flexográficas de base disolvente .....	51
Tabla 2.23: tinta típica de flexografía para papel, según las características de fábrica .....	52
Tabla 2.24: tinta típica de flexografía sin hidrocarburos disolventes para papel, según las características de fábrica .....	52
Tabla 2.25: receta típica de una tinta para huecograbado, según las características de fábrica .....	52
Tabla 2.26: receta básica media para las tintas de huecograbado al agua .....	53
Tabla 2.27: receta típica de una tinta de huecograbado al agua para papel estucado, según las características de fábrica .....	54
Tabla 2.28: receta típica de una tinta de flexografía al agua para papel y cartón, según las características de fábrica .....	54
Tabla 2.29: barniz al agua típico para cartones en procesos de impresión por huecograbado .....	54
Tabla 2.30: valores medios de aplicación de la tinta .....	55
Tabla 2.31: balance energético de la planta virtual de flexografía de base disolvente .....	56
Tabla 2.32: balance energético de la planta virtual de flexografía de proceso combinado .....	57
Tabla 2.33: reducción de las emisiones fugitivas procedentes de la impresión de embalajes flexibles .....	60
Tabla 2.34: características del agua residual de los procesos que utilizan tintas al agua .....	63
Tabla 2.35: balance de masa de una planta de huecograbado de publicaciones con buenas prácticas .....	64
Tabla 2.36: COV en el huecograbado de publicaciones .....	66
Tabla 2.37: entrada específica de tolueno correspondiente a dos plantas de Flandes, Bélgica .....	66
Tabla 2.38: balances de tolueno correspondientes a dos plantas de huecograbado .....	66
Tabla 2.39: receta básica media para las tintas de huecograbado de publicaciones, según las características de fábrica .....	67
Tabla 2.40: Referencias a las técnicas aplicables en general al sector .....	71
Tabla 2.41: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	85
Tabla 2.42: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	98
Tabla 3.1: Cifras europeas para la fabricación de hilo esmaltado y los consumos correspondientes de disolventes entre 1970 y 2000. ....	109
Tabla 3.2: Grupos de tipos de hilo para bobina .....	110
Tabla 3.3: Balance de masa de una planta que fabrica hilos para bobina de tamaño medio .....	114
Tabla 3.4: Balance de masa de una planta que fabrica hilos finos para bobina .....	115
Tabla 3.5: Principales productos de hilo para bobinas y sistemas de revestimiento aplicados .....	116
Tabla 3.6: Ejemplos de mediciones de emisiones a la atmósfera .....	117
Tabla 3.7: Hilos para bobina: Ejemplos adicionales de emisiones de NO <sub>x</sub> .....	119
Tabla 3.8: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	121
Tabla 4.1: Fabricación de abrasivos en 1999 en Alemania .....	135
Tabla 4.2: Materiales de sustrato seleccionados para abrasivos .....	137
Tabla 4.3: Alúmina aplicada como grano abrasivo inerte (valores habituales) .....	139
Tabla 4.4: Carburo de silicio aplicado como grano abrasivo (valores habituales) .....	139

Tabla 4.5: Uso de disolventes en la fabricación de abrasivos según el producto .....	140
Tabla 4.6: Componentes de una instalación y diferenciación .....	145
Tabla 4.7: Balance de masa en la fabricación de abrasivos en la planta 1 .....	146
Tabla 4.8: Balance de masa en una planta de impregnación para la fabricación de abrasivos en la planta 2.....	147
Tabla 4.9: Balance de masa en la fabricación de abrasivos en la planta 3 .....	148
Tabla 4.10: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	150
Tabla 5.1: Aplicaciones de adhesivos sensibles a la presión de base disolvente para cintas adhesivas ...	156
Tabla 5.2: Adhesivos sensibles a la presión para la fabricación de cintas adhesivas .....	157
Tabla 5.3: Condiciones de producción de una planta de fabricación de cinta adhesiva de base disolvente.....	162
Tabla 5.4: Comparación de referencia del disolvente y la energía usados y los residuos generados .....	164
Tabla 5.5: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	165
Tabla 5.6: Comparación entre un proceso de caucho natural con disolventes y uno sin disolventes.....	168
Tabla 6.1: Mayores productores europeos de vehículos.....	171
Tabla 6.2: Consumo específico de pintura con diversos sistemas de pintura.....	180
Tabla 6.3: Consumo típico de energía en talleres de pintura de vehículos.....	181
Tabla 6.4: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	187
Tabla 6.5: Ejemplos de combinaciones de revestimientos para automóviles.....	188
Tabla 7.1: Valores de consumo específico de pintura en el revestimiento de cabinas de conducción nuevas ...	198
Tabla 7.2: Datos generales del consumo de gas para carrocerías, cabinas de conducción y camionetas .	199
Tabla 7.3: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	202
Tabla 8.1: Consumo específicos de material para las diversas capas.....	211
Tabla 8.2: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	213
Tabla 9.1: Estructura de capas en vehículos ferroviarios, según las regulaciones de la Deutsche Bahn AG.....	218
Tabla 9.2: Consumo de material por vagón.....	220
Tabla 9.3: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	222
Tabla 10.1: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	230
Tabla 10.2: Datos de consumo de energía y disolventes en dos instalaciones, una nueva y otra vieja ....	232
Tabla 11.1: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	245
Tabla 12.1: Superficies recubiertas en un A 320.....	264
Tabla 12.2: Consumo de materiales al pintar las superficies exteriores de los aeronaves.....	265
Tabla 12.3: Ejemplo de consumo de material para un B747-400 según Lufthansa Technik .....	266
Tabla 12.4: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	267
Tabla 13.1: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector .....	273
Tabla 13.2: Utilización y consumo de recursos por llanta de aluminio recubierta.....	274
Tabla 13.3: Emisiones relativas a 1 millón de llantas/a .....	274
Figura 13.4: Comparación del uso de revestimiento transparente de base disolvente respecto al uso de revestimiento transparente en polvo .....	275
Tabla 14.1: Número de líneas de producción y producción anual de acero y aluminio precubierto en algunos países europeos.....	278
Tabla 14.2: Estadísticas correspondientes al recubrimiento de bobinas durante el año 2002 .....	278
Tabla 14.3: Parámetros típicos de funcionamiento de una línea de recubrimiento orgánico de bobinas .	279
Tabla 14.4: Tipos de recubrimientos orgánicos utilizados en la industria del recubrimiento de bobinas	283
Tabla 14.5: Uso de recubrimientos orgánicos entre 1993 y 2002 .....	284
Tabla 14.6: Entradas del proceso de recubrimiento de bobinas, usos y destino típico al final de su vida útil.....	285
Tabla 14.7: Disolventes utilizados más frecuentemente en recubrimientos orgánicos.....	286
Tabla 14.8: Consumos de pintura típicos en el recubrimiento de bobinas .....	286
Tabla 14.9: Productos químicos que contienen componentes no disolventes .....	287
Tabla 14.10: Uso de electricidad para sustratos de aluminio y acero.....	288
Tabla 14.11: Consumo de combustibles fósiles para sustratos de aluminio y acero .....	288
Tabla 14.12: Emisiones a la atmósfera típicas procedentes de procesos de recubrimiento de bobinas (todas ellas son fuentes puntuales).....	289
Tabla 14.13: Emisiones de COV de distintos sistemas de recubrimiento .....	290
Tabla 14.14: Residuos típicos de una línea de proceso de recubrimiento de bobinas .....	291
Tabla 14.15: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector.....	292
Tabla 15.1: Visión general de las técnicas de fabricación de envases metálicos [76, TWG, 2004].....	307
Tabla 15.2: Técnicas utilizadas para el recubrimiento e impresión de envases metálicos [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] .....	308
Tabla 15.3: Datos correspondientes al recubrimiento e impresión de latas de bebida [13, DFIU e IFARE, 2002].....	318
Tabla 15.4: Datos correspondientes al recubrimiento e impresión de láminas planas [76, TWG, 2004].	318
Tabla 15.5: Datos correspondientes al recubrimiento e impresión de latas de tres piezas [76, TWG, 2004].....	319
Tabla 15.6: Datos correspondientes al recubrimiento e impresión de tapones [76, TWG, 2004] .....	319
Tabla 15.7: Balances de masa del recubrimiento e impresión de bidones [76, TWG, 2004].....	319

Tabla 15.8: Consumo de materiales en una planta [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004].....	320
Tabla 15.9: Consumo de materias primas en el recubrimiento e impresión de láminas planas [76, TWG, 2004].....	321
Tabla 15.10: Consumo de materias primas en el recubrimiento e impresión de latas de tres piezas [76, TWG, 2004].....	322
Tabla 15.11: Consumo de materias primas en el recubrimiento e impresión de extremos, tapones y cierres.	322
Tabla 15.12: Uso y recuperación de la energía en dos instalaciones.....	323
Tabla 15.13: Niveles de emisión de COV registrados en distintos procesos de recubrimiento e impresión de envases metálicos.....	323
Tabla 15.14: Valores de emisión de gases limpios tras el tratamiento de los gases residuales de la planta A	324
Tabla 15.15: Valores de emisión de gases limpios tras el tratamiento de los gases residuales de la planta B.	324
Tabla 15.16: Valores de emisión de gases limpios tras el tratamiento de los gases residuales de la planta C.	324
Tabla 15.17: Emisiones a la atmósfera procedentes del recubrimiento e impresión de bidones.....	325
Tabla 15.18: Residuos generados por el recubrimiento e impresión de envases metálicos.....	326
Tabla 15.19: Emisiones procedentes del recubrimiento e impresión de bidones.....	326
Tabla 15.20: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector.....	327
Tabla 16.1: Proporciones de disolventes en distintos sistemas de recubrimiento utilizados para el recubrimiento de parachoques.....	346
Tabla 16.2: Comparación de las proporciones de disolventes en sistemas de recubrimiento aplicados al recubrimiento de tapacubos.....	347
Tabla 16.3: Uso de COV en el año 2000.....	349
Tabla 16.4: Desglose de los materiales COV convencionales.....	350
Tabla 16.5: Desglose de materiales de bajo contenido en COV para alcanzar emisiones reducidas de COV	351
Tabla 16.6: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector.....	353
Tabla 16.7: Niveles de emisión en las aguas residuales procedentes del recubrimiento de piezas de plástico.....	355
Tabla 17.1: Composición de distintos tipos de tintes para madera.....	369
Tabla 17.2: Descripción general de las propiedades de los tintes y pinturas para madera.....	372
Tabla 17.3: Factores de eficiencia de aplicación alcanzables.....	373
Tabla 17.4: Cantidades de materiales de pintura aplicados en distintas técnicas de aplicación [13, DFIU e IFARE, 2002].....	377
Tabla 17.5: Pinturas aplicadas y cantidades de disolventes orgánicos: ejemplos de distintas aplicaciones en la industria de la madera y del mobiliario.....	378
Tabla 17.6: Emisiones específicas de COV procedentes de varios sistemas de pintura y, algunos, con medidas primarias de reducción de emisiones.....	379
Tabla 17.7: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector.....	381
Tabla 18.1: Factores de emisión (EF) predeterminados procedentes de la conservación de madera, eficiencias de purificación y costes para cada combinación.....	398
Tabla 18.2: Conservación de madera: medidas primarias de depuración.....	398
Tabla 18.3: Conservación de madera: Medidas secundarias de depuración.....	398
Tabla 18.4: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector.....	400
Tabla 19.1: Valores de emisiones al aire procedentes de tres líneas distintas de espejos.....	408
Tabla 19.2: Valores de emisión en agua tras el tratamiento.....	408
Tabla 19.3: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector.....	409
Tabla 20.1: Desglose de la información acerca de cada técnica descrita en el capítulo 20 y en todas las secciones 4 de cada uno de los capítulos 2 a 19.....	413
Tabla 20.2: Ejemplo de la introducción de la pulverización del interior mediante robots en una línea de ensamblado de automóviles.....	430
Tabla 20.3: Ejemplo de la introducción de la pulverización del exterior mediante robots utilizando pinturas metalizadas en una línea de ensamblado de automóviles.....	431
Tabla 20.4: Cantidad específica de agua de aclarado (litros de agua de aclarado por litro arrastrado) en función del criterio de aclarado y del número de fases en el aclarado en cascada inversa	443
Tabla 20.5: Medidas y técnicas para el ahorro de la energía.....	447
Tabla 20.6: Ejemplos de aplicabilidad de las técnicas de limpieza y opciones.....	506
Tabla 20.7: Ejemplos de sustitutos de disolventes usados en el sector STS (tratamiento de superficies mediante disolventes orgánicos).....	513
Tabla 20.8: Influencia del valor de emisión en la elección de un sistema de oxidación de 2 o 3 lechos..	528
Tabla 20.9: Comparación de los costes sociales marginales del cambio climático con respecto a los costes de los daños marginales derivados de las emisiones de COV (véase Anexo 24.8).....	531
Tabla 20.10: Emisiones y costes en función de la capacidad de incineración.....	533
Tabla 20.11: Niveles máximos admisibles de LEL en los secadores para la impresión de embalajes flexibles.....	542
Tabla 21.1: Limpieza: técnicas que pueden emplearse para reducir las emisiones de COV.....	599

Tabla 21.2: Técnicas de impresión con secado por calor para reducir el uso de IPA en la disolución humectante.....	605
Tabla 21.3: Técnicas de secado con calor para reducir las emisiones fugitivas de la limpieza.....	606
Tabla 21.4: Técnicas de flexografía y huecograbado de envases para reducir las emisiones de COV.....	609
Tabla 21.5: Técnicas de huecograbado de embalajes para reducir las emisiones de COV .....	610
Tabla 21.6: Revestimiento de vehículos: técnicas para reducir COV que pueden implantarse a corto plazo .	613
Tabla 21.7: Trenes: técnicas para reducir las emisiones de disolventes a la atmósfera.....	617
Tabla 21.8: EAC: técnicas relacionadas con materiales de revestimiento .....	618
Tabla 21.9: EAC: técnicas de aplicación.....	619
Tabla 21.10: EAC: técnicas de tratamiento de gases residuales.....	619
Tabla 21.11: Revestimiento de bobinas: consumo de energía para el revestimiento de sustratos de aluminio y acero .....	622
Tabla 21.12: Revestimiento de bobinas: selección de técnicas para controlar los consumos y las emisiones de disolventes .....	623
Tabla 21.13: Envases metálicos: valores de emisión para los disolventes asociados a MTD .....	624
Tabla 21.14: Envases metálicos: técnicas para reducir las emisiones de disolventes.....	624
Tabla 21.15: Envases metálicos: niveles de emisión para aguas residuales.....	624
Tabla 21.16: Revestimiento de madera: emisiones de COV para diversos sistemas de pintura con medidas primarias de reducción de emisiones .....	626
Tabla 21.17: Revestimiento de madera: técnicas para reducir el consumo y la emisión de disolventes y mejorar la eficiencia de revestimiento .....	627
Tabla 24.1: Tabla de hojas de resumen del EGTEI relevantes para este documento .....	671
Tabla 24.2: Costes medios y potencial de reducción de COV para todas las medidas analizadas con el modelo .....	674
Tabla 24.3: Posibles medidas efectivas en costes para la reducción de las emisiones de COV por industria .	676
Tabla 24.4: Factores de la SED para determinar los valores anuales de emisión de referencia .....	679
Tabla 24.5: Emisiones relacionadas con fuentes procedentes de una planta que procesa 1000 toneladas de disolventes .....	683
Tabla 24.6: Ejemplo de un posible resultado del cálculo de inexactitudes .....	684
Tabla 24.7: Ejemplo que muestra los resultados de la mejora de precisión .....	685
Tabla 24.8: Ejemplo que muestra los resultados de la mejora de precisión .....	686
Tabla 24.9: Flujos de entrada y salida en talleres de pintura de vehículos (según SED 1999/13/EC) .....	699
Tabla 24.10: Ejemplo 1 de cálculo del POCP efectivo .....	705
Tabla 24.11: Ejemplo 2 de cálculo del POCP efectivo .....	705
Tabla 24.12: Ejemplos de tasas de evaporación relativa (RA) para una selección de COV .....	706
Tabla 24.13: Ejemplos de APOCP <sub>e</sub> para una selección de COV y un COV de referencia en los cinco ambientes diferentes A, B, C, D y E.....	706
Tabla 24.14: Técnicas de disminución de gases residuales.....	714
Tabla 24.15: Grupos químicos de disolventes comunes y su contenido de carbono.....	716
Tabla 24.16: Eficiencia de eliminación de las técnicas por oxidación .....	717
Tabla 24.17: Eficiencia de eliminación en la recuperación de disolvente por carbón activo .....	718

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

El ámbito de aplicación del presente documento se basa en el anexo 1, 6.7 de la directiva 96/61/CE del Consejo del 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y control integrados de la contaminación (directiva IPPC):

*Anexo 1, 6.7:*

*«Instalaciones de tratamiento de superficie de materias, objetos o productos, que utilicen disolventes orgánicos, en particular para operaciones de preparación, impresión, revestimiento, desengrase, impermeabilización, encolado, pintado, limpieza o impregnación y con una capacidad de consumo superior a 150 kg de disolventes por hora o a 200 toneladas por año».*

En las guías que están elaborando los servicios de la Comisión encontrará información sobre la interpretación de algunos problemas surgidos a raíz de la aplicación de la directiva IPPC. Asimismo, a continuación se ofrece información sobre cómo se tratan algunos problemas relacionados con el ámbito de aplicación del presente documento.

### Instalación

En su artículo 2.3, la directiva IPPC define «instalación» de la siguiente manera: «una unidad técnica fija en la que se lleven a cabo una o más de las actividades enumeradas en el Anexo I (de la directiva IPPC), así como cualesquiera otras actividades directamente relacionadas con aquellas que guarden una relación de índole técnica con las actividades llevadas a cabo en dicho lugar y puedan tener repercusiones sobre las emisiones y la contaminación».

### Disolventes orgánicos y COV

Los compuestos orgánicos de uso comercial son productos químicos que contienen carbono [76, TWG, 2004]. La directiva sobre emisiones de disolventes [123, EC, 1999] define los disolventes orgánicos como: *«todo COV que se utilice solo o en combinación con otros agentes, sin sufrir ningún cambio químico, para disolver materias primas, productos o materiales residuales, o se utilice como agente de limpieza para disolver la suciedad, o como disolvente, o como medio de dispersión, o como modificador de la viscosidad, o como agente tensioactivo, o plastificante o conservador».*

Los disolventes orgánicos pueden clasificarse según su estructura química. Existen tres grupos principales:

- disolventes oxigenados, como:
  - alcoholes,
  - aldehídos,
  - ésteres,
  - éteres,
  - éteres de glicol y sus ésteres,
  - cetonas,
- hidrocarburos disolventes:
  - alifáticos,
  - aromáticos,
- disolventes halogenados.

La definición de COV que da la directiva sobre emisiones de disolventes es la siguiente: *«todo compuesto orgánico que tenga a 293,15 K una presión de vapor de 0,01 kPa o más, o que tenga una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso».* Sin embargo, el artículo 3(k) de la directiva [139, EC, 2001] sobre los límites nacionales de emisión dice: *«compuestos orgánicos volátiles y COV significan todos los compuestos orgánicos que sean resultado de actividades humanas, distintos del metano, que puedan producir oxidantes fotoquímicos por reacción con óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar».* Aparte de éstos, se pueden encontrar ejemplos de definiciones de otros COV en la legislación y las directrices tanto europeas como nacionales. En general, se utilizan dos expresiones: COVNM, que significa



COV distintos del metano, y COV. Cuando se usa la segunda expresión, no siempre queda claro si se incluye o no el metano. Sin embargo, en el presente documento, en lo que concierne a los consumos y las emisiones, COV se utiliza normalmente en el sentido de COVNM.

El sector solicitó que se aclararan las definiciones de «disolventes orgánicos» y «capacidad de consumo». Al término del intercambio de información, pudo observarse que la información sobre disolventes orgánicos manejada durante el mismo se correspondía con la definición de COV (según establece la directiva 1999/13/CE del Consejo, sobre emisiones de disolventes). También se vio que, a la hora de determinar las conclusiones sobre las MTD, el intercambio se había centrado en instalaciones cuyo uso efectivo de disolventes había superado los umbrales de capacidad de consumo establecidos en la directiva IPPC (en casos en que el uso en la actividad incluía disolventes recuperados de los equipos de reducción de emisiones de gases residuales). La interpretación de estos umbrales de capacidad se está debatiendo en la Dirección General de Medio Ambiente, la cual intenta desarrollar criterios para la interpretación de determinadas disposiciones de la directiva.

### **Tratamiento de superficies**

El apartado 6.7 del anexo I de la directiva IPPC hace referencia a los siguientes tratamientos de superficies: pintura, aplicación de adhesivos, otros procesos de revestimiento, impregnación, impermeabilización, impresión y limpieza de superficies. Sin embargo, el intercambio de información no contempla las MTD aplicables a sectores o subsectores industriales que se mantienen por debajo de las capacidades de consumo de la directiva IPPC, anexo I (6.7). En concreto, se analizan pormenorizadamente los siguientes:

- impresión (offset rotativa con secado por calor, flexografía, huecogrado de embalajes y huecogrado de publicaciones);
- pintura y otras actividades de revestimiento (bobinas de alambre, coches, camiones, autobuses, trenes, maquinaria agrícola y para la construcción, buques y yates, aeronaves, otras superficies metálicas, bobinas metálicas, embalajes de metal, plásticos, muebles, madera y espejos);
- impermeabilización (mediante pintura y conservación de la madera);
- aplicación de adhesivos (en la fabricación de abrasivos y cintas adhesivas);
- limpieza y desengrase junto con otras actividades de tratamiento de superficies (ver límite entre el presente documento y otros BREF, más abajo);
- conservación de la madera.

Las siguientes actividades quedan excluidas en aquellos casos contemplados por los BREF del sector textil y de los curtidos:

- revestimiento;
- impermeabilización;
- encolado.

La fabricación de revestimientos, pinturas, tintas y adhesivos, y los procesos de extracción de disolventes y transformación del caucho no entran en el ámbito del anexo I, apartado 6.7 de la directiva IPPC. Los procesos de tratamiento de la madera, como la fabricación de madera aglomerada, laminados de tableros de partículas y de fibras (por ejemplo, con papel impregnado con resinas fenólicas), no se incluyeron porque emplean adhesivos al agua.

### **Limpieza de superficies**

La limpieza de superficies puede tener tres interpretaciones diferentes:

1. La limpieza como actividad principal, es decir, la actividad consiste primordialmente en limpiar.

2. Limpieza en la que otro tratamiento de superficies es la actividad principal (es decir, una actividad de tratamiento de superficies descrita en el anexo I, apartado 6.7 de la directiva IPPC), es decir:

- la limpieza de superficies de sustratos antes del tratamiento de superficies,
- la limpieza de equipos.

En ambos casos, las técnicas se han incluido en el ámbito de aplicación del presente documento como tratamiento de superficies o actividades asociadas.

3. La limpieza utilizando disolventes en que el tratamiento de superficies no es la actividad principal. Por ejemplo, la limpieza de un recipiente entre lotes de producción durante la fabricación de un producto de base disolvente, como por ejemplo las pinturas. No se considera una actividad asociada al tratamiento de superficies y, por tanto, no está contemplada en el presente documento.

### **Límite entre el presente documento y otros BREF**

En algunos casos, el tratamiento de superficies con disolventes también se trata en otros BREF. Un ejemplo serían los siguientes:

- curtiduría;
- industria de acabados textiles;
- pasta y papel;
- procesamiento de metales ferrosos;
- vidrio y fibras minerales
- tratamiento superficial de metales y plásticos (limpieza y pretratamiento de superficies).

Estos BREF pueden servir para validar, comparar y criticar la información presentada. Las conclusiones referidas en los demás BREF no afectan o limitan las conclusiones del presente documento.

En otros documentos de referencia sobre IPPC pueden encontrarse otras técnicas y más información, en particular el BREF CWW<sup>1</sup>, el BREF de almacenamiento<sup>2</sup> y el BREF de control de emisiones<sup>3</sup>. Las conclusiones sobre las MTD que aparecen en estos documentos no están validadas para procesos de revestimiento de base disolvente, pero pueden aplicarse a este sector en aquellos casos en que existen condiciones fisicoquímicas similares y teniendo en cuenta su viabilidad económica.

Existen ejemplos de actividades que entrarían en el ámbito de aplicación del BREF sobre el tratamiento de superficies metálicas y plásticas (STM) que trata la categoría 2.6: *«Instalaciones para el tratamiento de superficies de metales y materiales plásticos por procedimiento electrolítico o químico, cuando el volumen de las cubetas es superior a 30 m<sup>3</sup>»*, y que también entrarían en el ámbito de aplicación del presente documento. La elección de dónde colocar la información sobre las actividades que entran dentro del ámbito de aplicación de ambos BREF o de uno solo se realiza a partir de motivos prácticos y de los datos referenciados. El revestimiento electrolítico se trata en el presente documento.

---

<sup>1</sup> El documento de referencia sobre MDT relativo a la gestión y tratamiento común de aguas y gases residuales en la industria química 67 EIPPCB (2003). «Reference document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector», European Commission.

<sup>2</sup> El documento de referencia sobre las MDT relativas a las emisiones procedentes del almacenamiento 91 EIPPCB (2005). «Reference document on Best Available Techniques on Emissions from Storage».

<sup>3</sup> Documento de referencia sobre Principios generales de control 113 EIPPCB (2003). «Reference Document on the General Principles of Monitoring».





# 1 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL TRATAMIENTO DE SUPERFICIES CON DISOLVENTES ORGÁNICOS

[128, TWG, 2005]

En este documento, *disolventes* significará disolventes orgánicos (a menos que se añada alguna aclaración, como *al agua*, etc.).

## 1.1 Disolventes orgánicos y tratamiento de superficies

Los disolventes orgánicos proceden, en su mayoría, de fabricantes reconocidos de la industria petroquímica (aunque existen alternativas, como los ésteres de aceites vegetales). En Europa se venden y consumen 4,5 millones de toneladas de disolventes. La mayor demanda, con diferencia, procede del sector de la pintura y los revestimientos. Sin embargo, esta demanda ha descendido de un 46 % en 1998 a un 27 % en 2003. Este hecho se debe seguramente a una gran implantación de las tecnologías que utilizan disolventes al agua y en polvo, en aquellas aplicaciones en las que resulta viable. Del resto, un 7 % se emplea para elaborar tintas para imprenta y un 4 % para adhesivos. Es imposible facilitar un desglose más pormenorizado de estas cifras, ya que los fabricantes de disolventes desconocen, por ejemplo, en qué tipos de preparados se utilizan los disolventes o si se utilizan para limpiar, etc.

Los datos históricos de las ventas de disolventes muestran un crecimiento medio marginal del 0,1 % anual en los últimos 10 años, por debajo del PIB. Las proyecciones de futuro sobre el consumo no auguran ningún crecimiento. La tendencia a la baja de los últimos años está relacionada con los siguientes factores:

- la proliferación de la legislación ambiental;
- una mayor penetración de las tecnologías de base acuosa o alternativas, en aquellos casos en los que es viable;
- el reciclaje de los disolventes y un uso más eficaz de los mismos.

Los disolventes orgánicos se suelen dividir en clases de productos. Las más importantes son las siguientes:

- disolventes oxigenados: incluye los ésteres, las cetonas, los alcoholes y los éteres de glicol (y sus derivados acéticos);
- hidrocarburos disolventes: hidrocarburos disolventes aromáticos (como el tolueno y el xileno), alifáticos y parafínicos;
- disolventes clorados (no incluidos en estas estadísticas).

Dentro de la familia de los disolventes, ha habido una tendencia a dejar de lado los aromáticos y el white spirit, y utilizar productos menos volátiles (menos combustibles, menor exposición potencial, menos emisiones de COV) en la medida de lo posible.

La producción de disolventes da empleo directo a 10 000 personas y genera un volumen de negocio de 2500 a 3000 millones de euros. En la UE-25, el uso de disolventes da trabajo a involucra a unos 10 millones de empleos en más de 500 000 empresas, la mayoría de las cuales son PYME que generan un volumen de negocio total de unos 200 000 millones de euros.

En este sector de la IPPC, las industrias descritas utilizan los disolventes en una amplia variedad de actividades. Se utilizan para limpiar las superficies que se van a tratar, o como portador para el tratamiento (como la tinta, la pintura, conservantes, aislantes o adhesivos). Asimismo, utilizan estos tratamientos con los siguientes fines:

- comunicación (impresión);
- decoración;

- prevención de la corrosión y el deterioro de superficies o productos;
- la conservación y distribución de productos (latas de comida y bebida, envases alimentarios, aerosoles, artículos de perfumería, bidones, etc.);
- la aplicación de una capa con alguna función especial (por ejemplo, aislamiento eléctrico, abrasión, adhesión).

El presente capítulo 1 ofrece información general sobre todas las industrias o actividades implicadas. Cada uno de los capítulos del 2 al 19 hace referencia a una industria del sector y contiene cuatro apartados, a saber:

- Apartado 1: información general sobre la industria o actividad correspondiente;
- Apartado 2: descripción de los procesos industriales utilizados en esta industria o actividad;
- Apartado 3: datos e información sobre los niveles actuales de consumo y emisiones, que plasman la situación en las instalaciones en el momento de elaborar el documento;
- Apartado 4: técnicas que han de tenerse en cuenta para determinar las MTD, como se explica más abajo respecto al capítulo 20; sin embargo, se insiste sobre todo en las técnicas o la información específicas de cada industria o actividad.

El capítulo 20 describe técnicas generales para la reducción del consumo y de las emisiones, así como otras técnicas que se consideran idóneas para determinar las MTD y las condiciones de los permisos basadas en las mismas, y que son pertinentes para todas o la mayoría de las industrias o actividades afectadas.

El capítulo 21 está dividido en dos partes: El apartado 21.1, que establece las MTD genéricas aplicables a todas las industrias de este sector. Los apartados 21.2 a 21.19, que establecen las MTD específicas para cada industria y que deben utilizarse junto con las del apartado 21.1.

El párrafo 5 del prefacio explica con más detalle cómo interpretar y utilizar este documento.

## 1.2 Principales problemas ambientales

### 1.2.1 Descripción general

Las industrias de revestimiento con disolventes orgánicos (STS) desempeñan un papel capital en la conservación de los metales, como la carrocería de los automóviles, el casco de los barcos, el fuselaje de los aviones y los materiales de construcción, así como en la conservación y distribución de alimentos y otros productos envasados. Los principales problemas ambientales relacionados con los disolventes tienen que ver con las emisiones a la atmósfera, el agua y el suelo, las emisiones de partículas a la atmósfera, el consumo de energía, la minimización y gestión de los residuos, y el estado de las plantas de fabricación tras el cese de las actividades.

Dada la inflamabilidad de los disolventes, sus efectos potenciales sobre la salud y la seguridad de los trabajadores y, a menudo, su olor desagradable, llevan muchos años controlándose y extrayéndose de los procesos. La industria también es responsable de la emisión de partículas como consecuencia de algunos procesos, en particular los de pulverización y lijado. La extracción y, en su caso, el tratamiento de los disolventes y las partículas se sirven de grandes ventiladores y otros aparatos que pueden constituir una importante fuente de ruido. Además, muchas instalaciones emplean maquinaria de producción que es intrínsecamente ruidosa. Los disolventes pueden utilizarse no sólo para limpiar los sustratos, sino también los equipos, lo cual da lugar a residuos que contienen disolventes y que deben gestionarse de una manera especial para recuperarlos y eliminarlos. Este sector consume una cantidad importante de energía, tanto en los procesos de producción como en la captura y tratamiento de los gases residuales al final de la línea. Los siguientes aspectos son esenciales:

- minimizar el consumo de materias primas y energía;
- minimizar las emisiones mediante el diseño, gestión y mantenimiento de los procesos y mediante el tratamiento de los gases residuales;
- garantizar la seguridad química y prevenir los accidentes ambientales.

Las medidas para reducir el impacto ambiental suelen ser complejas y tienen que analizarse teniendo en cuenta su influencia en la higiene y la seguridad en los lugares de trabajo, la calidad de los productos y otros procesos, la antigüedad y tipología de la instalación, así como las ventajas que aportan al medio ambiente en su conjunto. Las mejores técnicas disponibles tienen que contrastarse con estos factores y, por tanto, implicarán cambios en las unidades de proceso y en las técnicas de reducción al final de la línea de producción.

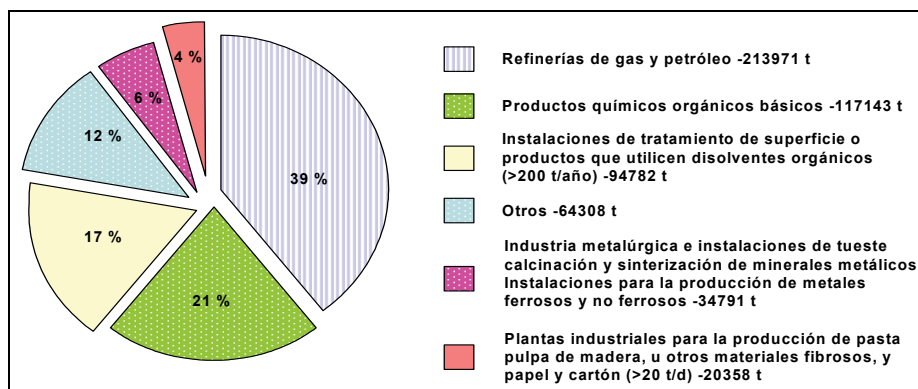
A la hora de reducir el impacto ambiental entran en juego técnicas sofisticadas de control de los procesos y tratamiento de los residuos. Sin embargo, tan importante como la elección de la tecnología más adecuada es conseguir una explotación competente y realizar un mantenimiento regular. Así pues, entre las consideraciones más importantes estarían las buenas prácticas en materia de gestión y trabajo, un buen diseño de los procesos y de la propia planta, la instrucción del personal en materia de medio ambiente y rendimiento de la producción, la seguridad laboral y la prevención de los accidentes, y, finalmente, el control de los procesos y del impacto ambiental.

## 1.2.2 Disolventes

Debido a sus propiedades y a las cantidades involucradas, los disolventes son materiales que requieren una atención especial:

- los COV reaccionan con los NO<sub>x</sub> cuando se exponen a la luz solar y forman ozono en la troposfera. Esto suele referirse a los COVNM (disolventes orgánicos volátiles no metano);
- los disolventes halogenados, por su toxicidad y su capacidad para reducir el ozono de la estratosfera;
- algunos disolventes son tóxicos para los organismos acuáticos;
- algunos disolventes no son fácilmente biodegradables, por lo que son potencialmente contaminantes para el suelo. Los disolventes tradicionales no son sustancias PBT (sustancias persistentes, bioacumulativas y tóxicas) y ninguno de ellos es vPvB (muy persistente y muy bioacumulativo). Sin embargo, los disolventes pueden filtrarse fácilmente a las aguas subterráneas, donde no existen prácticamente mecanismos para eliminarlos o descomponerlos. De hecho, existen numerosos informes sobre acuíferos utilizados para el consumo humano que están contaminados con disolventes (aunque no necesariamente procedentes de estas industrias).

El tratamiento de superficies con disolventes fue la tercera fuente más importante de emisiones de COV de las industrias europeas IPPC en 2001, según el Registro Europeo de Emisiones Contaminantes (EPER), ver Figura 1.1. Sin embargo, este registro sólo informa de las emisiones a la atmósfera que superan las 100 toneladas anuales, de manera que muchas instalaciones con niveles bajos de emisiones no aparecen reflejadas.



**Figura 1.1: Emisiones de disolventes orgánicos volátiles no metánicos procedentes de procesos IPPC en 2001**  
[194, EPER, 2001]

### 1.2.3 Metales

A menudo se ha documentado que en algunos procesos de pretratamiento de base acuosa y en pigmentos para tintas y pinturas se hallan metales tóxicos, como el cadmio, el plomo, el cromo y el níquel. Estos metales están controlados por otras normativas, como la directiva 76/769/CEE que limita la comercialización y el uso de éstos y otros pigmentos en la UE, la directiva relativa a los vehículos al final de su vida útil y la directiva sobre la restricción del uso de determinadas sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos, etc. De todos modos, su uso no está muy extendido en los tratamientos de superficies a gran escala con disolventes orgánicos ni en los procesos de impresión que se analizan en detalle en el presente documento [98, EC, 1976] [102, EC, 2000] [103, EC, 2003].

Algunos compuestos organoestánicos y otros compuestos tóxicos pueden utilizarse como catalizadores en los sistemas de pintura electrolítica.

La pasivación acuosa de superficies o fuselajes de cinc o aleaciones de cinc antes de pintarlos es una de las aplicaciones del cromo hexavalente que sigue existiendo (en 2005) por lo difícil que resulta encontrar alternativas adecuadas. Este tema se trata en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006].

Las sales de cobre, cromo y arsénico se utilizan en los conservantes al agua de la madera (ver capítulo 18).

También se emplea cobre en pequeñas cantidades en los pigmentos de azul de ftalocianina para tintas, aunque no son al agua. Sólo se realizan vertidos puntuales y su presencia en los efluentes tiene niveles muy bajos. Este complejo establece enlaces muy fuertes y no está fácilmente disponible en el medio.

### 1.2.4 Otros contaminantes

Un importante sustituto en los revestimientos de base disolvente es el uso de revestimientos al agua. Sin embargo, en algunos casos es necesario utilizar biocidas para evitar su deterioro durante el uso o el almacenamiento. En otras ocasiones, presentan altos valores de DQO o DBO debido a los solubilizantes, etc. que pueden ser poco biodegradables.

En el revestimiento de buques, la eliminación del antiincrustante viejo y la aplicación de una capa nueva pueden producir contaminantes como el TBTO (óxido de tributilestaño) y otros biocidas. Los nuevos tipos de antiincrustantes son controlados por la OMI (ver capítulo 11).

Los conservantes de la madera utilizan compuestos tóxicos en los sistemas de tratamiento. En 1991, esta actividad representaba el 30 % de las emisiones de COP de la UE-15 y, a pesar de que el uso de COP ha disminuido notablemente, se siguen teniendo particularmente en cuenta a la hora de dismantelar una planta.

El amoníaco se utiliza como estabilizante en algunas soluciones acuosas.

### **1.2.5 Energía**

Todas las actividades industriales son grandes consumidoras de energía: los procesos de tratamiento de superficies, las actividades asociadas y los equipos de reducción de la contaminación. Se gastan importantes cantidades de energía para evacuar el aire contaminado con disolventes e incluso se utiliza gas como combustible auxiliar para conseguir la destrucción térmica de los COV a bajas concentraciones. Hay que estudiar con detenimiento el equilibrio entre el consumo de energía y la reducción de los COV. En muchos casos, algunas soluciones integradas, como puede ser un mejor control de las emisiones fugitivas y un mantenimiento planificado, pueden resultar considerablemente más eficaces y eficientes, en lo que a reducción de COV se refiere, que las soluciones basadas exclusivamente en el tratamiento de los gases residuales.

### **1.2.6 Consumo de materias primas**

Pueden utilizarse técnicas de alta eficiencia para reducir el consumo de materias en general. La emisión de disolventes puede reducirse considerablemente mediante técnicas de aplicación de alta eficiencia y revestimientos de alto contenido en sólidos.

### **1.2.7 Consumo de agua**

El agua se utiliza como refrigerante y en otros procesos, en particular en los pretratamientos y revestimientos de base acuosa. Minimizar el consumo de agua es importante y, por lo tanto, se aborda en el presente documento y en el BREF STM.

En el apartado 1.2.4 se destacan los contaminantes de base acuosa más importantes de este sector.

### **1.2.8 Residuos sólidos y líquidos**

Cuando se utilizan disolventes, los residuos generados pueden clasificarse a menudo como peligrosos. Aquí se analiza el correcto almacenamiento y eliminación de estos residuos.

### **1.2.9 Partículas en suspensión**

Las partículas en suspensión son el resultado de algunos procesos (como el lijado de la madera y otros sustratos, o el revestimiento por pulverización).

### **1.2.10 Ruido**

Muchas instalaciones también emplean maquinaria de producción que es intrínsecamente ruidosa, como las plegadoras y las guillotinas en la imprenta o las prensas para metales, y también debido a los elevados volúmenes y ritmos de producción. En algunos casos, esta maquinaria tiene que estar confinada por cuestiones de higiene y seguridad laboral. Los equipos de extracción de los gases residuales utilizan grandes ventiladores, que son una importante fuente de ruido, pero existen otras formas de tratamiento de los gases residuales que también generan ruido.





## 2 IMPRENTA

[4, Intergraf y EGF, 1999] [128, TWG, 2005] a menos que se indique otra cosa.

### 2.1 Información general sobre la imprenta

#### 2.1.1 La industria gráfica en la Comunidad Europea

La industria gráfica es una de las más importantes del sector secundario en la Unión Europea y se encuentra entre las diez más importantes en la mayoría de los países. Se trata de una industria que suministra a todos los sectores de la economía, incluidos los estamentos públicos, servicios financieros, el mundo editorial y de la distribución, así como la industria manufacturera. Sus clientes son de toda índole, desde grandes estamentos a las más pequeñas empresas. Miles son las empresas que se dedican a esta actividad y, por tanto, existe una gran competencia y una capacidad de producción que en muchos ámbitos llega a superar la demanda del mercado, cosa que acentúa aún más la competencia. En la UE-25 y los países de la AELC, este sector da empleo a unas 970 000 personas en aproximadamente 125 000 empresas, con un volumen de negocio conjunto de unos 170 000 millones de euros; ver Tabla 2.1, Tabla 2.2 y Tabla 2.3. Las notas de Tabla 2.3 describen las actividades de impresión a partir de las cuales se han calculado estas cifras, entre las que se incluyen muchas actividades e instalaciones que no entran dentro del ámbito de aplicación del presente documento.

		2000	2001	2002	2003	2004
<b>UE-25<sup>(a)</sup></b>						
BE	Bélgica		1794	1693	1683	1633
CZ	República Checa	4112	3708 <sup>(b)</sup>	5286	6100	-
DK	Dinamarca	1736	1569	1473	1352	-
DE	Alemania	13 584	14 680	12 934	12 574	-
EE	Estonia	140	153	168	168	-
EL	Grecia	-	-	-	-	-
ES	España	15 445	14 452	14 445	13 958	-
FR	Francia	17 114	16 962	16 766	-	-
IE	Irlanda	353	357	380	-	-
IT	Italia	20 400	20 320	20 269	19 603	-
CY	Chipre	277	302	316	318	-
LV	Letonia	273	258	-	-	-
LT	Lituania	262	274	291	295	-
LU	Luxemburgo	86	78	77	-	-
HU	Hungría	661	4265	4322	-	-
MT	Malta	194	189	-	-	-
NL	Países Bajos	2976	2848	2668	3665	3183
AT	Austria	1045	1010	1088	1095	-
PL	Polonia	11 001	10 333	11 416	-	-
PT	Portugal	3055	3116	2988	3237	-
SI	Eslovenia	1282	1413	1133	-	-
SK	Eslovaquia	186	240	245	201	-
FI	Finlandia	1368	1311	1276	-	-
SE	Suecia	3951	3835	3683	-	-
UK	Reino Unido	18 937	18 814	18 777	18 283	-
<b>Totales:</b>		<b>118 438</b>	<b>118 573</b>	<b>121 694</b>	-	-
<b>AELC<sup>(a)</sup></b>						
NO	Noruega	1100	-	-	-	-
CH	Suiza	2634	-	-	-	-
(a)	Indicador económico para estadísticas estructurales de las empresas. Clasificación de actividades económicas – NACE Rev.1.1 – DE 22.2					
(b)	Valor provisional					
Extracto de la base de datos New Chronos de Eurostat. La cobertura estadística en términos de tamaño de las empresas puede variar dependiendo del país.						

**Tabla 2.1: Número de empresas gráficas en los países europeos**  
[177, Eurostat, 2005/6]

		2000	2001	2002	2003	2004
<b>UE-25<sup>(a)</sup></b>						
BE	Bélgica		22 006	21 309	19 586	19 169
CZ	República Checa	-	17 531 <sup>(b)</sup>	18 118	20 274	-
DK	Dinamarca	16 643	15 023	14 025	12 590	-
DE	Alemania	196 489	191 822	186 432	165 511	-
EE	Estonia	<sup>(e)</sup>	<sup>(e)</sup>	2489	2336	-
EL	Grecia	-	-	-	-	-
ES	España	87 209	82 852	84 949	82 864	-
FR	Francia	120 978	119 698	115 796	-	-
IE	Irlanda	8672	8523	7936	-	-
IT	Italia	99 106	98 980	93 680	94 903	-
CY	Chipre	1382	-	-	1573	-
LV	Letonia	3609	3917	-	-	-
LT	Lituania	3145	3363	3515	3628	-
LU	Luxemburgo	1141	1143	1140	-	-
HU	Hungría	16 076	21 213	23 683	-	-
MT	Malta	1284	1249	-	-	-
NL	Países Bajos	48 447	48 006	46 550	36 532	47 900
AT	Austria	16 803	16 560	16 066	15 196	-
PL	Polonia	38 653	38 233	34 684	-	-
PT	Portugal	24 588	25 259	22 857	24 762	-
SI	Eslovenia	5731	5778	6058	-	-
SK	Eslovaquia	5592	6118	5046	3863	-
FI	Finlandia	13 317	13 129	12 390	-	-
SE	Suecia	24 314	23 839	22 606	-	-
UK	Reino Unido	-	201 000	191 000	185 000	-
<b>Totales:</b>		<b>733 179</b>	<b>947 711</b>	<b>930 329</b>	-	-
<b>AELC<sup>(a)</sup></b>						
NO	Noruega	10 476	-	-	-	-
CH	Suiza	32 302	-	-	-	-
(a) Indicador económico para estadísticas estructurales de las empresas. Clasificación de actividades económicas – NACE Rev.1.1 – DE 22.2 (b) Valor provisional  Extracto de la base de datos New Chronos de Eurostat. La cobertura estadística en términos de tamaño de las empresas puede variar dependiendo del país.						

**Tabla 2.2: número de empleadores en la industria gráfica europea [177, Eurostat, 2005/6]**

Además de la impresión en papel, existe también un gran mercado para la impresión en otros sustratos, como son el plástico, el cartón y el metal (en cuanto a la impresión sobre metal, ver Envases metálicos, capítulo 15).

Aunque muchos de los productos indicados se pueden elaborar con el mismo tipo de máquina, algunos se imprimen con maquinaria especial por cuestiones económicas. Los principales procesos descritos (ver Figura 2.1) tienen sus propiedades particulares y sus costes asociados, de modo que se aplican en función de la demanda. A veces puede utilizarse más de un proceso para el mismo trabajo y, puntualmente, una prensa específica puede incorporar más de un proceso.

Los procesos de impresión convierten el texto y las imágenes originales en una imagen plasmada en un soporte (ver digital, más abajo), y los principales tipos de procesos reciben su nombre según la forma en que se transfiere esta imagen. El soporte puede ser una plancha, un cilindro o una plantilla. Todos los soportes gráficos tienen dos superficies separadas: un área de imagen (zona de impresión) y un área de no imagen (zona de no impresión). El área de imagen acepta la tinta, mientras que el área de no imagen no acepta ni retiene la tinta.

Cifra de negocio (total en millones de EUR)					
		2001	2002	2003	2004
<b>UE-25</b>					
BE	Bélgica	7698	7548	7244	7319
CZ	República Checa				
DK	Dinamarca	3418,3	3248,7	2904,4	
DE	Alemania	34 404	32 692	32 828	33 050
EE	Estonia	45,2	141,5	182,9	
EL	Grecia				
ES	España	5855	6070	6090	6325
FR	Francia	22 454,5	12 003,2	21 046,9	
IE	Irlanda	829	800,7		
IT	Italia	21 593,5	22 531,7	22 447,3	
CY	Chipre	177,7	165,1	158	
LV	Letonia		184,3	193	
LT	Lituania	150	183,2	182,8	
LU	Luxemburgo	279,425	281,643	309,557	
HU	Hungría	1441,4	1679,1		
MT	Malta	139,7	169,1		
NL	Países Bajos	11 516,1	10 954,8	10 134,9	
AT	Austria	3317,5	3264,6	3274,7	3287,47
PL	Polonia				
PT	Portugal	253,3	153,8	89,2	
SI	Eslovenia				
SK	Eslovaquia	374,4	370,9	368,2	
FI	Finlandia	3326	3198	3055	3147
SE	Suecia	9048	8914	8684	8850
UK	Reino Unido	44 225,4	42 146,2	35 043,9	
<b>Total UE-25:</b>		186 327,1	172 291,8	166 318,2	
<b>AELC</b>					
NO	Noruega	2784,4	2837,3		
CH	Suiza	13 000	12 800	12 400	12 500
Notas: Los totales son la suma de todas las actividades económicas de la NACE Rev.1.1 - DE 22.2, Artes gráficas y actividades de los servicios relacionados con las mismas:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 22.21: Impresión de periódicos</li> <li>◦ 22.22: Otras actividades de impresión</li> <li>◦ 22.23: Encuadernación</li> <li>◦ 22.24: Actividades de preimpresión (composición y fotograbado)</li> <li>◦ 22.25: Actividades auxiliares relacionadas con la impresión</li> </ul>					

**Tabla 2.3: Cifra de negocio de la industria gráfica europea, todas las actividades [177, Eurostat, 2005/6]**

A continuación se relacionan los principales procesos de impresión (ver Figura 2.1) y se describen en el apartado 2.2:

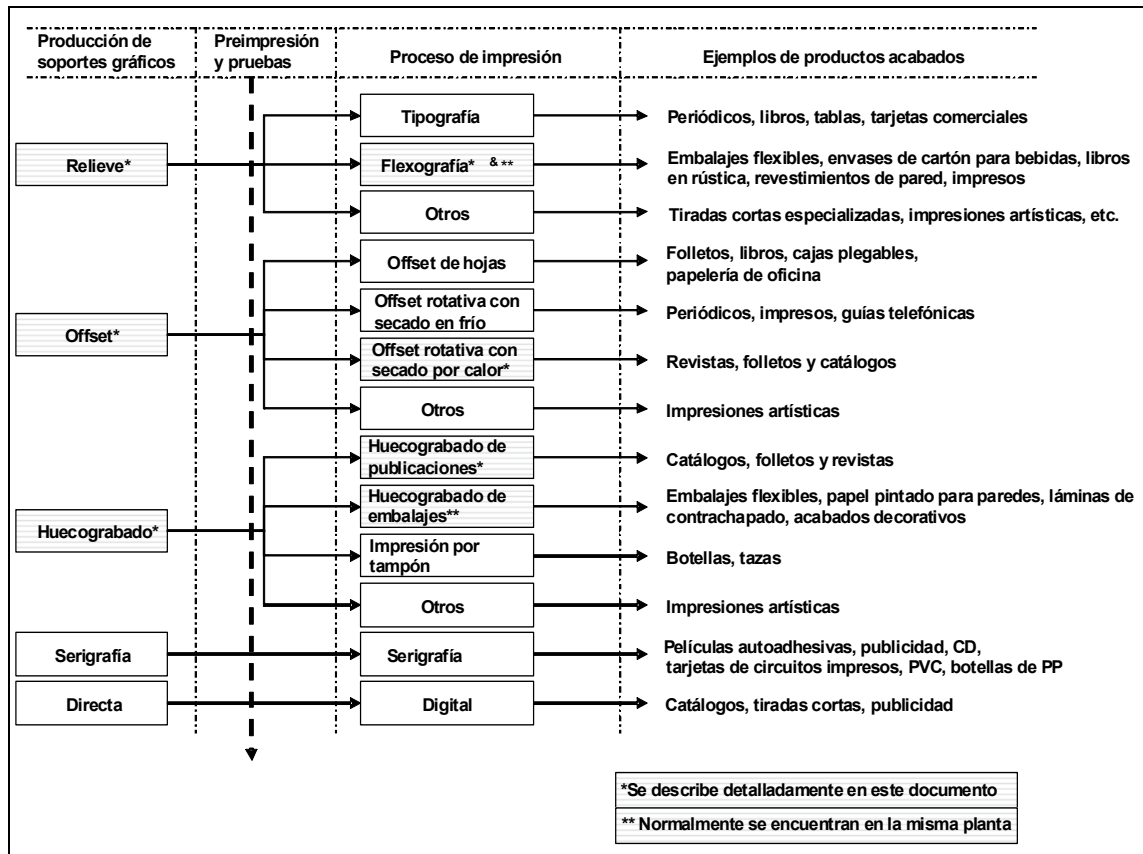


Figura 2.1: descripción general de los principales procesos de impresión

### Impresión en relieve

Utiliza una superficie de impresión en relieve, es decir, que sobresale de la superficie de no impresión. La *tipografía* y la *flexografía* son ejemplos de este proceso. La impresión flexográfica puede desarrollarse en instalaciones lo bastante grandes como para sobrepasar los criterios de la directiva IPPC, anexo 1 (6.7), pero normalmente, a esta escala, suele funcionar junto con los procesos de huecograbado de embalajes, laminado y barnizado.

### Impresión offset

Las áreas de imagen y de no imagen están en el mismo plano de la plancha, la cual puede ser de metal, plástico o papel (una técnica conocida como *litografía*).

Dado que las planchas para offset no suelen durar mucho por la constante abrasión que produce el contacto con el sustrato de impresión en tiradas largas, la imagen se traslada a una mantilla más blanda que transfiere la imagen al sustrato. Este tipo de impresión se conoce con el nombre de *offset* y es el proceso de impresión más utilizado.

El sustrato puede alimentarse a la máquina en bobinas (*prensa rotativa*) o en hojas (*prensa de hojas*). Las expresiones *secado por calor* y *secado en frío* hacen referencia a la técnica utilizada para secar la tinta. La impresión rotativa con secado por calor puede funcionar en instalaciones lo bastante grandes como para sobrepasar los criterios de la directiva IPPC, anexo 1 (6.7).

### Huecograbado

Es la más conocida de las técnicas de impresión por grabado, aunque también existen otras, como la impresión en plancha de cobre y la estampación. En este caso, las áreas de impresión son unos pequeños huecos grabados en un cilindro que está debajo de las áreas de no impresión.

Estos huecos se rellenan de tinta, se elimina el exceso y se presiona el sustrato contra el cilindro de impresión. El huecograbado de publicaciones y de embalajes puede funcionar en instalaciones lo bastante grandes como para sobrepasar los criterios de la directiva IPPC, anexo 1 (6.7).

### **Estarcido**

La *serigrafía* es un ejemplo de estarcido, en el cual las áreas de impresión y de no impresión están sobre una pantalla de tela. Las áreas de no impresión se forman bloqueando determinadas partes de la pantalla, de manera que la tinta pueda pasar por las partes no bloqueadas hacia el sustrato.

### **Digital**

Imprime las imágenes directamente en un sustrato a partir de la información digital sin necesidad de crear una imagen intermedia permanente.

### **Uso comercial de los procesos**

Aunque muchos negocios se encargan de crear la imagen y todos los procesos implicados antes de la impresión propiamente dicha, junto con la encuadernación y el acabado, también existen muchas empresas que se dedican exclusivamente a estas tareas. Al mismo tiempo, también hay miles de empresas, como por ejemplo los bancos, que realizan sus procesos de impresión internamente.

Por otro lado, existen muchas empresas minoristas dedicadas a la impresión (copisterías). Tradicionalmente, estos negocios han utilizado la misma maquinaria que las pequeñas imprentas convencionales, pero ahora se han orientado más hacia las fotocopias y la impresión de inyección de tinta o digital.

## **2.1.2 Los productos**

### **2.1.2.1 Periódicos**

Prácticamente todos los periódicos se imprimen en máquinas offset rotativas con secado en frío. Un periódico típico puede tener una o dos prensas con cuatro unidades en cada una, pero los periódicos especializados de tirada nacional pueden llegar a tener hasta diez prensas. Las máquinas de secado en frío, con bobinas más estrechas, también se utilizan en la producción de folletos publicitarios, libros con encuadernación en rústica y listines telefónicos.

En algunos países todavía se pueden encontrar máquinas tipográficas más antiguas, pero su uso ha ido decreciendo rápidamente en los últimos 20 años. Recientemente, una o dos empresas se han pasado a la flexografía. Cuando las imprentas de periódicos se pasan a la flexografía, siempre utilizan tintas al agua.

### **2.1.2.2 Revistas y catálogos**

Las revistas con una tirada superior a los 10 000 ejemplares se suelen imprimir mediante offset rotativa con secado por calor, y las tiradas más cortas mediante offset de alimentación de hoja. La impresión offset rotativa con secado por calor también se emplea para imprimir folletos de viajes, catálogos de venta por correo y material publicitario que se intercala en periódicos y revistas. También se utiliza para imprimir libros en color.

Las revistas y publicaciones similares con tiradas muy largas se suelen imprimir mediante huecograbado, siempre que se pueda asumir el coste adicional que representa realizar cilindros huecograbados en lugar de planchas offset. Dada la gran inversión necesaria y la gran capacidad de producción, estos procesos suelen estar reservados a grandes empresas.

La técnica del huecograbado es conocida por su capacidad para conseguir unos buenos resultados de impresión sobre papeles de poca calidad. En cambio, la impresión offset rotativa con secado por calor necesita papeles de alta calidad, estucados o no, para conseguir unos resultados semejantes. Algunas empresas disponen tanto de prensas de huecograbado como offset rotativas con secado por calor y las utilizan para imprimir revistas con diferentes tiradas.

### 2.1.2.3 Libros

La mayoría de los libros en color o en blanco y negro de corta tirada suelen imprimirse mediante offset de alimentación de hoja, mientras que los libros a una tinta con tiradas más largas, como los libros con encuadernación en rústica se suelen imprimir en rotativas, normalmente offset con secado en frío, aunque a veces también se hace mediante impresión tipográfica. Normalmente, se imprimen pliegos de 8, 16 o 32 páginas a la vez, que luego se encuadernan para formar el libro.

Cualquier país cuenta con cientos de empresas capaces de imprimir libros de tirada corta mediante offset de alimentación de hoja, ya sea con encuadernación propia o externalizada. Las tiradas largas quedan reservadas a unas pocas empresas especializadas.

Existen muy pocas imprentas con prensas continuas, capaces de imprimir un libro entero de una sola vez en lugar de por partes. En estas prensas se suele utilizar impresión tipográfica con planchas flexibles. La producción de libros y folletos de tirada corta es básicamente una actividad de ámbito local, mientras que las obras de tirada larga se enfrentan a la competencia nacional e internacional.

### 2.1.2.4 Impresión de carácter general

Existe una gran variedad de obras de carácter general o comercial, entre las que se incluye la publicidad, las memorias y estados de cuentas de empresas, las tarjetas de felicitación, calendarios, folletos, prospectos, carteles y similares, que se imprimen mediante offset de alimentación de hoja.

### 2.1.2.5 Impresión de seguridad

La categoría general de la impresión de seguridad incluye una gran cantidad de productos, desde papel moneda, pasaportes, sellos, cheques, billetes y cupones hasta los que se basan en la seguridad de la información, como son las memorias y estados contables, la documentación financiera de la administración pública y los exámenes. Para ello se necesita una gran variedad de procesos, algunos de los cuales son específicos de este tipo de impresión.

### 2.1.2.6 Etiquetas

Existen básicamente dos tipos de etiquetas, las etiquetas húmedas y las autoadhesivas en rollo. Las etiquetas del primer tipo se suelen imprimir mediante offset de alimentación de hoja convencional. Luego se cortan, se encolan y se aplican en latas y botellas. Las etiquetas autoadhesivas se imprimen en una bobina compuesta de varias capas, a saber, una base, el adhesivo y la capa superior, que se imprime y se corta con la forma deseada.

La impresión de etiquetas autoadhesivas en rollo es un proceso muy especializado y, en consecuencia, se utiliza una maquinaria específica. Las prensas pueden ser rotativas tipográficas, flexográficas u offset (de base acuosa o no), y pueden también incorporar serigrafía y estampación. Una prensa específica de este tipo de aplicación puede incorporar varios procesos a la vez.



### 2.1.2.7 Impresos administrativos

La producción de impresos administrativos también es una actividad muy especializada, aunque el mercado se va reduciendo debido a las posibilidades que ofrece la informática. Esta actividad se podría dividir en dos grupos: impresos en papel continuo e impresos en hojas, normalmente de tamaño A4. Estos impresos se pueden preparar en forma de hojas, que luego se alzan para crear la composición y se unen encolando un extremo para formar un bloque de impresos que el usuario puede separar tirando de ellos.

### 2.1.2.8 Embalajes de papel y cartón

Los embalajes de papel y cartón se pueden dividir en tres grupos: los embalajes de papel como, por ejemplo, las bolsas de papel, y las cajas de cartón homogéneo o corrugado. Se trata de un gran mercado, con una envergadura comparable a la de la impresión de periódicos, libros y papel de seguridad.

Las bolsas de papel de bajo precio se suelen imprimir mediante flexografía, utilizando tintas al agua.

Los mercados son diversos: el embalaje de comida, bebida y productos farmacéuticos son los más importantes. En el caso de los embalajes de uso alimentario, la impresión se suele realizar con tintas de secado (curado) por ultravioleta para garantizar que se sequen completamente y no se filtre tinta al alimento.

Las cajas a base de cartón homogéneo se imprimen mediante offset de alimentación de hoja en prensas policromas de grandes dimensiones que consiguen gran calidad y precisión. El cartón corrugado se imprime normalmente mediante flexografía, en hojas sueltas y con tintas al agua [76, TWG, 2004].

Para tiradas mayores, la impresión puede realizarse mediante offset, flexografía o huecograbado en máquinas rotativas. El huecograbado se emplea cuando se necesita un alto nivel de calidad, por ejemplo en las cajetillas de tabaco.

### 2.1.2.9 Embalajes flexibles

Entre los embalajes flexibles podemos encontrar las películas de PVC, policarbonato o polietileno y láminas metálicas. La fabricación de embalajes flexibles suele implicar el laminado de diferentes capas de plástico y aluminio (antes o después de imprimir) [76, TWG, 2004].

### 2.1.2.10 Productos que requieren grandes grosores de tinta

La serigrafía forma una película de tinta más gruesa que es característica de este tipo de impresión y que, por ello, se emplea en muchos productos:

- productos que necesitan ser muy vistosos, como la publicidad en puntos de venta, carteles o pegatinas para vehículos;
- botellas de PVC, policarbonato o polietileno;
- CD y DVD;
- impresiones en papel para termotransferencia en camisetas;
- acabados de pared especializados;
- juegos de azar de tipo *rasca rasca*;
- las bandas magnéticas de los billetes de tren y las tarjetas de crédito;

- la aplicación de pintura resistente al ácido para la elaboración de circuitos impresos (encontrará más información en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006]);
- productos textiles.

Los sustratos en los que se imprime con serigrafía son alrededor de un 40 % de las impresiones en películas autoadhesivas, un 20 % de las impresiones en plásticos (incluidos los plásticos rígidos) y un 20 % de las impresiones en cartón. Esta técnica también se utiliza mucho en la impresión de materiales textiles y metales. Las tiradas suelen ser muy cortas. De hecho, dos terceras partes de los pedidos no superan las 1000 copias.

### **2.1.2.11 Papel pintado, papel decorativo y láminas sobre papel para el sector del mobiliario y el laminado**

Para imprimir acabados para paredes se utilizan varios procesos, en los que el huecograbado (similar al huecograbado de embalajes, ver apartado 2.2.3.6) y la flexografía han sustituido en gran medida a la impresión offset. Muchos productos también se someten a gofrado, y es muy habitual ver combinaciones de estos tres procesos en el mismo rollo de revestimiento de pared.

Muchas imprentas usan el mismo tipo de tintas para imprimir tanto papel vinílico como papel normal mediante huecograbado y flexografía. Recientemente, una o dos empresas han empezado a utilizar tintas al agua para huecograbado, pero son una minoría ya que, para la mayoría de los productos, el proceso tiene que desarrollarse más todavía.

Algunas empresas especializadas utilizan la serigrafía para revestimientos de pared de corta tirada.

### **2.1.2.12 Sobres**

Los sobres pueden imprimirse mediante flexografía en la parte interior y utilizando tintas al agua o de base disolvente para la parte exterior. Las operaciones de impresión, encolado y troquelado pueden realizarse al mismo tiempo directamente desde una bobina. Otra forma de hacerlo es efectuar la preimpresión de los sobres mediante offset y, luego, troquelar las hojas o bobinas impresas. Además de esto, el exterior del sobre ya acabado puede imprimirse mediante offset de hoja utilizando tintas convencionales o de secado por UV [76, TWG, 2004].

## **2.2 Procesos y técnicas que se aplican en la impresión**

En Figura 2.1 se muestran esquemáticamente los procesos de producción utilizados en las artes gráficas. El proceso de impresión se puede dividir en cuatro procesos principales: los sistemas de preimpresión y pruebas, la impresión del soporte gráfico, y el acabado; todos ellos se explican en los siguientes apartados. De estos cuatro procesos, el proceso de impresión es el que tiene un mayor impacto ambiental: los demás son actividades asociadas, de las que se ofrece una explicación general para dar una imagen más clara de las instalaciones de impresión [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005].

### **2.2.1 Sistemas de preimpresión y pruebas**

Entre los procesos de preimpresión se incluye el procesamiento del texto y de las imágenes, que son muy similares para todas las tecnologías de impresión. En la actualidad, esto se realiza con medios electrónicos. Una vez montadas las imágenes y el formato deseado, los datos se pueden transferir de dos maneras:

- exponiendo una película fotográfica. La emulsión fotográfica de la película está compuesta de haluro de plata y gelatina. Luego se expone la película, se fija y se lava en máquinas

automáticas. Este método se emplea cada vez menos y, sobre todo, cuando la película es el producto final de la etapa de preimpresión;

- digitalmente. Éste se está convirtiendo en el método predominante [76, TWG, 2004].

A menudo se realiza una prueba de impresión para verificar el proceso de reproducción. Hoy en día, las pruebas se pueden hacer directamente en la pantalla de un ordenador a partir de los datos que contiene, o también se pueden imprimir en una impresora de inyección o láser [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998].

En el proceso de preimpresión no se utilizan disolventes orgánicos y no suelen haber emisiones a la atmósfera. Los vertidos al agua procedentes del proceso de preimpresión pueden ser compuestos de plata del agua de lavado, el líquido de revelado usado, o el fijador y los compuestos de cromo de los productos químicos de limpieza [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998].

## 2.2.2 Creación del soporte gráfico: plancha, cilindro, plantilla o sistema CTP (directo a plancha)

Los soportes gráficos se utilizan en los procesos de impresión para transferir la tinta directa o indirectamente (los procesos offset transfirieren la tinta indirectamente) al sustrato (papel, cartón, plástico, etc.). Esto se suele hacer copiando la película en un revestimiento fotosensible de las planchas, cilindros o plancha de impresión, respectivamente. Previamente, tienen que montarse las películas de manera que se correspondan con las dimensiones de la forma de impresión y de la hoja o bobina de impresión. La forma de impresión tiene que revelarse, lavarse y, a veces, grabarse mecánica o químicamente para que esté lista para imprimir.

Las nuevas tecnologías permiten crear las formas de impresión directamente con el ordenador, sin necesidad de procesos fotomecánicos, por lo que las películas fotográficas ya no son necesarias. Este proceso se conoce con el nombre de CTP (directo a plancha) [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998].

El desengrasado, el grabado al ácido y la galvanoplastia son técnicas que se emplean en el proceso de grabado de los cilindros y que se explican en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006]. Este BREF también aborda la aplicación y formación de fotopolímeros, que se utilizan en la superficie de los circuitos impresos durante su elaboración.

### *Tipografía y flexografía*

Las planchas de impresión que se utilizan en tipografía están hechas de fotopolímeros que se reticular y se endurecen al exponerse a la luz ultravioleta [76, TWG, 2004]. Aunque algunas planchas tienen que tratarse después con disolventes, la mayoría de los sistemas emplean métodos acuosos y aire a presión [4, Intergraf y EGF, 1999].

En la flexografía, los procesos de creación y formación de la imagen son los mismos que los de la tipografía, con la diferencia de que los fotopolímeros son más blandos. También pueden ser de goma.

### *Litografía, offset*

Las planchas de impresión suelen estar hechas de aluminio recubierto de una película fotosensible, aunque la base puede ser de plástico o de algún papel especial. La imagen se forma por medios fotomecánicos, dejando una superficie de la plancha tratada para que reciba la tinta en las zonas adecuadas (imagen). Las áreas de no impresión se «mojan» con una mezcla de base acuosa o de agua y disolvente denominada solución humectante, que repele la tinta. El offset sin agua emplea unas placas especiales que poseen una superficie que repele la tinta que se elimina de las zonas de impresión por medios fotomecánicos.

### ***Huecograbado***

El cilindro utilizado en el huecograbado consta de una base de acero chapada de cobre (encontrará más información en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006]). La imagen se graba en el cobre, normalmente mediante máquinas electromecánicas o láser. Actualmente, muy pocos cilindros se realizan ya utilizando los métodos tradicionales fotográficos y de grabado al ácido. El cilindro se desengrasa, desoxida y pule. Tras este paso, se aplica una fina capa de cromo mediante un baño electrolítico para proteger la imagen del cobre, menos resistente. El cromo se deposita por electrólisis en un baño que contiene óxido de cromo y ácido sulfúrico (ver BREF STM [59, EIPPCB, 2006]). En este caso, también se pule el cilindro después del cromado [76, TWG, 2004].

La producción del cilindro es un proceso lento y caro si se compara con otros métodos de impresión, y el cilindro pesa mucho y es difícil de manipular. Por lo tanto, la técnica del huecograbado tan sólo se utiliza para tiradas largas, ya que el secado por calor es capaz de conseguir calidades similares. En el huecograbado de embalajes, la alternativa (la flexografía) no es capaz de conseguir una calidad tan alta, y, a menudo, las tiradas se pueden repetir con los mismos cilindros. [128, TWG, 2005]

### ***Serigrafía***

El soporte gráfico es una plantilla colocada sobre una tela tensada por un marco. Este soporte gráfico se llama pantalla de serigrafía.

La producción de las plantillas serigráficas se puede dividir en cuatro categorías principales: plantillas cortadas a mano, plantillas cortadas electrónicamente, plantillas fotomecánicas y el método directo.

En la primera categoría, la plantilla se corta a mano de una máscara de material adhesivo utilizando una herramienta afilada. El segundo método es una evolución del primero y la plantilla se corta mediante técnicas controladas por ordenador. El original obtenido, ya sea manual o informáticamente, se escanea con el cabezal de control de impresión que dirige una cuchilla o aguja para crear una plantilla compleja y precisa a partir del material que actúa como máscara. Aunque este último método irá en aumento con la cada vez mayor automatización que permiten los ordenadores, el método que más se usa actualmente es la plantilla fotomecánica.

Para realizar una plantilla fotomecánica, se expone un material fotosensible a una imagen positiva opaca, lo cual provoca el endurecimiento de las zonas de no impresión en las que incide la luz, haciéndolas insolubles. Las áreas de la imagen que no han quedado expuestas se disuelven y dan como resultado una plantilla con la imagen que se quiere imprimir.

En el método directo, la pantalla serigráfica se cubre con una emulsión fotosensible y se proyecta la imagen directamente en la plantilla fotomecánica desde una fuente de luz ultravioleta. Tras la exposición, se lava la imagen de la misma manera que en los otros métodos. Esto elimina la necesidad de crear un positivo opaco [76, TWG, 2004].

## **2.2.3 Impresión**

Una vez montado el soporte gráfico en la prensa, ya puede iniciarse la impresión.

### **2.2.3.1 Tipografía y offset seco**

[4, Intergraf y EGF, 1999] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998]

La tipografía y el offset seco, al igual que la flexografía, son métodos de impresión en relieve, en el que la imagen está elevada respecto de las zonas de no impresión. La tipografía fue la técnica de impresión más extendida hasta principios de los años 70, cuando la litografía offset y otros procesos la sustituyeron por varios motivos, como son su mayor velocidad, mejor calidad

y menor coste por unidad. En la actualidad, los bloques de madera y las letras de metal se han sustituido por una plancha de plástico en relieve, que se obtiene exponiendo a la luz una película negativa. La luz endurece la plancha en las áreas que corresponden a la imagen y las zonas que no se han endurecido se eliminan. La tipografía plana sólo se puede utilizar en trabajos de tipo general y tiradas cortas.

El offset seco es una técnica de impresión flexográfica indirecta. La imagen se transfiere a una matilla de goma (igual que en offset) y, a continuación, al objeto que se quiere imprimir. Este método se utiliza para imprimir latas de bebidas, a menudo con tintas de base disolvente (ver capítulo 15) [76, TWG, 2004].

La limpieza se suele hacer manualmente con los mismos materiales de limpieza que se emplean en offset.

### **2.2.3.2 Flexografía**

[4, Intergraf y EGF, 1999] [128, TWG, 2005]

La impresión flexográfica emplea la técnica de la impresión rotativa directa, utilizando unas planchas en relieve flexibles, por ejemplo de goma o, como viene siendo más habitual hoy en día, fotopolímeros y tintas de secado rápido de base disolvente o agua.

En la flexografía, el material se alimenta prácticamente siempre en forma de rollos o bobinas. Es una técnica de imprimir bastante simple, normalmente con un sistema de entintado muy sencillo que utiliza un rodillo dosificador principal con una superficie rugosa.

Actualmente, se imprime una amplia variedad de productos con prensas flexográficas especialmente diseñadas. Es particularmente adecuada para impresión de tiradas largas en rotativas y se puede adaptar muy fácilmente a una gran diversidad de sustratos, desde papeles delgados a cartones corrugados de alto gramaje, y desde el celofán a gruesas láminas flexibles de papel, vinilo o metal. Las principales aplicaciones de este proceso son los embalajes flexibles, envases de cartón para líquidos, algunos periódicos, libros de encuadernación rústica, etiquetas, bolsas de papel o de plástico, cajas/embalajes y revestimientos de pared.

Las plantas que fabrican e imprimen cartón corrugado utilizan prensas planas de hojas. El cartón corrugado se corta en hojas rígidas que atraviesan toda la prensa horizontalmente. Las prensas pueden ser de impresión inferior o superior, es decir, que imprimen la parte de abajo o de arriba del sustrato.

#### **Unidad de entintado**

Con una misma prensa se pueden imprimir muchos tipos diferentes de productos y sustratos, por lo que es necesario cambiar las tintas con frecuencia. Con los años, las tintas para embalajes de uso alimentario han pasado de estar de base disolvente aromáticos a alifáticos, es decir, del tolueno y el xileno al etanol y el acetato de etilo. Estas tintas se secan por evaporación; sin embargo, también se usan tintas con curado por UV [76, TWG, 2004].

La tinta tiene una baja viscosidad, es fluida y normalmente se encuentra en un depósito de donde la recoge un rodillo fuente de goma. A continuación, el rodillo fuente deposita la tinta en el rodillo regulador. La tinta sobrante se retira del rodillo regulador por medio de una rasqueta antes de transferirla a la plancha de impresión.

Un sistema más moderno es el de rasqueta con sujeción, en que el depósito de tinta está conectado con un cabezal de tinta que aplica la tinta directamente en el rodillo regulador de tinta. Dado que la tinta la hacen circular unas bombas que hay en la estructura en forma de caja, la transferencia de la tinta al rodillo regulador es independiente de la velocidad de la prensa. Dos rasquetas, conectadas al cabezal de tinta, se adaptan de manera ajustada al rodillo regulador.

### Rodillo regulador

En una prensa flexográfica, la tinta se transfiere desde la fuente de tinta a un rodillo regulador. El rodillo regulador de tinta es de material cerámico y está cubierto por unas celdas en las que se mide la cantidad de tinta que se aplica a la plancha de impresión. La cantidad depende de la profundidad y estructura de las celdas, su distribución y el regulador de retícula. Las celdas se pueden grabar mecánicamente o por láser y, si es necesario, se pueden volver a grabar.

### Cilindro portaplanchas

El cilindro portaplanchas suele ser un cilindro sobre el que van montadas las planchas de impresión con un adhesivo de doble cara. Las planchas de impresión flexográficas se suelen hacer de goma o polímeros sensibles a la luz ultravioleta, que son elásticos y flexibles, de ahí el nombre de la técnica.

### Cilindro de impresión

Las máquinas de impresión flexográfica se pueden diseñar como una serie de unidades o bien con una forma compacta. En estas series, cada unidad de impresión dispone de su propio cilindro de impresión y están alineadas en unos soportes una detrás de otra. En la versión compacta, en cada lado puede haber varias unidades de impresión (hasta un máximo de ocho) o, en el caso de las prensas pequeñas, pueden estar colgadas de un lado (tipo voladizo) de un cilindro de impresión central. Este tipo de prensas también se denominan prensas satélite [76, TWG, 2004]. Figura 2.2 muestra una prensa flexográfica de ocho tintas con un cilindro de impresión central (prensa satélite).

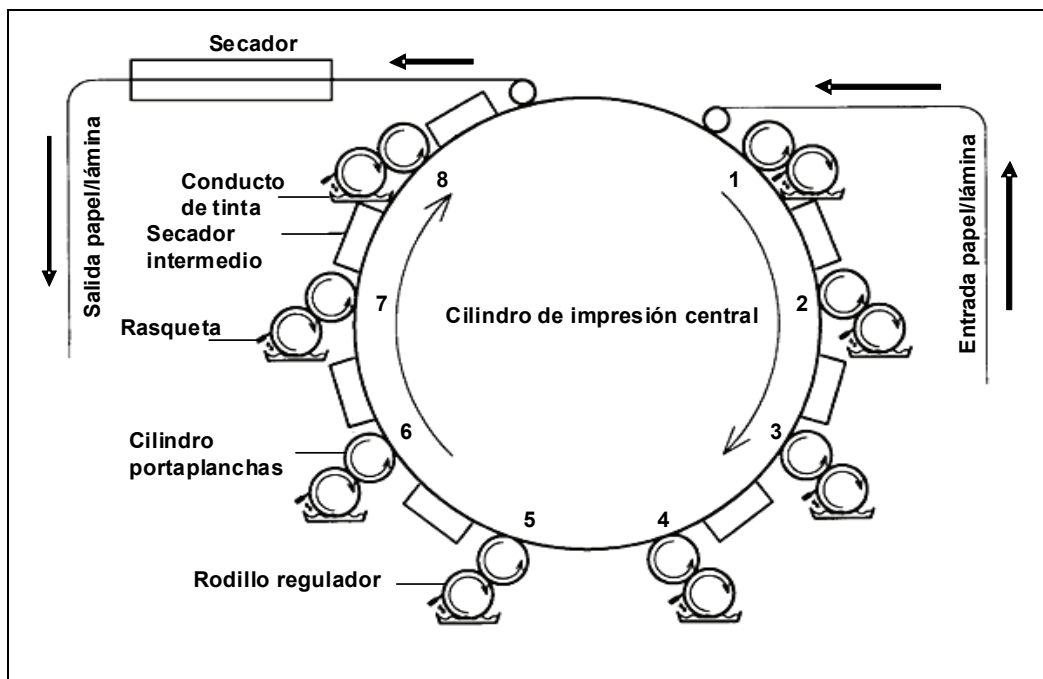


Figura 2.2: Prensa flexográfica de ocho tintas con un cilindro de impresión central (prensa satélite) [35, Aminal, et al., 2002]

### Limpieza

Las planchas de impresión y los diferentes componentes de las máquinas se limpian con disolventes similares a los que se emplean para las tintas y los barnices. En el caso de restos de suciedad más persistentes, puede emplearse la limpieza por ultrasonidos o con polvos a alta presión.



### 2.2.3.3 Offset: general

[4, Intergraf y EGF, 1999] [128, TWG, 2005]

La impresión offset es una técnica planográfica, es decir, que las zonas de impresión y de no impresión están en el mismo plano que el soporte gráfico. Las zonas de no impresión se mantienen libres de tinta porque la repelen, mientras que las zonas de impresión son afines a la tinta. Esto es posible porque la tinta para offset es a base de aceites y las zonas de no impresión se mantienen limpias con agua o soluciones acuosas, ya que el agua repele el aceite. Los aditivos del agua suelen ser el alcohol isopropílico (IPA) o aditivos/sustitutos de este alcohol, etc. Sin embargo, la impresión sin agua también es factible. En este caso, las zonas de no impresión se mantienen libres de tinta mediante un revestimiento repelente [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [11, IMPEL, 2000, 76, TWG, 2004].

La offset es la técnica de impresión más difundida en la actualidad debido a su versatilidad, velocidad, calidad y rentabilidad, logradas gracias a la mejora de las planchas y a su mayor duración gracias al proceso offset, mejores materiales que permiten conseguir una mayor calidad y su facilidad de uso con la fotocomposición.

Las máquinas offset pueden tener tamaños muy diversos, desde las prensas planas de tamaño A3 hasta las de 1200 x 1600 mm o más, capaces de trabajar con muchas tintas a la vez, o las prensas rotativas capaces de imprimir papeles de dos metros de ancho a velocidades muy elevadas. La versatilidad de este proceso permite producir una amplísima variedad de productos impresos [76, TWG, 2004].

Las prensas rotativas modernas disponen de ocho unidades que no sólo permiten imprimir ocho tintas en un lado del sustrato, sino también imprimir cuatro tintas en cada lado de una misma tirada. Las prensas que se fabrican en la actualidad tienen que cubrir también la creciente demanda de automatización, por lo que vienen equipadas con sistemas de limpieza automáticos para las planchas, las mantillas y los cilindros de impresión, sistemas automáticos para cambiar las planchas, etc. [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [76, TWG, 2004].

Dependiendo del tipo de proceso de impresión, el sustrato y los productos impresos, la técnica offset se puede dividir en subtécnicas [11, IMPEL, 2000] [76, TWG, 2004]:

- offset de hojas,
- offset rotativa con secado por calor,
- offset con secado en frío.

Las tintas para offset de hojas y de secado en frío se secan al adsorberlas el papel o por oxidación. En el caso particular del papel satinado, la adsorción se produce demasiado despacio para la velocidad que alcanzan las prensas modernas. Las prensas offset rotativas modernas, en las que se imprimen papeles no adsorbentes, debido a su velocidad se equipan con sistemas de secado por aire forzado. Estos procesos de impresión offset se denominan de «secado por calor».

#### La unidad de humectación

[4, Intergraf y EGF, 1999] [128, TWG, 2005]

La tarea de la unidad de humectación en una máquina offset consiste en cubrir la superficie de la plancha de impresión con una película uniforme de humedad durante la impresión, de forma que, cuando se procede al entintado, la tinta sólo se adhiera a las zonas de impresión.

Las unidades de humectación por película son las más utilizadas. Estas unidades aplican una fina película de solución humectante a la plancha mediante una serie de rodillos que distribuyen el líquido de forma controlada y homogénea.

Estas unidades de humectación funcionan con agua o, en muchos casos, con una solución de agua e isopropanol, (o en algunos casos, etanol. Cabe mencionar que el etanol posee un OFP más elevado; ver apartado 20.10.2) y aprovechan las ventajas tecnológicas del IPA (en lo que respecta a la impresión). Las soluciones humectantes ácidas a base de IPA (con un pH normalmente entre 4 y 5,5) potencian la acción desensibilizante en las zonas de no impresión y mantienen sus propiedades hidrófilas. Otros aditivos utilizados habitualmente son los siguientes: goma arábiga, anticorrosivos, agentes humectantes, aceleradores del secado, fungicidas, antiespumantes, etc. [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998].

El IPA posee una tensión superficial más pequeña que el agua y, por tanto, es capaz de mojar la plancha de una manera más eficiente. Este proceso es complejo, pero se ha comprobado empíricamente que, en general, permite depositar una película de solución humectante más delgada encima de la plancha, lo cual permite a su vez un mayor control, sobre todo en trabajos que requieren mucha calidad. Con ello se reduce el tiempo de montaje y, en consecuencia, se desperdicia menos papel. La impresión alcanza una mayor resolución y, al haber menos agua en la plancha, se producen menos problemas por culpa de la dilatación del papel.

La difusión del uso del IPA varía de un país a otro, según la marca y el modelo de las prensas, el tipo de papel y la dificultad del trabajo a realizar. Dado que el IPA se evapora más rápidamente que el agua, las unidades de circulación de la solución humectante y la dosificación del IPA o el etanol se equipan, en muchas ocasiones, con una unidad de refrigeración para disminuir la evaporación. La solución humectante se bombea constantemente hacia la prensa, y el sobrante se devuelve al depósito a través de un rebosadero. La concentración de IPA en el depósito se mide también constantemente. Cuando la concentración baja, se añade IPA automáticamente.

### **La unidad de entintado**

[4, Intergraf y EGF, 1999]

La unidad de entintado que se utiliza en las prensas offset varía en función del tamaño de la prensa y del trabajo que se quiere realizar. Las prensas grandes y las que están diseñadas para impresiones de calidad suelen tener muchos rodillos en el tren de entintado para asegurar que la tinta quede distribuida uniformemente (más de 20 rodillos es habitual). Tres o más de ellos son los que aplican la tinta en la plancha. La tinta se puede aplicar en cualquier punto a lo ancho de toda la plancha y la cantidad se puede regular girando los tornillos de entintado manualmente o, como es más habitual en la actualidad, por ordenador.

Los rodillos están hechos o cubiertos de diferentes materiales, como el acero, goma sintética o poliuretano. De vez en cuando hay que limpiar la tinta.

El secado se puede acelerar con radiación infrarroja o, como alternativa, se pueden utilizar tintas especiales que se secan con radiación ultravioleta [4, Intergraf y EGF, 1999].

### **Limpieza**

Según la imagen que se quiera imprimir, el sustrato y la tinta utilizados, en la mantilla de goma se pueden acumular residuos del papel, como polvo y pelusas, y componentes de las tintas. Esto hace disminuir la calidad de la impresión, por lo que hay que limpiar la superficie de la mantilla. En las máquinas de tamaño mediano o pequeño, la limpieza se realiza manualmente y predominantemente con trapos y agentes limpiadores. En el caso de las máquinas planas alimentadas por hojas, cada vez es más frecuente utilizar unidades automáticas para limpiar la mantilla (con programas de limpieza).

Como es lógico, entre un trabajo y el siguiente hay que quitar la imagen de la mantilla. Tanto si la mantilla se limpia manualmente como si se limpia automáticamente, se utilizan mayoritariamente hidrocarburos y agua (para eliminar los restos sólidos de papel que queden en la mantilla de goma). Los agentes limpiadores son, sobre todo, hidrocarburos nafténicos y alifáticos. Cada vez se usan más los hidrocarburos con un punto de ebullición elevado, con un

punto de inflamación > 100 °C, y ésteres de aceites vegetales solos o mezclados con hidrocarburos.

Cuando termina la tirada (o el turno) y se tienen que utilizar otras tintas para el siguiente trabajo, es necesario limpiar las unidades de entintado (rodillos entintadores, conductos de tinta) y las unidades de impresión (cilindros de impresión, etc.). En el caso de las tintas de secado oxidativo, este trabajo de limpieza puede ser también necesario al final de cada turno. Para limpiar los rodillos entintadores, se rocían agentes limpiadores y luego se limpian los residuos. En la actualidad, cada vez es más habitual que las máquinas planas modernas alimentadas por hojas estén equipadas con unidades de limpieza automáticas. La limpieza de los conductos de tinta se realiza a mano o en unidades de limpieza especiales, normalmente con los mismos materiales que se utilizan para limpiar la mantilla [76, TWG, 2004].

### 2.2.3.4 Offset de hojas

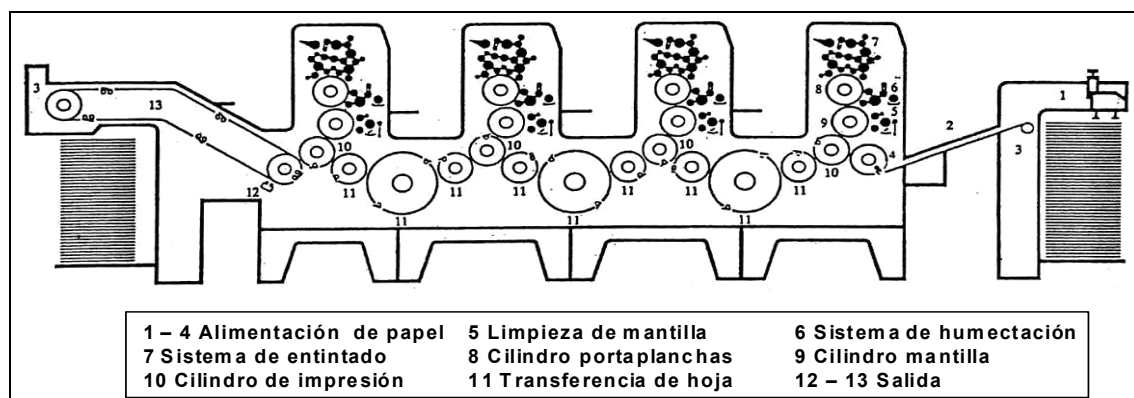
[128, TWG, 2005]

La técnica del offset de hojas se suele utilizar para imprimir tiradas de hasta 20 000 copias, con un promedio aproximado de 7000. La capacidad de impresión de una prensa de hojas moderna puede superar las 15 000 copias por hora. El offset de hojas se utiliza principalmente para imprimir sobre papel, que puede ser de cualquier tipo. También se imprime cartón de una o varias capas para cajas plegables, o incluso cartón plastificado, láminas gruesas de plástico y hojalata para cajas metálicas en prensas offset especiales [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998].

La unidad de impresión de una prensa offset de hojas consta de las siguientes partes principales:

- unidad de humectación,
- unidad de entintado,
- unidad de planchas,
- mantilla,
- unidad de impresión.

El sistema más común en las máquinas de hojas es la unidad de impresión de tres cilindros, tal y como se muestra en Figura 2.3.



**Figura 2.3:** Esquema de una prensa offset de alimentación de hoja A4 color con cuatro unidades de impresión de tres cilindros

[21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [4, Intergraf y EGF, 1999]

Las tintas utilizadas para los trabajos con hojas son siempre pastas oleaginosas espesas que se secan por adsorción en el propio papel y, a veces, por oxidación y, por tanto, no producen emisiones. Los componentes básicos de las tintas para offset son pigmentos, aglomerantes, disolventes y aditivos. Además, se añaden algunas sustancias a las tintas para ajustar sus propiedades [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998]. El ligante es el principal constituyente

de la tinta para offset y sirve para transferir el pigmento al sistema de rodillos de la unidad de entintado y al sustrato en forma de una fina capa de partículas [76, TWG, 2004].

Las soluciones humectantes que se utilizan en las técnicas de offset de alimentación de hoja son similares a las de la offset con secado por calor.

El offset de alimentación de hoja sin agua, como su nombre indica, funciona sin agua. No se humedece la plancha y la expulsión de la tinta de las zonas de no impresión se consigue mediante un revestimiento de silicona, que se elimina de las zonas de impresión. En estos casos, la unidad de humectación no se utiliza o se desmonta de la prensa. En la actualidad se comercializan prensas sin unidad de humectación [76, TWG, 2004].

### **2.2.3.5 Prensas rotativas (offset con secado por calor o en frío)**

Las prensas rotativas, que imprimen en una bobina de papel, se pueden dividir en dos grupos, de secado por calor y de secado en frío, según el método de secado de la tinta. Las prensas de secado por calor pueden imprimir en papeles estucados o no estucados, satinados o no satinados para producir revistas, folletos publicitarios y catálogos de gran tirada, y los secadores generan emisiones de disolventes. Las prensas de secado en frío se utilizan principalmente para imprimir periódicos e impresos administrativos en papeles absorbentes no estucados. En este caso, las tintas no generan emisiones de disolventes. El offset con secado por calor se explica más detalladamente en el presente documento, pero no el offset de secado en frío [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

#### **Unidad de humectación**

Se describe más arriba, en el apartado 2.2.3.3

#### **Unidades de entintado y de secado**

Las tintas empleadas en la impresión rotativa con secado por calor se secan, tal y como su nombre indica, utilizando unos hornos que evaporan el disolvente de la tinta, lo cual genera emisiones a la atmósfera. En estos hornos, una corriente de aire caliente de 180-300 °C evapora el 80-90 % de los disolventes, que tienen un intervalo de ebullición de 240 a 310 °C y fija la película sobre la tinta. Los rodillos de enfriado refrigerados por agua enfrían la bobina tras salir del horno.

#### **Limpieza**

Casi todas las máquinas offset rotativas con secado por calor ya incorporan de serie unidades automáticas para limpiar la mantilla. En la actualidad, cada vez es más frecuente que las prensas rotativas modernas estén equipadas con unidades automáticas para limpiar la tinta.

### **2.2.3.6 Huecograbado**

[4, Intergraf y EGF, 1999] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [11, IMPEL, 2000] [128, TWG, 2005]

En el huecograbado, la imagen está formada por unas pequeñas hendiduras practicadas en la superficie lisa de un cilindro. Éste consta de una base de acero chapada de cobre y cubierta con una fina capa de cromo duro. Suele ser una técnica más especializada que la impresión en relieve o la litografía, y se usa principalmente para tiradas largas ya que los costes de elaboración del cilindro son relativamente altos. En esta técnica, se cubre el cilindro con tinta y luego se elimina de la superficie toda la que sobra, de manera que sólo queda tinta en las hendiduras, es decir en las zonas de impresión.

El huecograbado se utiliza sobre todo para imprimir dos productos gráficos principales: publicaciones y embalajes flexibles (ver Tabla 2.4). Otras aplicaciones menos importantes son las etiquetas, papel para envolver regalos, embalajes de cartón, papel moneda y sellos de correo.

Fuera de la industria gráfica, este método se emplea para imprimir papel pintado, imitaciones de madera (chapado) y baldosas de imitación para suelos y paredes.

	Huecograbado de publicaciones	Huecograbado de embalajes
<b>Anchura de la bobina</b>	900-4320 mm	800-1400 mm
<b>Unidades de impresión</b>	8 en la mayoría de los casos; 9 o 10 en algunos casos	Generalmente, entre 6 y 10, a menudo 8 unidades de color + una unidad de lacado
<b>Velocidad de producción</b>	15 m/s = 900 m/min	Generalmente unos 250-300 m/min, aunque depende del diámetro de los cilindros
<b>Construcción</b>	Normalmente 4 unidades por cara de papel	Unidades en línea; cada una imprime un color en la misma cara del sustrato
<b>Colores</b>	Cuatro tintas en 8 unidades; también es posible tener cinco tintas en el caso de 9 o 10 unidades	Todos los colores, a menudo también una base de blanco
<b>Sustratos</b>	Papel	Papel, muchos tipos diferentes de películas de plástico, papel y plástico metalizado, y lámina de aluminio; a menudo, sustratos de varios materiales y varias capas
<b>Disolventes utilizados</b>	Tolueno > 99,9 % de pureza	Acetato de etilo, etanol, metiletilcetona y otros. Normalmente en mezclas en el norte de Europa y puro en Italia
<b>Técnica de reducción de las emisiones</b>	Planta de recuperación de disolventes	Normalmente incineración; recuperación de disolventes principalmente en Italia y esporádicamente en otros países

**Tabla 2.4:** diferencias entre las prensas de huecograbado de publicaciones y de huecograbado de embalajes

El huecograbado de publicaciones es conocido por su capacidad para realizar impresiones en color de gran calidad en papeles de baja calidad. La anchura de las bobinas puede ir de 900 a 4320 mm, normalmente con ocho unidades que imprimen cuatro colores por cada cara [37, CITEPA, 2003]. El papel que pasa por la prensa puede alcanzar velocidades de hasta 15 metros por segundo.

La mayoría de las prensas de huecograbado de embalajes tienen una anchura de bobina de aproximadamente un metro, o a veces un poco mayor. Estas prensas son capaces de imprimir ocho o incluso diez tintas en una cara. Cada unidad de impresión de la prensa imprime una tinta [37, CITEPA, 2003].

Actualmente, el huecograbado se utiliza casi exclusivamente en prensas rotativas, aunque también hay prensas de hojas capaces de producir hasta 10 000 hojas por hora. Disponen de unos secadores de aire caliente y están destinadas a los mercados especializados de efectos decorativos de alta calidad que utilizan tintas metálicas sobre láminas y papeles metalizados. Sin embargo, casi no se usan en la actualidad, seguramente por los elevados costes del cilindro, que hacen más económicas las tiradas largas (en bobina) [4, Intergraf y EGF, 1999].

Otros procesos similares son la impresión en plancha de cobre y la estampación. Ambas técnicas se basan en llenar de tinta las zonas de impresión que están hendidas, pero en estos casos, la tinta es espesa y se seca por oxidación y adsorción en lugar de por la evaporación del disolvente. La impresión en plancha de cobre se utiliza para imprimir papel moneda y otros documentos de seguridad, mientras que la estampación se emplea para encabezamientos de cartas.

### Unidad de entintado

[21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [37, CITEPA, 2003]

La gran velocidad que alcanzan las prensas de huecograbado requiere el uso de tintas de secado rápido, que se secan en secadores entre color y color. Por lo tanto, en el huecograbado, las tintas son de baja viscosidad y casi todas son de base disolvente. Las tintas para impresión de publicaciones contienen un 50 % de tolueno al salir de fábrica. En la planta de impresión, se diluye para obtener la concentración de tolueno adecuada: cuando está lista para usar, la tinta contiene entre un 70 y un 80 % de tolueno. En las tintas para impresión de embalajes, se utiliza casi exclusivamente etanol y acetato de etilo. Los disolventes se evaporan por calor y aire en zonas de secado, ver Figura 2.4 donde se muestra que cada unidad de impresión está equipada con un secador en la parte superior [76, TWG, 2004].

En Europa, todas las instalaciones de huecograbado de publicaciones están equipadas con filtros de carbón activo para recuperar el tolueno que se evapora [37, CITEPA, 2003]. Las prensas normalmente están encapsuladas. El tolueno recuperado se reutiliza en la misma planta para diluir la tinta o se vende al proveedor de las tintas. Los vapores de los disolventes de las tintas en el huecograbado de embalajes normalmente se incineran, aunque en Italia a menudo se recuperan.

Las tintas al agua para huecograbado no han dado muy buenos resultados y, de momento, sólo se utilizan esporádicamente en la impresión de embalajes. En Estados Unidos, las tintas al agua para huecograbado ya no se usan [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [76, TWG, 2004].

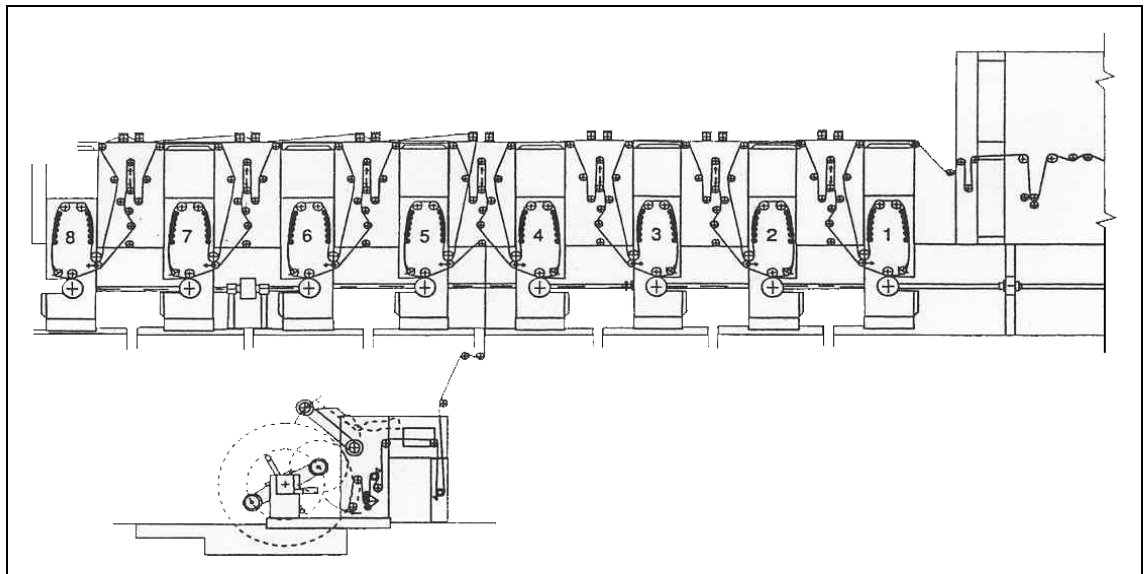


Figura 2.4: prensa de 4 + 4 tintas para huecograbado de publicaciones

### Limpieza

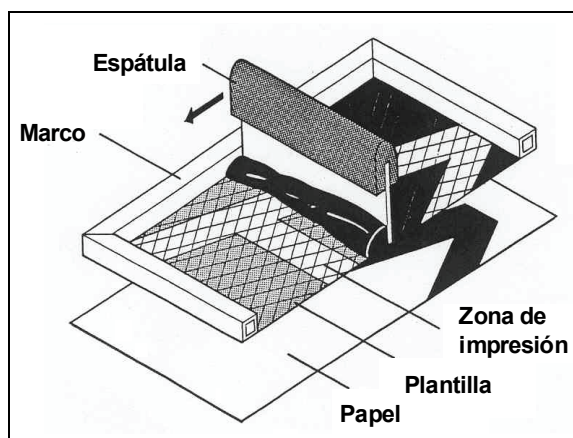
Los cilindros se limpian automáticamente o manualmente con el mismo disolvente de las tintas. Si el trabajo se va a repetir, se pueden guardar los cilindros o, si no, se preparan para el próximo trabajo cambiando la capa de cobre/cromo grabado por otra diferente [76, TWG, 2004].



### 2.2.3.7 Serigrafía

[4, Intergraf y EGF, 1999] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [128, TWG, 2005]

La serigrafía es una forma de estarcido en que la tinta se hace pasar por los elementos vacíos de la plantilla hasta el sustrato que se quiere imprimir; ver Figura 2.5.



**Figura 2.5: el principio del estarcido**

Esta técnica es muy versátil, ya que se puede utilizar para imprimir prácticamente cualquier tipo de superficie o material de cualquier tamaño, forma o grosor, incluyendo no sólo los materiales de impresión habituales, sino también otros como metales, madera, plástico, vidrio, corcho y telas.

El material que se quiere imprimir se coloca debajo de la plantilla en contacto directo, el marco se carga con tinta y la tinta se hace pasar a presión por las partes vacías de la plantilla. El material impreso se apila por separado para facilitar que el aire seque la tinta o se hace pasar por un secador de aire caliente cuando se necesita una mayor productividad. Otra manera de secar el sustrato es mediante la exposición a la luz ultravioleta.

Esta técnica es capaz de producir colores sólidos muy luminosos, o colores más claros sobre un sustrato oscuro. Las tintas pueden formularse de manera que sean opacas para ocultar cualquier materia que haya debajo, o transparentes para aprovechar las combinaciones de colores que ofrece la autotipia. La serigrafía es capaz de dispensar una película de tinta más gruesa que cualquier otra técnica de impresión.

Esta técnica ha resultado siempre interesante para tiradas cortas por los bajos costes de preparación, pero debido al aumento de la automatización y a las mejoras de la técnica, se ha convertido actualmente en una importante técnica de impresión capaz de conseguir una altísima calidad de impresión con una amplia variedad de productos, desde técnicas de una o varias tintas especiales a técnicas de cuatricromía.

La mayoría de la serigrafía se realiza en prensas de hojas. La serigrafía en rotativas se usa para productos como el papel pintado para paredes.

#### **Unidad de impresión y de entintado**

Para poder elaborar la gran variedad de productos que se comercializan, se emplean muchos tipos de tintas. Las tintas con disolventes se secan por evaporación. Los disolventes utilizados se determinan en función del ligante, el sustrato y el método de secado. Los disolventes habituales son los hidrocarburos aromáticos y alifáticos, los éteres y ésteres glicólicos, los alcoholes y las cetonas. La cantidad normal de disolventes orgánicos es del 50 % en la técnica de impresión de color en línea y del 70 % en las tintas de cuatricromía [76, TWG, 2004].

También se usan tintas UV y tintas al agua. Las tintas al agua contienen disolventes orgánicos en concentraciones que van del 5 %, cuando se aplican sobre papel, al 20 %, cuando se aplican sobre plástico.

Aparte de los pigmentos orgánicos normales, todavía se usan algunos pigmentos inorgánicos pesados. Se usan también algunas tintas amarillas, por ejemplo para imprimir en PVC, que pueden contener hasta un 25 % de cromato de plomo. Algunos rojos y verdes llevan plomo. La directiva 76/769/CEE prohíbe su uso y su comercialización, así como el de otros pigmentos en la UE (ver apartado 1.2.3) salvo para aplicaciones concretas, como la señalización vial.

### **Limpieza**

Se emplean dos procesos de limpieza distintos: el destintado para reutilizar una pantalla serigráfica con la misma imagen y la limpieza de la plantilla (decapado) para la recuperación de las pantallas y su reutilización con una nueva imagen.

#### **2.2.3.8 Impresión digital**

[4, Intergraf y EGF, 1999, 21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [128, TWG, 2005]

La impresión digital consiste en imprimir directamente en el sustrato a partir de información digital sin utilizar ninguna película ni crear un soporte gráfico aparte. Una característica exclusiva de esta técnica es que resulta barato cambiar la imagen entera o una parte de la misma en cada copia, de forma que es fácil personalizar el mensaje y la impresión. Estas características ofrecen una considerable flexibilidad en tiradas cortas (de 10 a 200 copias) y realizar los cambios rápidamente, inicialmente para impresión en blanco y negro pero actualmente también para trabajos en color. Sin embargo, también se utiliza para imprimir productos de gran tirada, como catálogos de piezas de recambio, en los que es necesario actualizar los datos con frecuencia [76, TWG, 2004].

Las «tintas» utilizadas en estas máquinas son tóner, que puede ser líquido o seco. El tóner líquido consta de dos elementos, el propio tóner en forma de partículas pigmentadas, y el portador, que es un disolvente volátil como el acetato de etilo, la metiletilcetona o lactatos de etilo o butilo, en los que las partículas están suspendidas para manipularlas mejor. Se aplica el tóner a la plancha y el portador líquido se queda en el sistema. Cualquier resto de portador que quede en el tóner se elimina por ebullición en la unidad de fusión de la máquina. Las prensas más modernas disponen de un sistema de recuperación de disolvente, que permite reciclarlo.

El tóner seco consta de una base de resina, pigmento, modificador de carga, colorante y otros elementos esenciales. Entre las resinas más comunes se encuentran los acrilatos de estireno y los poliésteres, o mezclas de ellos. La resina es la parte fundible del tóner y es el ligante que proporciona volumen a las partículas. El pigmento puede ser negro de carbón en el tóner negro y, en el tóner de color, suele ser un colorante. El residuo del tóner seco es básicamente polvo plástico. Tanto el residuo del tóner líquido como el del tóner seco puede contener polvo de papel, cargas de arcilla, o agua y polvo del fotoconductor.

En el ámbito comercial, las máquinas digitales de inyección de tinta tienen anchuras de 1 a 10 metros y son capaces de producir impresiones de alta calidad en cuatricromía para tiradas de 1 a 300 copias. La longitud de impresión puede variar de 1 a 30 metros. Las impresoras de inyección de tinta también se emplean para hacer maquetas antes de realizar una tirada larga en otros sistemas de impresión. Son capaces de imprimir sobre papel, cartón, plástico, tela y metal (e incluso vehículos enteros, como autobuses, con fines publicitarios). Normalmente, las tintas son de base disolvente, algunos de ellos volátiles como la metiletilcetona y el lactato de etilo o butilo. Más recientemente han aparecido también tintas digitales con curado por ultravioleta [76, TWG, 2004].

Existe un método de impresión intermedio, en el que se expone la imagen digital sobre una plancha de impresión que ya está colocada en la prensa (o, en el caso de la policromía, varias

planchas alineadas). Esta técnica aúna la flexibilidad a la hora de utilizar imágenes diferentes y la creación de una plancha, por lo cual resulta interesante para tiradas de volumen medio (no es tan barata como las prensas digitales pero sí más que las prensas convencionales). Estas prensas emplean las mismas tintas convencionales que las prensas litográficas de hojas.

### 2.2.3.9 Laminado y barnizado en embalajes flexibles

Los materiales de embalaje flexibles suelen tener varias capas superpuestas por laminación y con un revestimiento protector llamado barniz. Los procesos son técnicamente similares a los empleados en el huecograbado de embalajes. No se imprime una imagen, sino que se cubre el 100 % del sustrato. Se emplean adhesivos y resinas de base disolvente, al agua y químicamente reactivos (2 componentes).

### 2.2.4 Acabado

[4, Intergraf y EGF, 1999] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998]

(Sobre los embalajes flexibles, ver apartado 2.2.3.9 sobre laminado y barnizado). Los servicios de acabado gráfico los prestan las propias imprentas, pero también algunos talleres especializados independientes que se dedican exclusivamente a esta actividad.

Los principales servicios de acabado gráfico incluyen el procesamiento de:

- libros, incluyendo el plegado, montaje, cosido, encuadernación y corte;
- revistas, folletos, catálogos y productos publicitarios impresos (trípticos, muestrarios, etc.), incluyendo el plegado, alzado, encolado y encuadernación sin cosido;
- otros impresos en papel o cartón (como formularios, etiquetas, embalajes y calendarios), incluyendo el plegado, troquelado, gofrado, encolado y laminado.

Cada uno de estos pasos implica el guillotinado y el alzado. En estos procesos mecánicos, al igual que el en plegado, la encuadernación y el troquelado, no se emplean disolventes y, por lo tanto, no requieren de mayor explicación en el presente documento. Sin embargo, en procesos como el encolado y el laminado, a veces se usan productos de base disolvente, por lo que sí que se describen con más detalle.

#### Laminado

Tradicionalmente, la mayoría del laminado se hacía con sistemas de base disolvente, en los que la película recubierta de adhesivo se hacía pasar por un horno para extraer los disolventes antes de prensarse sobre el sustrato. En la actualidad, se utilizan adhesivos de dos componentes, a menudo de tipo epóxico, con disolventes como el etanol y el acetato de etilo, o uretanos. Las emisiones generadas por este proceso son considerables. En algunos lugares, los vapores se incineran o se recuperan para reutilizarlos. También se emplean adhesivos al agua y sin disolventes o adhesivos para laminado con curado por UV [76, TWG, 2004].

#### Encuadernación con adhesivos (encolado)

El encolado está presente en muchos de los procesos de la encuadernación y el acabado. En el procesamiento del cuerpo de un libro y la elaboración de, por ejemplo, la tapa en libros de tapa dura, la técnica más habitual de encuadernación es el adhesivo, tanto para libros como para folletos de varias hojas. La encuadernación con adhesivos se suele denominar *encuadernación americana*.

El adhesivo utilizado puede ser a base de productos naturales o sintéticos. Estos últimos pueden ser en dispersión, en caliente o de poliuretano. Los productos naturales pueden ser a base de adhesivos de almidón, dextrinas y colas de origen animal.

Tradicionalmente, las colas más utilizadas son al agua o de aplicación en caliente, y algunas de base disolvente.

### **Barnizado**

«Estucado», «barniz» y «sobreimpresión» son sinónimos para referirse a la capa que se aplica encima de la superficie impresa para protegerla o decorarla. Esta capa es incolora, transparente y no tiene pigmentos. Los barnices se pueden secar por evaporación, oxidación o mediante luz ultravioleta, y pueden aplicarse en línea dentro de la misma prensa o en una máquina independiente [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [76, TWG, 2004].

### **2.2.5 Actividades asociadas**

Existen otras actividades asociadas a estos procesos, pero no todas las instalaciones las realizan. Los siguientes son algunos ejemplos destacables de actividades asociadas, aunque la lista no es exhaustiva. Algunas de las actividades se describen en otras secciones del presente documento, y otras no.

#### **Procesos fotográficos**

Estos procesos son exclusivamente en blanco y negro. En su aplicación, se generan residuos procedentes de los productos fijadores y de revelado, los cuales se tienen que almacenar o tratar antes de eliminarlos por el alcantarillado o en vertederos. En las soluciones residuales suele haber plata, que se puede recuperar localmente o enviarse a una planta de tratamiento.

#### **Producción de soportes gráficos**

Los procesos de impresión se definen, en parte, por la manera en que la imagen se traslada al sustrato (ver apartado 2.1.1). Existen los siguientes tipos de soportes gráficos:

- planchas offset (en offset rotativa con secado por calor),
- planchas flexográficas (en flexografía),
- cilindros de huecograbado (en el huecograbado de embalajes y publicaciones),
- pantallas (en serigrafía).

Las técnicas de galvanoplastia y actividades afines empleadas en la elaboración de cilindros de huecograbado se describen en el BREF STM.

#### **Tratamiento de gases residuales**

Los gases residuales se contienen, se recogen y, a menudo, se tratan por motivos de seguridad e higiene en el trabajo (para evitar incendios y explosiones), y también por razones ambientales (para reducir las emisiones de COV). En la actualidad, se utilizan los siguientes tipos de sistemas de tratamiento de gases residuales. Encontrará más información en el apartado 20.11 y en el anexo 24.9:

- incineración térmica,
- incineración térmica con recuperación,
- incineración catalítica,
- incineración regenerativa,
- adsorción con recuperación,
- tratamiento biológico.

#### **Almacenamiento de materiales y residuos peligrosos**

Existen materiales que pueden resultar nocivos para el ambiente y causar problemas de seguridad e higiene en el trabajo si no se almacenan y manipulan con cuidado:

- materias primas inflamables, como las tintas líquidas (utilizadas en flexografía, huecograbado y serigrafía), líquidos de revelado, fijadores (diluidos o no), disolventes para

disoluciones humectantes, aditivos, disolventes recuperados de las operaciones de preparación y limpieza, o excedentes de disolventes recuperados para la venta, fuel, etc.

- residuos peligrosos, como trapos usados, impregnados de disolventes y otros agentes limpiadores, residuos de fijadores y líquidos de revelado, así como residuos de los disolventes utilizados en la limpieza. En el huecograbado, los residuos químicos derivados de la preparación de los rodillos huecograbados.

En algunas plantas, se emplean depósitos subterráneos para almacenar el fuel y, en algunos casos, otros líquidos, como residuos de fijadores y líquidos de revelado. En las plantas de mayor envergadura, se pueden utilizar también depósitos subterráneos para almacenar las tintas (huecograbado de publicaciones) y disolventes (huecograbado de publicaciones y embalajes flexibles). Estos depósitos pueden disponer de conducciones subterráneas para conectarlos al edificio en el que se lleva a cabo el proceso de impresión [4, Intergraf y EGF, 1999].

Encontrará más información sobre las modalidades y técnicas de almacenamiento en el apartado 20.2 y también en el BREF ESB.

### **Tratamiento de aguas residuales**

Los procesos de impresión pueden generar aguas residuales en la etapa de creación de la imagen (revelado/fijación) y limpieza, especialmente en el caso de las tintas al agua o lavables con agua. Las aguas residuales pueden tratarse antes de su vertido. Las técnicas más comunes son la floculación, la precipitación y la ultrafiltración, ver apartado 20.12 [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003].

## **2.3 Niveles actuales de consumo y emisiones en el sector de las artes gráficas**

### **2.3.1 La industria gráfica en su conjunto**

En los apartados anteriores del capítulo 2 se ofrece una descripción general de la industria gráfica. Los consumos y las emisiones que se mencionan en este apartado se basan en la información obtenida sobre los tres principales procesos que son susceptibles de superar los límites impuestos en el anexo 1 (6.7) de la directiva IPPC. Pueden encontrarse otros procesos de impresión en la misma instalación como actividades asociadas o, en ocasiones, funcionando por encima de los límites previstos.

### **2.3.2 Offset rotativa con secado por calor**

#### **2.3.2.1 Balances de masas - secado por calor**

En 1999 se conocieron los resultados de un estudio realizado entre las imprentas alemanas de secado por calor. Uno de los resultados del estudio permitió comparar los datos de rendimiento de las diferentes unidades de cada planta y utilizarlos para simular una planta virtual que cumpliera los requisitos legales, en concreto los de la directiva sobre emisiones de disolventes. Obviamente, esta planta virtual no existe, sino que se ha extrapolado a partir de la información correspondiente a unidades de plantas reales que poseen un buen rendimiento y en las que se aplican buenas prácticas y medidas de protección del medio ambiente. Por lo tanto, aunque sea una planta ideal, sería viable en la realidad.

En este apartado, se presentan los balances de masas de esta planta virtual teórica extrapolada del estudio. En la vida real, las plantas pueden presentar una enorme diversidad de parámetros de producción, como la cobertura de tinta, la longitud de las tiradas, el tipo de papel, etc. [76, TWG, 2004]. Sin embargo, según Tabla 2.5 [76, TWG, 2004] hay que tener en cuenta que:

- el tratamiento de los gases residuales suele realizarse a temperaturas entre 700 y 800 °C, no 900 °C;
- el porcentaje de IPA no está definido: p/p o v/v.

Los datos operativos y las condiciones de producción de la planta virtual se indican en Tabla 2.5 y Tabla 2.6. Los balances de masas de esta planta virtual de offset con secado por calor se presentan en Tabla 2.7, y Figura 2.6 muestra el balance de COV.

<b>Máquinas</b>	Máquina offset 2 x 32 páginas con secado por calor; 4 unidades mantilla-mantilla; anchura de bobina: 1260 mm; circunferencia del cilindro: 890 mm; velocidad máxima de la prensa: 17 m/s; velocidad media aprox.: 13 m/s en tiraje de producción.  Potencia total: 1134 kW para una velocidad de hasta 14,8 m/s; Consumo eléctrico a una velocidad media de 13 m/s: 996 kW de los cuales, aprox.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 x 470 kW para la alimentación de la prensa [2 x 295 kW del motor principal; 2 x 120 kW de los motores auxiliares (unidad de impresión, componentes auxiliares, control); 2 x 19 kW de la inyección de aire; 2 x 30 kW para los rodamientos de rodillos, 2 x 6 kW de la unidad de rehumidificación)</li> <li>• 2 x 6 kW del sistema de transporte de la bobina de papel</li> <li>• 2 x 91 kW del centro de refrigeración</li> </ul>
<b>Productos</b>	Impresión comercial, por ejemplo suplementos publicitarios; publicaciones semanales
<b>Sustrato de impresión</b>	Papeles para impresión rotativa con un gramaje aproximado de 60 g/m <sup>2</sup>
<b>Tinta de impresión</b>	Tinta de secado por calor (presión de vapor < 0,01 kPa a 20 °C; contenido de petróleo = 35 %, del cual un 90 % se evapora en el secador)
<b>Disolución humectante</b>	Agua (máx. 10 °dH), 8 % IPA, 3 % de otros aditivos de la disolución humectante
<b>Secador</b>	2 de combustión directa (gas natural), temperatura (a la salida de la bobina de papel): 120-140 °C, caudal volumétrico de los gases residuales aprox. 7200 Nm <sup>3</sup> /h (a 13 m/s en tiraje de producción), ventilador: 72 kW
<b>Tratamiento de gases residuales</b>	1 de oxidación térmica regenerativa (termorreactor), cámara de combustión aprox. 900 °C, eficiencia en la destrucción de los COV: 99 %. Temperatura de los gases purificados a 140 °C; recuperación del calor: 93 % de eficiencia térmica.  Calentamiento con 2100 kW de gas, funcionamiento normal 2 x 700 kW de gas. 2 x 200 kW de consumo eléctrico (ventiladores); consumo eléctrico 1900 kW/a, combustión auxiliar aprox. 15 kW de gas (a 13 m/s; 1,2 g/m <sup>2</sup> de tinta por página)
<b>Agentes limpiadores</b>	20 % rodillo/mantilla para limpieza manual (100 % COV; presión de vapor 0,05 kPa a 20 °C) y 80 % mantilla para dispositivo de limpieza (0 % COV; presión de vapor < 0,01 kPa a 20 °C), trapos reutilizables para el disolvente (40 gramos de peso seco/unidad)

**Tabla 2.5: Datos operativos de una planta virtual de offset con secado por calor [18, UBA Alemania, 2003]**

<b>Producción</b>	3 turnos en 5,5 días laborables, 280 días laborables x 24 h = 6700 horas de trabajo al año; aprox. 30 % del tiempo es preparación y mantenimiento rutinario, y aprox. 70 % de producción => 4700 horas de producción de las prensas
<b>Productos</b>	Aprox. 18 000 t/a de impresiones comerciales a partir de aprox. 20 000 t/a de papel y 500 t/a de tinta
<b>Disolución humectante</b>	Aprox. 1025 t/a; de las cuales 950 toneladas de agua, 50 toneladas de IPA y 25 toneladas de otros aditivos
<b>Limpieza</b>	Aprox. 15 t/a (80 % para limpieza intermedia, 20 % para limpieza rutinaria) y 100 000 trapos.

**Tabla 2.6: condiciones de producción de la planta virtual de offset con secado por calor [18, UBA Alemania, 2003]**



Se ha calculado el siguiente balance de masa en Tabla 2.7 para la planta virtual descrita en Tabla 2.5 y Tabla 2.6.

ENTRADA	Canti- dad	Unidad	Notas	Productos de SALIDA	Cantidad	Uni- dad	Notas
				Impresiones comerciales	18 000	t/a	Papel y tinta
<b>Material</b>				Residuos			
<b>Sustrato de impresión</b>	20 000	t/a		Papel/impresio- nes defectuosas	2800	t/a	
<b>Tintas de impresión</b>	500	t/a	Concentración de petróleo en tinta 35 %, de la cual un 85-90 % se evapora en el secador [76, TWG, 2004]	Residuos de tinta	6	t/a	Residuos de tinta y en trapos, no hay COV
<b>Disolución humectante</b>	950	t/a	Sin COV				
<b>IPA</b>	50	t/a	100 % COV	Residuos de la solución humectante	2	t/a	4 % COV
<b>Aditivos de la disolución humectante</b>	25	t/a	5 % COV				
<b>Agentes limpiadores</b>	15	t/a	80 % sin COV para limpieza intermedia, 20 % para limpieza rutinaria	Mezcla de agentes limpiadores y agua	23	t/a	50 % de disolventes con un punto de ebullición elevado
<b>Trapos para limpiar</b>	100 000	Unida- des/a	Normalmente reutilizables, peso aprox. 40 g/unidad	Trapos para limpiar	100 000	Unida- des/a	1 t de tinta y 3 t de agentes limpiadores, con un 100 % de COV, de los cuales un 50 % se evapora de manera fugitiva
<b>Total COV</b>	203	t/a		COV en los residuos	2	t/a	En trapos, agentes limpiadores y solución humectante residual
<b>Energía</b>				Gases de escape			
<b>Energía total</b>	27 100	MWh/a		Caudal volumétrico	67,7 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup> /a	19 mg COV/m <sup>3</sup>
<b>Energía en forma de gas</b>	13 700	MWh/a	\	COV en gases purificados	1,3	t/a	
<b>Energía eléctrica</b>	13 400	MWh/a		NO <sub>x</sub> en gases purificados	2,7	t/a	40 mg NO <sub>x</sub> /m <sup>3</sup>
<b>De la cual: Prensa</b>	8900	MWh/a		CO en gases purificados	3,4	t/a	50 mg CO/m <sup>3</sup>
<b>Refrigeración</b>	1700	MWh/a		Fugitivas			
<b>Tratamiento de gases residuales</b>	700	MWh/a		COV fugitivos	47	t/a	23 %

Tabla 2.7: entrada y salida de la planta virtual de secado por calor [18, UBA Alemania, 2003]

El balance de COV de la planta virtual se muestra en Figura 2.6.

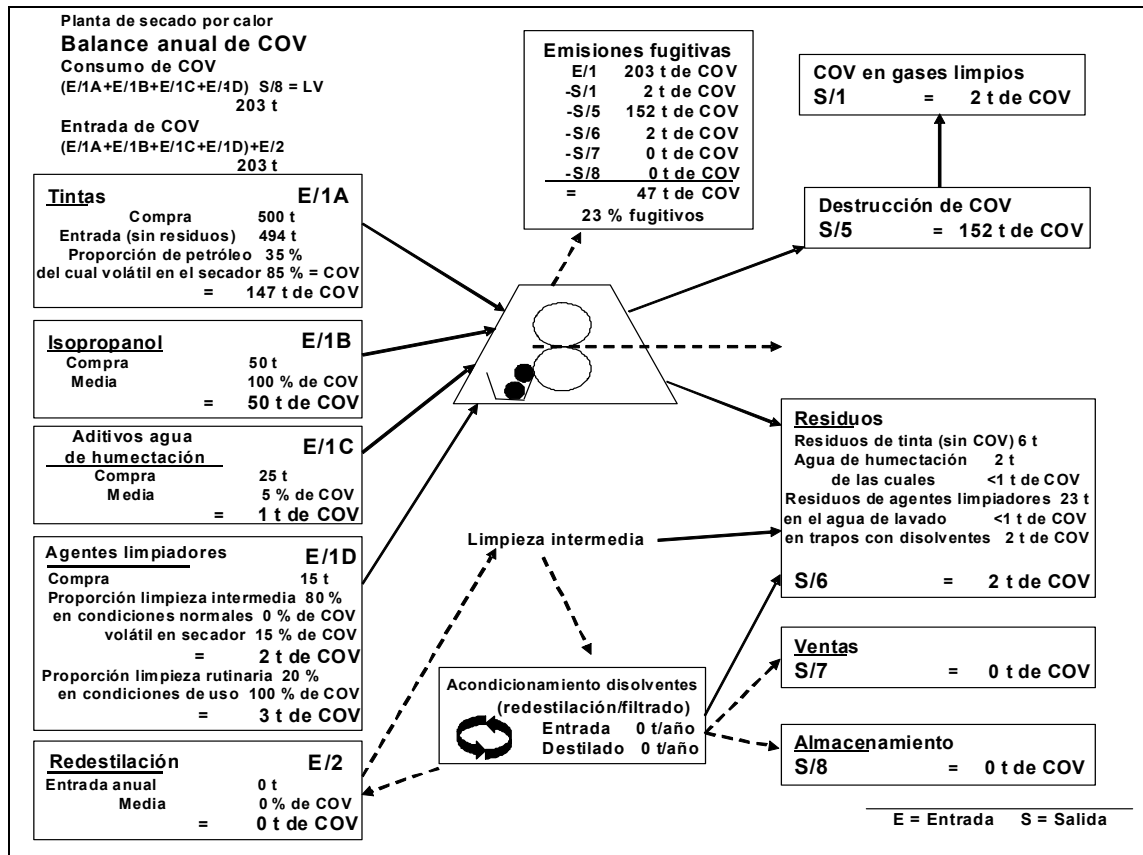


Figura 2.6: balance de COV de la planta virtual [18, UBA Alemania, 2003]

Sin embargo, hay que tener en cuenta que Figura 2.7 [76, TWG, 2004]:

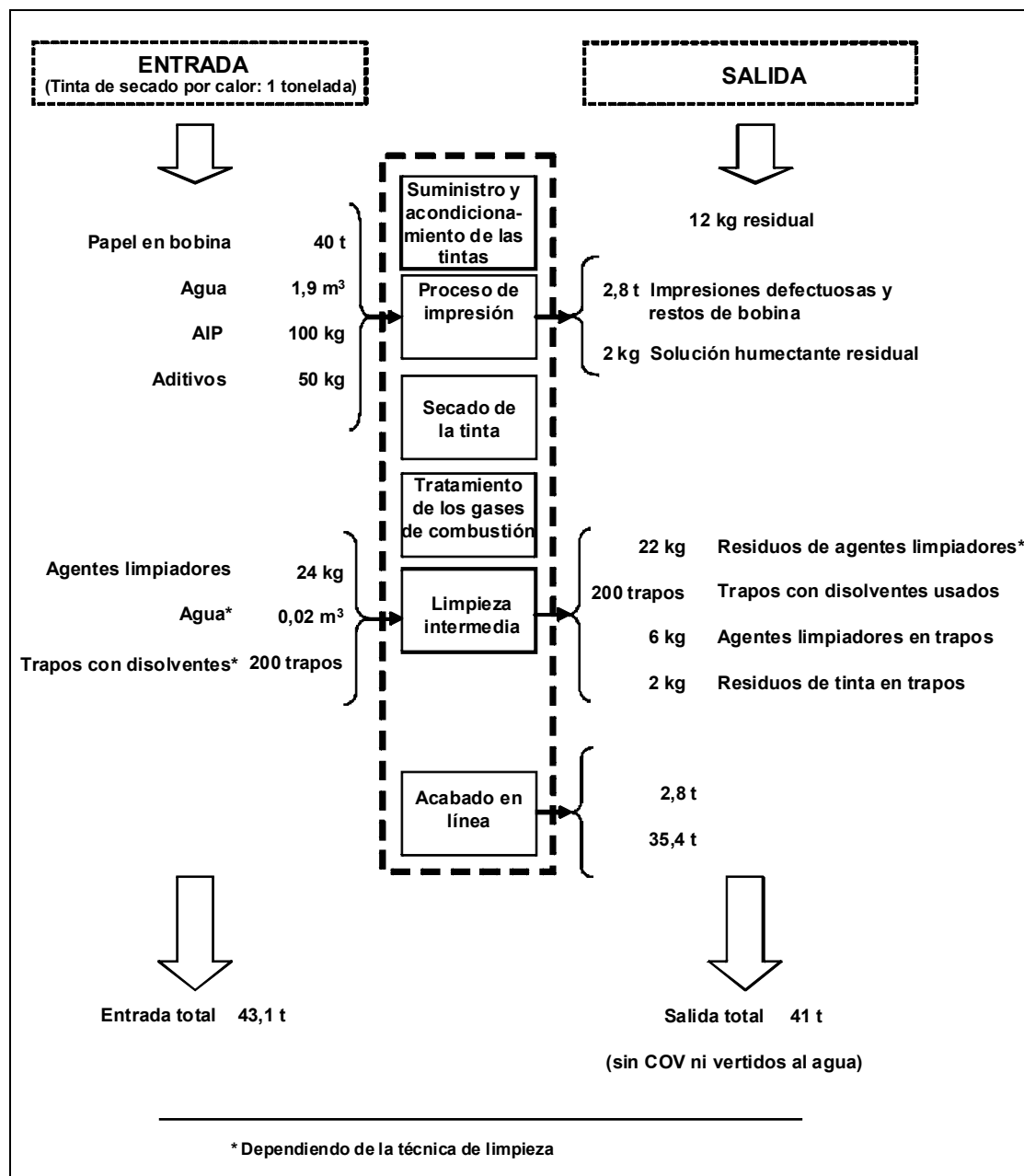
- se supone que el contenido del COV IPA es del 100 %, a pesar de que puede haber hasta un 15 % de agua;
- indica que, en la impresión con secado por calor, se necesitan dos prensas grandes y rápidas (32 páginas), trabajando tres turnos durante 280 días al año, para superar un consumo de 200 t/a. La mayoría de las plantas con secado por calor tienen o dos prensas de 8 páginas o una de 8 y dos 16. Es extraño encontrar dos prensas de 32 páginas en una planta.

Las plantas de secado por calor de mayor tamaño que esta planta virtual pueden disponer de varias unidades de impresión que son similares a las de la planta virtual, aunque cada vez más plantas están equipadas con prensas de diferentes anchuras de bobina. Por tanto, podemos extrapolar los datos específicos del consumo y de las emisiones de esta planta virtual. Sin embargo, los valores específicos correspondientes al consumo y a las emisiones dependen mucho de los productos elaborados y aumentan [76, TWG, 2004]:

- a medida que disminuye el volumen impreso,
- cuando se emplean colores especiales o cuando se cambia la secuencia de colores,
- con la calidad de la impresión, o cuando las imágenes impresas son de gran dificultad,
- a medida que disminuye la calidad del papel.

Se han calculado varios balances de masas teóricos a partir de la planta virtual. En Figura 2.7 se muestran los valores medios de consumo y emisiones de COV para una tonelada de tinta. Los valores medios correspondientes a la entrada de material y la salida de residuos de la planta virtual se muestran en Figura 2.8. Sin embargo, estos valores son sólo promedios, por lo que, en





**Figura 2.8: entrada específica de sustancias y salida de residuos en un proceso virtual de secado por calor**  
[18, UBA Alemania, 2003]

En 2003 se llevó a cabo un estudio en Flandes (Bélgica) y en los Países Bajos sobre nueve plantas con un consumo de COV de 200 t/a [115, Intergraf, 2005]. A partir de este, y otros experimentos, se identificaron dos tipos de prensas: las que eran capaces de imprimir con concentraciones bajas de IPA en la disolución humectante (prensas nuevas o actualizadas) y las que no eran capaces de hacerlo (plantas antiguas). Gracias a unas pruebas realizadas para optimizar las prensas, se identificaron también dos tipos de trabajos de impresión: los que podían funcionar directamente con concentraciones bajas de IPA (favorables), y los «difíciles», que necesitaban concentraciones más elevadas, (ver Tabla 2.8). Los trabajos «difíciles» implicaban alguno de los siguientes factores:

- cambios en la superficie del papel que requerían multitud de cambios delicados en la configuración de la prensa;
- situaciones de gran cobertura de tinta en que el IPA evita la producción de puntos blancos;
- un menor nivel de destreza, formación y experiencia de los operarios;

- las prensas nuevas, más anchas, también parecen necesitar mayores concentraciones de IPA para cubrir las demandas de trabajo con planchas anchas, rodillos anchos con poca curvatura, etc. [178, Verspoor, 2006]

Tipo de prensa	Características de los trabajos de impresión	
<b>Tipo 1: capaz de utilizar bajas concentraciones de IPA</b>	Favorable (A)	Difícil (B)
<b>Tipo 2: incapaz de utilizar bajas concentraciones de IPA</b>	Favorable (A)	Difícil (B)

Tabla 2.8: combinaciones de tipos de prensas de secado por calor y tipos de trabajos analizados [115, Intergraf, 2005]

Los valores del consumo se han obtenido a partir de los datos recopilados gracias al estudio Belga sobre los consumos de disolución humectante y agentes limpiadores (ver Tabla 2.9).

Situación	IPA o substitutivo	Agentes limpiadores	
<b>Prensa de tipo 1, trabajos de tipo A</b>	2 % del peso de tinta	Principalmente K3 (55-100 °C)	2 % del peso de tinta
<b>Prensa de tipo 1, trabajos de tipo B</b>	10 % del peso de tinta	Principalmente K3 (55-100 °C)	5 % del peso de tinta
<b>Prensa de tipo 2, trabajos de tipo A</b>	5 % del peso de tinta	Principalmente K3 (55-100 °C)	5 % del peso de tinta
<b>Prensa de tipo 2, trabajos de tipo B</b>	15 % del peso de tinta	Principalmente K3 (55-100 °C)	10 % del peso de tinta

Tabla 2.9: datos sobre el consumo de disolventes por tipo de prensa y tipo de trabajo [115, Intergraf, 2005]

En Tabla 2.10 constan los cálculos realizados para la planta virtual, suponiendo los mínimos consumos posibles de IPA, substitutivos del IPA y agentes limpiadores. A efectos ilustrativos, se supone un consumo de tinta de 500 t/a.

Fuentes de emisiones	Prensa 1 trabajos A	Prensa 1 trabajos B	Prensa 2 trabajos A	Prensa 2 trabajos B
<b>Tinta en t/a</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>
COV evaporados de las tintas en %	35 %	35 %	35 %	35 %
COV evaporados de las tintas en t/a	175	175	175	175
Emisiones de las tintas en %	1,5 %	1,5 %	1,5 %	1,5 %
<b>Emisiones de las tintas en t/a</b>	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>
IPA o COV substitutivos en % del peso de tinta	2 %	10 %	5 %	15 %
IPA o COV substitutivos en t/a	10,0	50,0	25,0	75,0
Emisiones fugitivas de IPA o COV substitutivos en %	90 %	90 %	90 %	90 %
<b>Emisiones fugitivas de IPA o COV substitutivos en t/a</b>	<b>9,0</b>	<b>45,0</b>	<b>22,5</b>	<b>67,5</b>
Agentes limpiadores (AL) en % del peso de tinta	2 %	5 %	5 %	10 %
COV en AL en %	100 %	100 %	100 %	100 %
COV en AL en t/a	10,0	25,0	25,0	50,0
Factor de emisión de AL	23 %	23 %	23 %	23 %
<b>Emisiones procedentes de AL en t/a</b>	<b>2,3</b>	<b>5,8</b>	<b>5,8</b>	<b>11,5</b>
Entrada total en t/a	195	250	225	300
Total emisiones en t/a	13,9	53,4	30,9	81,6
<b>% del peso de tinta</b>	<b>2,8 %</b>	<b>10,7 %</b>	<b>6,2 %</b>	<b>16,3 %</b>
<i>% de las entradas (SED)</i>	<i>7,1 %</i>	<i>21,4 %</i>	<i>13,7 %</i>	<i>27,2 %</i>

Tabla 2.10: emisiones de COV de la planta virtual con secado por calor [115, Intergraf, 2005]

### 2.3.2.2 Consumos - secado por calor

[128, TWG, 2005]

#### 2.3.2.2.1 Componentes y aditivos

#### 2.3.2.2.2 Tintas de impresión

Los componentes básicos de las tintas para offset son: pigmentos, ligantes (resinas, barniz, petróleo), y aditivos (sustancias secantes). Además, se añaden a las tintas determinadas sustancias (aceites o diluyentes de impresión, pastas de resistencia a la fricción, abrillantadores, retardadores del secado, etc.) para modificar sus propiedades [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998].

En las técnicas de secado por calor, existen solamente cuatro colores estándar. Las tintas son mayoritariamente orgánicas y se emplean muy pocos pigmentos inorgánicos. Las más comunes son las siguientes:

- negro: negro de humo;
- inorgánicas: dióxido de titanio, hidróxido de aluminio, azul de Prusia;
- orgánicas: amarillos de diarilo, litolrubina 4B, azul de ftalocianina.

El azul de ftalocianina posee dobles enlaces conjugados con el cobre como átomo central. Los pigmentos normales pueden contener metales pesados en forma de pequeñas impurezas en cantidades del orden de partes por millón [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998].

En Tabla 2.11 se muestra una formulación típica de las tintas para secado por calor.

Componente	Contenido	Concentración (% en peso)
Ligante	Resinas, aceites vegetales, aceites minerales (p. ej. 240-300 °C)	60-85
Colorantes	Casi exclusivamente pigmentos orgánicos	10-25
Agentes colorantes auxiliares	Secantes (jabones metálicos), antioxidantes (por ejemplo, butilhidroxitolueno, hidroquinona), agentes antipiel (por ejemplo, la ciclohexanona oxima), complejantes (por ejemplo, EDTA, tartratos)	< 10

**Tabla 2.11: receta básica típica para las tintas de offset rotativa con secado por calor** [18, UBA Alemania, 2003],[54, BMLFUW Austria, 2003] [128, TWG, 2005]

El consumo total de las tintas con secado por calor en la UE-15 se estima que es de 125 a 140 kilotoneladas al año [4, Intergraf y EGF, 1999]. Los datos de la planta virtual de offset con secado por calor muestran un consumo de tinta de 27,8 kg por tonelada de producto acabado, o 25 kg por tonelada bruta (incluyendo mermas) [18, UBA Alemania, 2003]. La experiencia recopilada de tres plantas en un período de cinco años reveló un consumo de 19 kg por tonelada bruta [76, TWG, 2004]. En la industria de los acabados gráficos, el consumo medio de tinta era de 20,6 kg por tonelada de producto [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998]. Un consumo típico de tinta sería de 19 a 25 kg por tonelada de producción.

#### 2.3.2.2.3 Disoluciones humectantes

[128, TWG, 2005]

A la disolución humectante se añade IPA, a menos que se sustituya por tensioactivos. En offset con secado por calor, la concentración de IPA varía entre el 5 y el 15 % en función del trabajo de impresión [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].



Algunas prensas más antiguas están diseñadas para funcionar con concentraciones de hasta el 30 % de IPA o etanol, y otras sin nada. La concentración de IPA puede estar un 30-50 % por encima de la cantidad necesaria sin que esto afecte al proceso de impresión. En cambio, si falta IPA, se produce inmediatamente un detrimento de la calidad [4, Intergraf y EGF, 1999].

A veces se emplean concentraciones del 2-8 % de IPA en combinación con un aditivo, normalmente éteres de glicol, que se añaden a la disolución humectante en concentraciones cercanas al 1 %. En otros casos, también se puede trabajar sin IPA [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [4, Intergraf y EGF, 1999].

Tabla 2.10 muestra la variación en las concentraciones de IPA utilizadas, dadas las variaciones en los tipos de prensas y de trabajos de impresión.

En Alemania, la aplicación de la directiva sobre emisiones de disolventes ha llevado a limitar las concentraciones de IPA en los procesos de secado por calor a un máximo del 8 % [18, UBA Alemania, 2003, 76, TWG, 2004].

Los datos sobre el consumo de disolventes para prensas y trabajos con secado por calor desde 2003 se relacionan en Tabla 2.9.

Un estudio realizado en la industria gráfica alemana con secado por calor sobre la cantidad de IPA utilizada (antes de 1999) arrojó un resultado del 18-21 % en peso (en relación con la entrada total de tinta, que sería el 100 %). Sin embargo, gracias a datos más recientes, se ha observado un porcentaje del 10 % en combinación con un 5 % de otros aditivos en una planta virtual de offset con secado por calor. En 2002, en esa planta virtual, (ver Tabla 2.5 y Tabla 2.6) la entrada de IPA fue de 50 toneladas para imprimir 20 000 toneladas de sustrato. La concentración de IPA en la disolución humectante era de aproximadamente el 5 %. La producción de productos de impresión comercial fue de 18 000 toneladas y la entrada de IPA sería entonces de 2,8 kg por tonelada de producto y 100 kg por tonelada de tinta utilizada (10 %) [18, UBA Alemania, 2003] .

En Austria también se tiene constancia de que son habituales concentraciones de IPA del orden del 5-20 %. [54, BMLFUW Austria, 2003].

En 16 plantas de secado por calor de Flandes, Bélgica, el margen de concentraciones de IPA en relación con la entrada de tinta por peso es del 0-47 %. En las tres plantas en las que no se utiliza IPA, se recurre a otras alternativas. En relación con la entrada de tintas, dos plantas con más de 500 empleados cada una presentan unos consumos de IPA del 56 % y el 176 % respectivamente [32, Aminimal, et al., 2002].

En los procesos de impresión sin agua, no se aplica disolución humectante y la expulsión de la tinta en las zonas de no impresión se consigue mediante un revestimiento de silicona [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

#### **2.3.2.2.4 Barnices**

No se dispone de datos.

#### **2.3.2.2.5 Agentes limpiadores**

[4, Intergraf y EGF, 1999] [128, TWG, 2005]

Los agentes limpiadores típicos que se utilizan en las mantillas y rodillos entintadores de offset se describen en Tabla 2.12

Las mezclas de disolventes suelen contener hidrocarburos alifáticos, cíclicos o nafténicos. Normalmente no contienen compuestos aromáticos por cuestiones de salud y seguridad. Sin embargo, se han utilizado hidrocarburos aromáticos, como el tolueno, el xileno, y disolventes halogenados [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [4, Intergraf y EGF, 1999].

En cuanto a los procesos de secado por calor de la UE-15, se calcula un volumen de 13 kilotoneladas al año, lo cual representa aproximadamente un 10 % de la entrada de tintas en peso. [4, Intergraf y EGF, 1999]. No obstante, hay constancia de márgenes del 4,5 al 6,5 % en peso [18, UBA Alemania, 2003]. De los datos de las 16 plantas de secado por calor de Flandes, Bélgica, se desprenden unos márgenes del 0,5 al 11,2 % basados en el consumo de tinta y, en el caso concreto de una de las plantas, este margen es del 110 % en peso [32, Aminal, et al., 2002].

Aunque en el pasado, para limpiar las prensas offset, se han utilizado disolventes muy volátiles y, en algunos casos, halogenados, hay una tendencia clara a utilizar cada vez menos los disolventes volátiles. Esta tendencia tiene como consecuencia un descenso sustancial de las emisiones de COV procedentes de los agentes limpiadores, pero, en cambio, aumenta la cantidad de residuos peligrosos. Este incremento de los residuos es, sin embargo, menor que la disminución de las emisiones de COV. La experiencia nos indica que, al utilizar agentes limpiadores de baja volatilidad durante algún tiempo, puede reducirse la cantidad empleada [4, Intergraf y EGF, 1999].

La proporción actual de agentes limpiadores utilizada en las técnicas de impresión en hojas, con secado por calor y, en general, en offset, se muestra en Tabla 2.12.

Agente limpiador	Secado por calor (1999)	Secado por calor (2000)	Hojas (2000)	Offset (2000)
<b>Proporción (%)</b>				
Mezclas de disolventes con un punto de inflamación < 21 °C	12,9	9	21	12-33
Mezclas de disolventes con un punto de inflamación entre 21 y 55 °C	36,3	3	8,5	
Mezclas de disolventes con un punto de inflamación entre 56 y 100 °C	39,2	76	68,5	61-79
Sustancias de alto punto de ebullición con un punto de inflamación > 100 °C	9,7	12	2	6-8,6
Ésteres de aceites vegetales con un punto de inflamación > 150 °C	1,9			
Nota Los datos de la columna 2 corresponden a la industria alemana Los datos de las columnas 3 y 4 corresponden a la industria flamenca Los datos de la columna 5 corresponden a la industria neerlandesa y [76, TWG, 2004]				

**Tabla 2.12: agentes limpiadores en secado por calor y procesos offset en general [18, UBA Alemania, 2003] [32, Aminal, et al., 2002]**

En lo que respecta a los procesos de secado por calor en Austria, el 90 % de los agentes limpiadores utilizados son disolventes orgánicos con una presión de vapor > 0,01 kPa. De esta cantidad, el 70 % se utiliza para limpieza intermedia, que tarda entre 20 y 80 segundos y (para prensas con 4 unidades mantilla-mantilla, de 96,5 cm de ancho) consume menos de 1 litro de disolvente limpiador. La limpieza automática de las prensas entre un trabajo y el siguiente consume unos 0,5 l/h (para una prensa de cuatricromía a doble cara, de 96,5 cm de ancho) [54, BMLFUW Austria, 2003] [76, TWG, 2004].

Los datos sobre el consumo de disolventes para prensas y trabajos con secado por calor desde 2003 se relacionan en Tabla 2.9.

Los sistemas de limpieza automática emplean un 10 % menos de agentes limpiadores que si se hace a mano [4, Intergraf y EGF, 1999].

Algunos agentes limpiadores de origen vegetal contienen hasta un 15 % de disolventes. Sin embargo, también se comercializan sin disolventes [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

Algunas prensas antiguas disponen de rodillos humectantes cubiertos de muletón, que tienen que quitarse para limpiarlos. Estas prensas se consideran obsoletas en la UE-15. No se necesitan disolventes para limpiar estos rodillos, ya que se puede hacer con agua a presión, a veces con un poco de detergente [4, Intergraf y EGF, 1999].

### 2.3.2.2.6 Energía y recursos

[128, TWG, 2005]

El consumo de energía de la planta virtual de secado por calor descrita en Tabla 2.5 y Tabla 2.6 se señala en Tabla 2.13 y Figura 2.9. El consumo de energía por tonelada de tinta varía mucho según el tipo de prensa, de trabajo y de tinta, etc., por lo que no es un indicador representativo [76, TWG, 2004].

Consumo de energía técnica offset con secado por calor	Consumo	Consumo
Total	1,355 MWh/t	54,2 MWh/t de entrada de tinta
Gas	0,685 MWh/t	
Electricidad	0,67 MWh/t	
Gas para el tratamiento de gases residuales	4,60/t de COV en gases residuales	
	15,56 GJ gas/t COV	
	0,3 t GNL/t COV	

**Tabla 2.13: consumo de energía de la planta virtual de secado por calor (según Tabla 2.7) [18, UBA Alemania, 2003]**

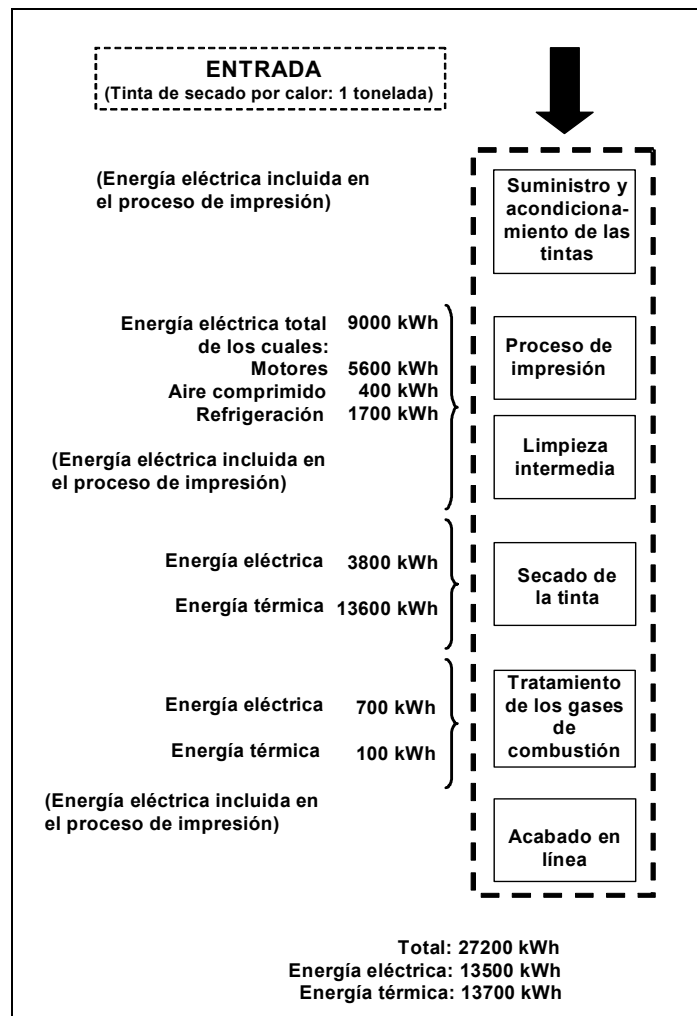


Figura 2.9: consumo específico de energía en un proceso virtual de secado por calor [18, UBA Alemania, 2003]

### 2.3.2.2.7 Sustratos de impresión y otros consumos

[128, TWG, 2005]

#### Sustratos de impresión

El sustrato utilizado en las técnicas de secado por calor es normalmente el papel con un gramaje específico entre 40 y 60 g/m<sup>2</sup>. A menudo se emplean papeles estucados PLC y no estucados, normalmente con un gramaje específico entre 45 y 70 g/m<sup>2</sup>.

#### Otros consumos

Entre estos consumos se encuentran materiales como los trapos para limpiar, contenedores y otros materiales de embalaje.

En las técnicas de secado por calor, se utilizan cuatro colores estándar, que se suministran en contenedores reutilizables, que pueden ser contenedores intermedios flexibles (IBC) con un contenido de aproximadamente 1 tonelada, o bidones metálicos normales de 200 litros [4, Intergraf y EGF, 1999].

Los trapos suelen ser reutilizables y pesan alrededor de 40 gramos. En una imprenta de secado por calor se constató que utilizaba unos seis trapos por tonelada de producto impreso, lo cual equivale a 200 trapos por tonelada de tinta utilizada [4, Intergraf y EGF, 1999, 18, UBA Alemania, 2003, 76, TWG, 2004].

### 2.3.2.3 Emisiones - secado por calor

#### 2.3.2.3.1 Emisiones a la atmósfera - fuentes y emisiones fugitivas

[128, TWG, 2005]

Se calcula que el total europeo de emisiones de COV sin reducciones procedentes de las plantas de secado es del orden de 100 kilotoneladas al año. Más de la mitad de estas emisiones proceden del IPA que hay en la disolución humectante y, el resto, de los agentes limpiadores. Las emisiones procedentes de las tintas, originadas en los secadores, son resultado de los aceites con alto punto de ebullición y están sujetas a medidas de reducción, junto con un 10 % estimado de IPA y agentes limpiadores, que también se extraen de los secadores donde éstos extraen aire de la imprenta.

Según el modelo RAINS, en el ámbito de la UE-25, las emisiones de COVNM procedentes de los procesos de secado por calor fueron de 40 kt en el año 2000, lo cual constituye un 0,38 % del total de emisiones de COVNM. El total de esta actividad fue de 123,59 kt, con un factor medio de emisiones de 3239 g de COVNM/kg, lo cual demuestra que este sector industrial ya reduce algunas de sus emisiones [130, EGTEI, 2005].

Algunos datos indican que el 50 % de las emisiones de COV originales seguirán sin reducirse [4, Intergraf y EGF, 1999]. Otros datos indican que se pueden conseguir niveles de emisión fugitivas de COV mucho menores, del orden del 25-30 % [54, BMLFUW Austria, 2003], si se consume menos IPA y se utilizan agentes limpiadores poco volátiles. Se tiene constancia de que incluso se han llegado a alcanzar niveles alrededor del 23 % (ver Tabla 2.7 [76, TWG, 2004]).

En el SED, las emisiones fugitivas se describen como un porcentaje de las entradas. En la impresión con secado por calor, las técnicas clave para reducir las emisiones fugitivas de los COV consisten en reducir las entradas de disolventes de este tipo. Por consiguiente, expresar las emisiones como un porcentaje de las entradas no refleja los cambios efectuados. En Alemania y Austria, pero no en el SED, se efectúan cálculos en los planes de reducción de emisiones de tal manera que se evite este problema. Se ha realizado un estudio que demuestra que, para los procesos de secado por calor, resulta más útil expresar las emisiones como un porcentaje del consumo de tinta [115, Intergraf, 2005]. Ver anexo 24.2.

Los gases residuales de las prensas de secado por calor suelen tener un olor desagradable. En muchos casos, ésta fue la razón principal por la que se instalaban incineradores en este segmento de la industria gráfica [4, Intergraf y EGF, 1999].

En los siguientes párrafos se detallan las diferentes fuentes de emisiones.

#### **Tintas**

El total de emisiones de disolventes procedentes de las tintas de secado por calor, que normalmente contienen un 30-35 % de disolventes en la UE-15, es de aproximadamente 45 kilotoneladas. De estos disolventes, un 80-90 % se evapora en el secador y suele tratarse [4, Intergraf y EGF, 1999, 76, TWG, 2004].

La tinta se suministra a granel y se transporta directamente hasta las prensas bombeándola a través de un sistema de tuberías. Esto es práctica habitual en las plantas de gran envergadura [4, Intergraf y EGF, 1999, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### **Disolución humectante**

El IPA o, a veces, el etanol que se añade a las disoluciones humectantes se evaporan durante el proceso de impresión. Aproximadamente el 85-90 % son emisiones fugitivas y aproximadamente un 10 % (en secado por calor) se extrae a través de los secadores y después se trata [4, Intergraf y EGF, 1999]. Sin embargo, según otras fuentes, se captura y se trata el 50 % de la disolución humectante aplicada en los procesos de secado por calor [54, BMLFUW

Austria, 2003]. Las cantidades de IPA consumidas también se emiten en parte, tal como se explica en el apartado 2.3.2.2.3.

El IPA puede sustituirse parcialmente por éteres de glicol, que también se evaporan, aunque en menor medida que la cantidad de IPA sustituida. Sin embargo, el potencial de formación de ozono de algunos éteres de glicol puede llegar a ser 10 veces mayor que el del IPA, por lo que deberán estudiarse las ventajas según una valoración peso por peso.

La impresión offset sin agua no genera emisiones a la atmósfera como consecuencia de los procesos de humectación [4, Intergraf y EGF, 1999, 76, TWG, 2004].

### **Agentes limpiadores**

Las emisiones de las 100 kilotoneladas estimadas de agentes limpiadores que se utilizan en las plantas de offset europeas dependen del tipo de equipos de limpieza, los trabajos de impresión, los disolventes aplicados, etc. Los disolventes presentan unos niveles de emisión muy dispares según el punto de ebullición sea bajo o alto. El balance de masa de la planta virtual de secado por calor que se ilustra en Figura 2.6, muestra un ejemplo del porcentaje de disolventes que se puede emitir a la atmósfera, en parte a través de un incinerador y, en parte, de forma fugitiva.

El porcentaje de emisiones de disolventes derivadas de la limpieza automática entre operaciones en los procesos de secado por calor y que se captura y dirige hacia el tratamiento de gases residuales sería del orden de  $\leq 15-50\%$  [18, UBA Alemania, 2003, 54, BMLFUW Austria, 2003].

Las emisiones de disolventes en procesos de secado por calor derivadas de la limpieza manual y la limpieza rutinaria, que se captura y dirige hacia el tratamiento de gases residuales, sería del orden del 0-5 %.

### **Captura**

La concentración media de COV en los gases residuales generados por los procesos de secado por calor es del orden de 1-3 g/Nm<sup>3</sup> debido a la ausencia de recirculación del aire del secador. Los gases residuales tienen tan mal olor que la recirculación del aire haría que el producto tuviera un hedor inaceptable. La ausencia de recirculación hace que se necesite un caudal de aire y un incinerador con una capacidad proporcionales. La baja concentración provoca una demanda de energía relativamente alta [4, Intergraf y EGF, 1999, 18, UBA Alemania, 2003]. Sin embargo, los datos obtenidos de una imprenta austriaca en la que se aplican buenas prácticas (prensa de cuatricromía a doble cara, de 96,5 cm de ancho), que extrae entre 1000 y 4000 Nm<sup>3</sup> de aire, muestran una concentración máxima de COV de 8 g/Nm<sup>3</sup>. A efectos comparativos, es casi un 50 % más que dos prensas de muy grandes dimensiones en la planta virtual en Tabla 2.7.

Existen varias opciones para el tratamiento de los gases residuales, que se exponen en el apartado 20.12.

### **Incineración**

Los incineradores pueden integrarse dentro de los secadores o pueden ser un sistema centralizado al cual están conectados todos los secadores (ver apartado 20.11). En Austria, uno de los primeros países en aplicar medidas de reducción de las emisiones de COV, un 80 % de los sistemas centralizados utilizan incineradores regenerativos [76, TWG, 2004].

La temperatura de incineración tiene que estar entre 750 y 800 °C. El poder calorífico de los gases residuales puede ser insuficiente para alcanzar esta temperatura sin ayuda [4, Intergraf y EGF, 1999]. Sin embargo, en condiciones óptimas, puede ser un proceso autotérmico cuando se utiliza incineración regenerativa [18, UBA Alemania, 2003, 76, TWG, 2004].

Las tres técnicas de incineración aplicadas en las plantas de secado por calor tienen las características que se indican en Tabla 2.14.



Emisiones	Unidad	Térmica	Catalítica	Regenerativa
Metano respecto del carbono total	mg C/Nm <sup>3</sup>	< 20	< 50 unas 25	< 30
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	100	20	100
Energía		Térmica	Catalítica	Regenerativa
Temperatura	°C	750	400	800
Gas natural	m <sup>3</sup> /h	105	20	20
Temperatura de escape	°C	350	200	200
Electricidad	kW	100	100	75
Calor disipado	kW	2640	1400	1400

**Tabla 2.14: logros de las técnicas de incineración en plantas de secado por calor [4, Intergraf y EGF, 1999, 76, TWG, 2004]**

La oxidación térmica es capaz de rebajar un poco las emisiones de COV. Su eficiencia es un 0,1 % mejor. En contrapartida, el consumo de energía es notablemente más elevado. El consumo de gas natural es cinco veces mayor que el de los otros dos sistemas.

La oxidación térmica aplicada en la planta virtual teórica que se describe en Tabla 2.7 posee una eficiencia en la reducción de los COV del 99 % y presenta los siguientes niveles de emisión. Sin embargo, necesita una temperatura de combustión muy elevada (900 °C) comparado con la habitual de 750-800 °C [18, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004]:

- 19 mg COV/m<sup>3</sup>
- 40 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup>
- 50 mg CO/m<sup>3</sup>.

### Condensación

La condensación tiene normalmente un nivel de eficiencia alrededor del 90 % [52, SPIN Países Bajos, 1994]. Sin embargo, no cumple los valores de emisión exigidos por la SED y, por tanto, no se suele utilizar [76, TWG, 2004].

### Tratamiento biológico

No ha conseguido utilizarse con buenos resultados en este sector. Ver apartado 20.11.8.

#### 2.3.2.3.2 Residuos

[128, TWG, 2005]

#### Papeles

La cantidad de residuos de papel generados en offset con secado por calor suele ser superior que con otros métodos de impresión, ya que se malgasta mucho papel antes de conseguir el equilibrio adecuado entre la tinta y el agua de humectación para producir una impresión de buena calidad.

La planta virtual de secado por calor que se describe en el apartado 2.3.2.1 producía 2800 toneladas de residuos por cada 20 000 toneladas de sustrato, lo cual equivale a un 14 % de residuos del sustrato papel utilizado [18, UBA Alemania, 2003].

El método offset sin agua parece que genera menos residuos, dado que no es necesario alcanzar este equilibrio entre tinta y humedad.

#### Tintas

La planta virtual de secado por calor que se describe en el apartado 2.3.2.1 generaba 12 kg de residuos de tinta por tonelada utilizada, 10 kg de los cuales son tintas sobrantes y 2 kg son tintas absorbidas por los trapos de limpieza [18, UBA Alemania, 2003].

### **Disolución humectante**

Durante la impresión, la disolución humectante puede contaminarse con polvo de papel y pequeñas cantidades de tinta. Estas disoluciones contienen AOX y pequeñas cantidades de metales. Normalmente, estas disoluciones humectantes residuales se vierten al alcantarillado, previo tratamiento de las mismas, según se detalla en el apartado 2.3.2.3.3 [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003, 76, TWG, 2004].

### **Agente limpiador**

Pueden generarse grandes cantidades de agentes limpiadores usados, especialmente en imprentas de grandes dimensiones, donde la mayoría de la limpieza se efectúa automáticamente. La cantidad estimada es de unas 100 kilotoneladas de agentes limpiadores al año en toda la industria gráfica offset de la UE [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

La planta virtual de secado por calor que se describe en el apartado 2.3.2.1 generó 46 litros de agua residual con un 50 % de disolventes con alto punto de ebullición por cada tonelada de tinta utilizada [18, UBA Alemania, 2003].

Los agentes limpiadores se reutilizan en gran medida y su eliminación como residuos peligrosos puede reducirse en un 50 % [4, Intergraf y EGF, 1999].

### **Trapos**

Los trapos utilizados para limpiar las prensas contienen disolventes orgánicos, tinta y, a veces, barnices. La cantidad suele variar con la longitud de las tiradas y, por tanto, con el número de cambios por año. La planta virtual de secado por calor que se describe en Tabla 2.5 y Tabla 2.6 utilizaba aproximadamente 200 trapos disolventes por tonelada de tinta, contaminados con una media de 10 g de tinta y 30 g de agentes limpiadores cada uno [18, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004].

### **Otros residuos**

Las planchas de impresión antiguas contienen metales, principalmente el aluminio, con trazas de otros metales, dependiendo de la antigüedad del equipo. Las mantillas también se tiran. Entre los residuos también puede haber filtros procedentes del sistema de filtrado de la disolución humectante y lámparas de UV usadas en el proceso de elaboración de las planchas. [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [76, TWG, 2004].

Los colores estándar de las tintas para offset pueden suministrarse en contenedores IBC reutilizables o en bidones metálicos normales de 200 litros.

## **2.3.2.3.3 Aguas residuales**

### **Disoluciones humectantes**

Durante la impresión, la disolución humectante queda contaminada con polvo de papel y pequeñas cantidades de tinta. Estas soluciones contienen AOX en concentraciones  $> 1$  mg AOX/l y pequeñas cantidades de metales, como el aluminio, el cobre, el cinc, el cobalto y el manganeso (estos dos últimos procedentes de los secantes), todo ello en concentraciones alrededor de 0,1 g/l. Normalmente estas disoluciones humectantes residuales se vierten, a menudo previo tratamiento [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003].

Los aditivos empleados en las disoluciones humectantes en concentraciones alrededor del 3 % pueden contener pequeñas cantidades de alguicidas. Las concentraciones normales de biocidas suelen estar entre el 0,1 y el 0,2 %, lo cual hace despreciable su concentración final en la disolución humectante [4, Intergraf y EGF, 1999].

Normalmente, las imprentas no están equipadas con instalaciones de tratamiento de aguas residuales y vierten directamente al alcantarillado municipal. Cuando no es posible verter al alcantarillado debido a los excesivos niveles de contaminación, existe la alternativa de tratarlos como residuos peligrosos [4, Intergraf y EGF, 1999].

### **Agentes limpiadores**

Los efluentes derivados de limpiar los rodillos humectadores usados en los procesos de impresión al agua no contienen prácticamente ningún contaminante. Pueden contener algunos detergentes, algunas sustancias que se puedan hallar en la disolución humectante y pequeñas cantidades de tinta. Estos efluentes no se suelen tratar, sino que se vierten directamente al alcantarillado municipal [4, Intergraf y EGF, 1999].

### **2.3.3 Impresión de embalajes flexibles - flexografía y huecograbado**

En las plantas de impresión de embalajes flexibles se emplea una o más de las siguientes técnicas:

- huecograbado de embalajes,
- flexografía,
- laminación,
- barnizado.

En todas ellas pueden utilizarse disolventes.

#### **2.3.3.1 Balance de masa - embalajes flexibles**

[18, UBA Alemania, 2003]

En 1999 se conocieron los resultados de un estudio realizado entre las imprentas alemanas de impresión de embalajes. Uno de los resultados del estudio permitió comparar los datos de rendimiento de las diferentes unidades de cada planta y utilizarlos para simular una planta virtual que cumpliera los requisitos legales, en concreto los de la directiva sobre emisiones de disolventes. En el siguiente apartado, se ofrece el balance de masa de una planta donde se aplican buenas prácticas, escogida del propio estudio, seguido de los datos de la planta virtual.

#### **Una planta con buenas prácticas**

En este apartado se relacionan los datos de una planta con buenas prácticas sacada de este estudio, así como los balances de masas de la planta virtual. Tal y como se ha explicado anteriormente, la planta virtual no existe en realidad, sino que se ha extrapolado a partir de unidades con un buen rendimiento de plantas reales. Cabe mencionar que los datos de la planta con buenas prácticas no difieren demasiado de los de la planta virtual. Los datos operativos de la planta con buenas prácticas son los siguientes:

- la planta funciona seis días a la semana en tres turnos. Dispone de tres unidades, cada una con tres prensas flexográficas con cilindro de impresión central y una anchura de bobina de 1,30 metros;
- el producto final son formularios impresos que se terminan después de la impresión y se entregan como un producto intermedio a los fabricantes de artículos de marca. Las operaciones de acabado no se realizan en esta planta;
- en dos unidades se aplican principalmente productos de base disolvente (a saber, tintas y agentes limpiadores) y, en una unidad, un 85 % de los productos utilizados son al agua;
- los disolventes para controlar la viscosidad de las tintas se canalizan directamente por tuberías hasta la unidad de entintado;
- para controlar las emisiones a la atmósfera, se dispone de un sistema catalítico de tratamiento de gases residuales con recuperación del calor. Los sistemas de extracción de las prensas de imprimir están equipados con técnicas de circulación del aire que se controlan midiendo la concentración de los disolventes;
- la limpieza de la unidad de entintado se efectúa en una máquina cerrada equipada con un sistema integrado de recuperación de disolventes;

- los efluentes de las actividades de limpieza se tratan aplicando ultrafiltración (para tintas al agua).

El balance de masa de la planta con buenas prácticas se muestra en Tabla 2.15.

ENTRADA	Cantidad	Unidad	Notas	SALIDA	Cantidad	Unidad	Notas
				Productos			
				Productos impresos intermedios	9700	t/a	Papel y tinta
Material				Residuos			
Sustrato de impresión	10 433	t/a		Papel/impresiones defectuosas	740	t/a	
Tintas de impresión; contenido de COV	576 189	t/a t/a	de las cuales aprox. ¼ son al agua	Residuos de tinta	41	t/a	Con aprox. 10,8 t de COV
Diluyentes (disolventes para ajustar la viscosidad)	316	t/a					
Agua para limpieza y dilución	666	m <sup>3</sup> /a		Mezcla de agentes limpiadores y agua	15	t/a	Con aprox. 9,8 t de COV
				Efluentes del proceso	545	m <sup>3</sup> /a	
Agua para refrigeración y aire acondicionado	51 866	m <sup>3</sup> /a					
Trapos	144 100	unidades/a		Trapos	144 100	Unidades/año	Con aprox. 2,5 t de COV
Total COV	505	t/a		COV en los residuos	23	t/a	
Energía				Gases de escape			
Energía total	3670	MWh/a		Caudal volumétrico	72,45 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup> /a	
Energía en forma de gas	350	MWh/a		COV en gases purificados	1,38	t/a	384 t/a de COV destruidos
Energía eléctrica	3320	MWh/a		NO <sub>x</sub> en gases purificados	4,70	t/a	
				CO en gases purificados	2,72	t/a	
				Fugitivas			
				COV fugitivos	96	t/a	aprox. 19 % de la entrada

Nota: [76, TWG, 2004]:

- en impresión flexográfica no es habitual que haya tres turnos y seis días de trabajo a la semana: las prensas no son demasiado caras. Sin embargo, sí que es común en las plantas de huecograbado de embalajes;
- una anchura de bobina de 130 cm es bastante mayor de lo normal;
- incineración catalítica: en la actualidad siempre es regenerativa;
- no es habitual tratar los efluentes mediante ultrafiltración: normalmente la cantidad de efluentes es insignificante.

**Tabla 2.15: balance de masa de una planta de impresión flexográfica con buenas prácticas [18, UBA Alemania, 2003, 76, TWG, 2004]**

Deben tenerse en cuenta los siguientes puntos del intercambio de información [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

- estos datos pueden indicar buenas prácticas para una planta y para determinados trabajos y condiciones, pero puede que no sean representativos del sector;
- residuos de tinta = 41 t/a con 10,8 t de disolventes = 26 %: no es tinta (la tinta lista para imprimir tiene un 80 % de disolvente), sino fangos de la destilación de los agentes limpiadores;
- 385,38 t/a en los gases residuales no tratados hacen una media de 5,3 g/Nm<sup>3</sup>. Este valor es demasiado elevado para los trabajos normales de flexografía y sólo se alcanzan cuando hay un alto grado de barnizado y laminación (que no es el caso en Tabla 2.15) con un ritmo elevado de recirculación del aire. Esto también implica que, en una parte importante de la impresión, se utiliza tinta blanca y, por lo tanto, no se imprime sobre papel;
- La media de COV presentes en el aire purificado es de 19 mg/Nm<sup>3</sup>, lo cual, expresado en mg de C es aproximadamente un 50 % inferior (unos 10 mg/Nm<sup>3</sup>) con un incinerador con una eficiencia > 99,5 %. En el sector, esta eficiencia se considera demasiado baja para ser realista. Sin embargo, se considera una buena práctica habitual en Alemania, donde las concentraciones brutas de gas son del orden de 1-8 g/Nm<sup>3</sup> y la concentración de salida inferior a 20 g/Nm<sup>3</sup>.

Debe tenerse en cuenta que, al comparar los datos correspondientes al consumo y las emisiones de esta planta con buenas prácticas con los de la planta virtual, también se incluyen todos los procesos auxiliares, con sus respectivos consumos y emisiones. Los datos calculados para la planta virtual son estimaciones del consumo y las emisiones de cada unidad específica por separado.

### Una planta virtual

Con el fin de reflejar objetivamente la franja de valores relativos al consumo y las emisiones producidos en la práctica, se describen dos formas de funcionar diferentes. Por un lado está la producción con tintas de base disolvente y, por otro, la producción combinada con tintas al agua y un barniz de base disolvente. Las plantas virtuales presentan las siguientes características, según se ilustra en Tabla 2.16:

<b>Máquinas de imprimir</b>	Planta de flexografía con cilindro de impresión central; ocho unidades de entintado, tamaño 127 x 100 cm, velocidad de bobina hasta aprox. 250 m/min
<b>Secadores</b>	Calentamiento indirecto del secador intermedio y el puente secador mediante aceite térmico, técnica de circulación del aire controlada a través de la concentración de los disolventes
<b>Procesos de acabado</b>	Devanadora de bobinas, cortadora transversal, rebobinadora
<b>Condiciones de producción</b>	Producción de 280 días/a, en tres turnos; 6525 h/a de funcionamiento con un 70 %* de tiempo de producción; en total 4560 h/a de impresión productiva
<b>Productos</b>	Envoltorios de papel de 70 g/m <sup>2</sup> <u>De base disolvente:</u> seis colores, cobertura de la superficie 155 %, en aplicación 4,98 g/m, velocidad de bobina 150 m/min. <u>Proceso combinado:</u> seis colores + barniz, cobertura de la superficie 255 %, aplicación de tinta 4,9 g/m <sup>2</sup> + barniz 2,5 g/m <sup>2</sup> , velocidad de bobina 150 m/min
* Nota: un 70 % de tiempo de impresión productiva es más de lo que se puede conseguir en la práctica. [76, TWG, 2004]	

**Tabla 2.16: maquinaria y condiciones de producción de las imprentas flexográficas virtuales [18, UBA Alemania, 2003]**

Los valores específicos correspondientes al consumo y a las emisiones dependen mucho de los productos elaborados y aumentan:

- a medida que disminuye el volumen impreso,
- a medida que aumenta el número de secuencias de cambio de colores,
- con la calidad de la impresión, o cuando las imágenes impresas son de gran dificultad,
- a medida que disminuye la calidad del papel,
- a medida que aumenta la superficie cubierta.

Se calculan los balances de masas de las plantas virtuales. En Tabla 2.17 y Tabla 2.18 se muestran los valores medios de consumo y emisiones de COV para una tonelada de tinta utilizada, así como los valores medios correspondientes a la entrada de material y la salida de residuos de las plantas virtuales. En la producción mediante huecogrado, los diluyentes añadidos (entrada de COV) y las correspondientes emisiones de COV procedentes de la tinta serían entre un 10 y un 20 % mayores. Estos valores son sólo promedios, por lo que, en la práctica, pueden experimentar una variación del +/- 20 % dependiendo de los parámetros antes mencionados.

1000 kg de tinta de impresión, con un contenido de 500 kg de COV	Paso del proceso	Salida
<sup>1</sup> 731 kg de diluyente (100 % COV)	Disolvente para ajustar la viscosidad [76, TWG, 2004]	
21 875 kg de papel	Proceso de impresión	160 kg de pérdidas por COV fugitivos 1900 kg de impresiones defectuosas/papel malgastado 90 kg de residuos de tinta
70 kg de agentes limpiadores (100 % COV) 120 trapos	Limpieza intermedia	45 kg de pérdidas por COV fugitivos 120 trapos con aprox. 1,4 kg de residuos de tinta + 3 kg de disolventes
	Secado de la tinta	1063 kg de COV en el aire extraído sin tratar <sup>2</sup> 6,80 g/m <sup>3</sup> de COV en 133 100 Nm <sup>3</sup> después de tratar
	Acabado	Papel de desecho
Entrada total de COV:  1301 kg		Salida total de COV:  205 kg fugitivos (16 % de la entrada) 1060 kg tratados aprox. 2-3 kg en los gases tratados aprox. 33 kg en los residuos
Nota: <sup>1</sup> El valor para los diluyentes es demasiado bajo: la tinta lista para imprimir tiene un 72 % de disolvente [76, TWG, 2004] <sup>2</sup> 6,80 g/m <sup>3</sup> de COV es demasiado alto para la flexografía, y probablemente incluye el laminado o el barnizado		

**Tabla 2.17: balance de COV y residuos para una imprenta flexográfica virtual de base disolvente [18, UBA Alemania, 2003]**



1000 kg de tinta de impresión *, con un contenido de 31 kg de COV	Paso del proceso	Salida
516 litros de agua 625 kg de barniz (con 156 kg de COV) 198 kg de diluyente (100 % COV)	Acondicionamiento de la tinta	
21 875 kg de papel	Proceso de impresión	58 kg de pérdidas por COV fugitivos 1900 kg de impresiones defectuosas/papel malgastado 140 kg de residuos de tinta
1200 l de agua 120 trapos	Limpieza intermedia	1200 l de efluentes, con aprox. 18 kg de DQO 120 trapos con aprox. 1,4 kg de residuos de tinta
	Secado de la tinta	323 kg de COV en el aire extraído sin tratar 1,38 g/m <sup>3</sup> de COV en 234 370 m <sup>3</sup> de aire a 69 °C después de tratar
	Acabado	Papel de desecho
Entrada total de COV:  385 kg		Salida total de COV:  58 kg fugitivos (15 % de la entrada) 320 kg tratados aprox. 3 kg en los gases tratados aprox. 4 kg en los residuos

\* Nota: la tinta parece ser al agua, pero no está claro [76, TWG, 2004]

**Tabla 2.18: balance de COV y residuos para una imprenta flexográfica virtual de proceso combinado**  
[18, UBA Alemania, 2003]

### 2.3.3.2 Consumos - embalajes flexibles

#### 2.3.3.2.1 Disolventes orgánicos

Tabla 2.19 muestra un repertorio de los disolventes orgánicos típicos que se utilizan en los procesos de impresión de embalajes, junto con su campo de aplicación. Tabla 2.20 muestra un resumen de los disolventes orgánicos típicos que se pueden encontrar en los procesos de impresión de embalajes en los que se aplican tintas al agua, adhesivos o barnices.

Disolvente	Presión de vapor (kPa)	Campo de aplicación
Acetato de etilo	9,2	Diluyente, agente limpiador
Etanol	5,9	Disolvente en tinta, agente limpiador
Mezclas de etanol y acetato de etilo		La mezcla depende del tiempo de secado necesario
Isopropanol	4,3	Disolvente en tinta, agente limpiador
Acetato de isopropilo	6,1	Corrector de la viscosidad
Metiletilcetona	10,5	Secante; a menudo usado como disolvente en adhesivos y algunos barnices
n-Butanol	1,2	Retardante
Metoxipropanol	1,1	Retardante
n-Propanol	2,5	Retardante
Etoxipropanol	0,65	Retardante
Ésteres varios		Plastificante

**Tabla 2.19: disolventes típicos utilizados en los procesos de impresión de embalajes de base disolvente**  
[18, UBA Alemania, 2003, 76, TWG, 2004]

Disolvente	Presión de vapor (kPa)	Campo de aplicación
Etanol	5,9	Disolvente en tinta, secante, agente limpiador
Isopropanol	4,3	Disolvente en tinta, agente limpiador
n-Propanol	2,5	Disolvente en tinta
Nafta especial	4,0-8,5	Agente limpiador (muy poco utilizado, ya que la mayoría de embalajes son para uso alimentario)
White spirit	0,15-1,0	Agente limpiador (muy poco utilizado, ya que la mayoría de embalajes son para uso alimentario)

**Tabla 2.20: disolventes típicos utilizados en los procesos de impresión de embalajes al agua [18, UBA Alemania, 2003]**

Además de los disolventes orgánicos que hay en las tintas comerciales, se usan importantes cantidades para diluirla (control de la viscosidad) y para diversas tareas de limpieza. Sobre todo en el ámbito del control de la viscosidad, los procesos del huecograbado y la flexografía presentan diferencias. Tabla 2.21 presenta los valores medios típicos del empleo de COV específicos.

Es importante destacar que la relación sólido/disolvente que hay en las tintas comerciales varía enormemente de una planta a otra. Esto es debido a que las tintas se entregan de acuerdo con las especificaciones del cliente. En un extremo, se entregan casi listas para imprimir, con un contenido de disolvente cercano al 75 % (en la prensa se realiza una pequeña dilución final). En el otro extremo tenemos las tintas que se entregan en forma de pasta, con un contenido de disolvente de aproximadamente el 30 %. Estas pastas se mezclan y se diluyen en el departamento de tintas para dejarlas casi listas para imprimir. También aquí se realiza una dilución final en la máquina. Asimismo, hace unos años, el porcentaje normal de disolvente en tinta de fábrica oscilaba entre el 50 y el 60 %, cosa que ya no ocurre. En la actualidad, en las plantas más grandes, las tintas se compran en forma de pasta y se diluyen en el propio taller [128, TWG, 2005]:

Proceso de impresión	COV utilizados (expresados en % de la tinta comprada en % en peso) en las siguientes áreas:						Total COV utilizados en % de la tinta comprada en % en peso	
	Tintas de impresión <sup>(1)</sup>		Diluyentes para las tintas		Agentes limpiadores			
	Media	Margen	Media	Margen	Media	Margen	Media	Margen
Huecograbado de base disolvente	60	40-70	101	70-120	17		178	127-207
Flexografía de base disolvente	60	45-75	81	50-95	14		155	109-184
Huecograbado al agua	5	0-20	2	0-5	10	0-15	17 <sup>(2)</sup>	0-40
Flexografía al agua	5	0-20	2	0-5	10	0-15	17 <sup>(2)</sup>	0-40

Notas: [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005]  
<sup>(1)</sup> las tintas listas para imprimir siempre contienen alrededor de un 80 % de disolventes. Una tinta adquirida con una mayor concentración de disolventes requerirá menos disolventes para diluirla (corrección de la viscosidad). Los promedios para las tintas de base disolvente son los siguientes: el huecograbado suele estar algo por encima del 80 % y en flexografía algo por debajo del 80 %.  
<sup>(2)</sup> el promedio del 17 % para las tintas al agua es demasiado alto.

**Tabla 2.21: uso de COV específicos en procesos de impresión de embalajes [18, UBA Alemania, 2003]**

Tabla 2.21 muestra, por ejemplo, que en un proceso de huecograbado de base disolvente, se utiliza una media de 1,78 kg de COV por kg de tinta comprada para la producción y procesos auxiliares de la planta. En este ejemplo, el margen sería de 1,27 a 2,07 kg de COV por kg de tinta comprada.

La recuperación local de los disolventes sólo sirve en el caso de los agentes limpiadores, pero permite reducir la cantidad de agentes limpiadores que se tienen que comprar. Esto significa que, en lo que se refiere al uso de COV específicos por kg de tinta, según se menciona en Tabla 2.21, los datos correspondientes a la columna «agentes limpiadores» se reducirían en un 50 % aproximadamente.

### 2.3.3.2.2 Tintas de impresión y barnices

[18, UBA Alemania, 2003] [4, Intergraf y EGF, 1999] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [22, Vito, 1998, 128, TWG, 2005]

#### Tipos de tintas utilizadas - de base disolvente

Los disolventes más habituales en la impresión de embalajes de base disolvente son el etanol y el acetato de etilo. Asimismo, las imprentas de flexografía utilizan isopropanol, n-propanol, metoxipropanol y etoxipropanol, y las plantas de huecograbado también utilizan metiletilcetona, acetato de i-propilo y acetato de n-propilo. La elección del disolvente utilizado para la tinta depende del sustrato de impresión.

Durante la impresión, la viscosidad de la tinta se ajusta según las necesidades, o se mantiene en su nivel actual añadiendo disolventes compatibles. Las nuevas mezclas de tinta se hacen siempre un poco más viscosas de lo necesario para realizar la corrección exacta en la prensa.

Las tintas para flexografía pueden ser de base disolvente o al agua. Las tintas para huecograbado casi siempre son de base disolvente en detrimento de las tintas al agua, que rara vez se usan. Tabla 2.22 muestra una composición media de una receta básica para tintas de base disolvente. La concentración de disolventes de la tinta varía, ver apartado 2.3.3.2 más arriba. Las tintas listas para imprimir contienen alrededor de un 80 % de disolvente y un 20 % de sólidos. Los barnices también contienen cerca de un 80 % de disolventes [76, TWG, 2004][128, TWG, 2005]

Componente	Contenido	Concentración (% en peso)
Ligante:		
- componente disolvente	Disolventes de secado normal: por ejemplo, etanol, n-propanol, isopropanol	60-80
	Disolventes de secado rápido: por ejemplo, acetato de etilo, acetato de i- o n-propilo, metiletilcetona, naftas	
	Disolventes de secado lento: por ejemplo, metoxipropanol o etoxipropanol	
- componente ligante	Derivados de la celulosa (por ejemplo, la nitrocelulosa), butiratos de polivinilo, PVC y poliamidas	10-2
Colorantes	Pigmentos inorgánicos y/u orgánicos	10-5
Agentes colorantes auxiliares	por ejemplo, ablandadores, parafinas, agentes deslizantes y EDTA (ya no se utiliza en Alemania)	1-6
Propiedades físicas: contenido de sólidos: 25-40 %; poder calorífico neto: > 20 MJkg; punto de inflamación < 21 °C		

Tabla 2.22: receta básica media para las tintas flexográficas de base disolvente [18, UBA Alemania, 2003] [54, BMLFUW Austria, 2003]

En Tabla 2.23 se muestra una formula típica para una tinta de flexografía que se imprimirá sobre papel y, en Tabla 2.24, se muestra una formula típica para una tinta sin hidrocarburos disolventes, también para papel.

Componente	Concentración (% en peso)
Pigmento	20
Barniz de resina maleica	16
Barniz de nitrocelulosa	38
Parafina	4
Plastificante	4
Etanol	11
Acetato de isopropilo	7

Tabla 2.23: tinta típica de flexografía para papel, según las características de fábrica [4, Intergraf y EGF, 1999]

Componente	Concentración (% en peso)
Pigmento orgánico	12
Resina de poliamida soluble en alcohol	22
Nitrocelulosa (peso en seco)	4
Parafina	4
Aminas de ácidos grasos	1
Etanol	29
Alcohol n-propílico	18
Acetato de n-propilo	10

Tabla 2.24: tinta típica de flexografía sin hidrocarburos disolventes para papel, según las características de fábrica [4, Intergraf y EGF, 1999]

Las tintas de flexografía para sustratos plásticos y láminas metálicas difieren considerablemente de las tintas que se utilizan para papel. Los disolventes utilizados han ido cambiando con el tiempo, en parte debido a las exigencias y normativas relativas a los embalajes de uso alimentario. Los disolventes aromáticos para tintas han sido sustituidos por el etanol y el acetato de etilo, o la metiletilcetona en el caso de los adhesivos y los barnices [4, Intergraf y EGF, 1999] [143, EC, 2002/4]

Además de la receta general básica que se explica en Tabla 2.22, hay otros ejemplos de tintas que se emplean habitualmente en el huecograbado. Uno de ellos se explica en Tabla 2.25. Como es lógico, la formulación de la tinta puede variar mucho dependiendo del sustrato de impresión, los parámetros de la prensa y el uso final del producto acabado.

Componente	Concentración (% en peso)
Pigmento	4-12
Pigmentos extendedores	0-8
Resina	10-30
Plastificante/parafina/aditivos	2-10
Disolventes	40-60

Tabla 2.25: receta típica de una tinta para huecograbado, según las características de fábrica [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004]

En general, la elección del disolvente depende de muchos factores, como la necesidad de evitar que el disolvente ataque una película o un revestimiento, y de asegurarse de que quede la menor cantidad posible de disolvente en el producto, sobre todo en lo que se refiere a embalajes para uso alimentario. Sólo en contadas ocasiones se hace necesario recurrir a otros disolventes que no sean el etanol, el acetato de etilo o mezclas de ambos. Ocasionalmente podemos encontrar metiletilcetona, acetona, tolueno (embalajes para uso médico) o isopropanol (productos de papel para usos no alimentarios) [4, Intergraf y EGF, 1999, 128, TWG, 2005]:

**Tipos de tintas utilizadas - al agua**

Tabla 2.26 muestra la composición media de una receta básica para tintas al agua utilizadas en el huecograbado. En el caso de las tintas al agua, la concentración de agua que hay en las tintas comerciales oscila normalmente entre el 50 y el 60 %. Como ligantes se usan principalmente dispersiones acuosas, como el copolímero de acrilato-estireno. Según el fin y las resistencias deseadas, para modificarlas se emplean resinas ácidas, que pasan a ser solubles por saponificación con sustancias alcalinas (amoníaco o aminas). Durante el proceso de secado, las aminas o el amoníaco se evaporan y las resinas ligantes vuelven a ser insolubles en agua [18, UBA Alemania, 2003].

Se añaden etanol e isopropanol como aditivos de secado en concentraciones bajas, mayoritariamente por debajo del 5 %. Solamente en casos en que se necesitan velocidades de secado muy especiales, por ejemplo, en papeles muy delgados, el porcentaje puede llegar al 25 % [18, UBA Alemania, 2003].

En la mayoría de los casos, las recetas contienen aditivos, como antiespumantes, humectantes y biocidas. La dilución se puede hacer con agua [18, UBA Alemania, 2003].

Componente	Contenido	Concentración (% en peso)
Ligante:		
- componente disolvente acuoso	Agua	50-75
- componente disolvente orgánico	Alcoholes (por ejemplo, etanol, isopropanol)	0-13
- otros componentes ligantes	por ejemplo, resinas de acrilato y de poliéster, o acetato de polivinilo	10 - 20
- otros componentes ligantes	Amoníaco, aminoácidos	1-5
Pigmentos	Pigmentos inorgánicos y/u orgánicos	10-20
Agentes colorantes auxiliares	por ejemplo, parafinas, (en Alemania no se usan ablandadores ni complejantes)	1-5
	Saponificadores	1-5
Propiedades físicas: contenido de sólidos: 25-40 %; poder calorífico neto: > 10 MJkg; pH aprox.: 8		

**Tabla 2.26: receta básica media para las tintas de huecograbado al agua [18, UBA Alemania, 2003] [54, BMLFUW Austria, 2003] [76, TWG, 2004]**

Una receta típica de tinta de huecograbado al agua para papel estucado podría ser la que se indica en Tabla 2.27:

Componente	Concentración (% en peso)
Resina acrílica	32
Agua	30
Pigmento	15
Polímero acrílico de fase dispersa	15
Álcali	2
Antiespumante	1
Isopropanol	3
Dispersante de parafina	2

**Tabla 2.27:** receta típica de una tinta de huecograbado al agua para papel estucado, según las características de fábrica

[4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003, 128, TWG, 2005]

En Tabla 2.28 se expone una tinta de flexografía al agua típica y con buen rendimiento, utilizada para imprimir sobre papel y cartón:

Componente	Concentración (% en peso)
Emulsión acrílica	50
Agua	20
Pigmento	25
Etilamina	2
Cera de polietileno	3
Antiespumante orgánico	< 1

**Tabla 2.28:** receta típica de una tinta de flexografía al agua para papel y cartón, según las características de fábrica

[4, Intergraf y EGF, 1999]

Las tintas al agua para imprimir sobre polietileno y polipropileno tendrían normalmente un mayor contenido de polímeros acrílicos dispersos (un 40 %) y porcentajes mucho menores de resinas acrílicas (un 5-10 %).

Los cartones van casi siempre barnizados y cada vez más con barnices de sobreimpresión al agua. Un barniz al agua resistente al termosellado, compatible con el retractilado, podría tener la fórmula que se ilustra en Tabla 2.29:

Componente	Concentración (% en peso)
Resina acrílica dura	15
Isopropanol	20
Agua	15
Emulsión acrílica	35
Hidróxido amónico o amina	2
Emulsión de parafina	5
Dispersión de parafina	5
Desmoldante	2
Antiespumante	1

**Tabla 2.29:** barniz al agua típico para cartones en procesos de impresión por huecograbado

[4, Intergraf y EGF, 1999]



**Tipos de tintas utilizadas - UV**

Las tintas UV se utilizan cada vez más en la flexografía. Estas tintas están formadas por ligantes, aditivos, fotoiniciadores y los colorantes, que son todos materiales sólidos sin disolventes. El secado o, más correctamente, curado se produce como consecuencia de la reticulación o polimerización de la película impresa al exponer la superficie a luz ultravioleta de onda corta.

**Cantidades de tintas utilizadas**

La cantidad de disolvente y de tinta al agua que se utiliza depende en gran medida del color de la tinta y no tanto del sustrato o método de impresión. Tabla 2.30 muestra algunos promedios.

Colores	Aplicación de la tinta (cobertura completa teórica) (g/m <sup>2</sup> )
Blanco	1,5-2,0
Colores suplementarios	1,0-1,5
Semitonos	0,5-1,0

**Tabla 2.30: valores medios de aplicación de la tinta**

La superficie cubierta de tinta, especialmente en los embalajes flexibles, está determinada por muchos factores, que define el cliente, como son:

- la calidad de la imagen que se quiere imprimir y el tipo de sustrato de impresión;
- la necesidad de evitar que entre la luz en el interior del producto (normalmente en usos alimentarios);
- la necesidad de crear una barrera hermética y de evitar el paso de los olores;
- para los materiales que son difíciles de humedecer (por ejemplo, las láminas metálicas), se aplica una imprimación que actúa como adhesivo en la primera tirada;
- para mejorar el efecto de los colores sobre plásticos transparentes o láminas metálicas, primero se pinta la superficie con un blanco mate antes de aplicar los colores definitivos;
- para mejorar las características de la superficie una vez aplicados los colores, por ejemplo, la resistencia a la abrasión o a los rayos ultravioleta, en la última etapa del trabajo de impresión se aplica un barniz a toda la superficie.

Por ejemplo, en el cartón corrugado, la superficie cubierta de tinta suele ser < 20 %, mientras que en los productos de consumo de alta calidad (por ejemplo, envases de chocolate) se llega a una cobertura de la superficie de > 400 % utilizando una serie de revestimientos. Las denominadas «tintas planas» alcanzan una cobertura del 100 % para las tintas blancas sobre plástico, y también los barnices y adhesivos influyen mucho en la superficie total cubierta [76, TWG, 2004].

**2.3.3.2.3 Agentes limpiadores**

Para limpiar las prensas, se usan mayoritariamente los mismos disolventes que para las tintas. Las plantas que utilizan tintas al agua se suelen limpiar con agua, en parte con mezclas de sustancias alcalinas, como el bicarbonato sódico, y tensioactivos. También se usan mezclas de agua con disolventes orgánicos solubles en agua. Para eliminar los restos secos de tinta de las cavidades de los cilindros de huecogrado y de los rodillos reguladores de tinta, se pueden utilizar aparatos ultrasónicos u otras técnicas de limpieza sin disolventes. Para los rodillos reguladores de tinta también se utiliza agua a presión [18, UBA Alemania, 2003] [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

**2.3.3.2.4 Adhesivos en la laminación**

Tradicionalmente, la mayoría del laminado se hacía con sistemas de base disolvente. Estos adhesivos tienen unos buenos niveles de brillo y adherencia. Los barnices listos para aplicar contenían cerca del 80 % de disolventes. Una alternativa a los sistemas de base disolvente son sistemas a base de epoxi o uretano, en los que se hacen reaccionar dos componentes para crear una película muy resistente. Es necesario mezclar los dos componentes, pero no se generan emisiones de disolventes. También se aplican adhesivos sin disolventes o adhesivos de laminación con curado por UV. Pueden utilizarse adhesivos al agua cuando se necesita adherir el papel a una lámina de plástico o aluminio. El agua se evapora a través del papel. Los adhesivos al agua son los menos utilizados [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

**2.3.3.2.5 Energía y recursos**

**Energía**

El consumo específico de energía de la planta de flexografía con buenas prácticas que se describe en el apartado 2.3.3.1 es de 0,4 MWh por tonelada de producto. Debe tenerse en cuenta que esta planta con buenas prácticas está equipada con un sistema de tratamiento de gases residuales con recuperación del calor [76, TWG, 2004].

El balance energético, para 1 tonelada de tinta, de la planta virtual de flexografía de base disolvente que se describe en Tabla 2.16 se expone en Tabla 2.31.

Entrada respecto de 1000 kg de tinta	Paso del proceso	Salida
<i>Incluido en el proceso de impresión</i>	Acondicionamiento de la tinta	
3185 kWh de los motores eléctricos 1010 kWh de la refrigeración eléctrica 580 kWh eléctricos para aire comprimido	Proceso de impresión	
<i>Incluido en el proceso de impresión</i>	Limpieza intermedia	
2800 kWh en aceite térmico (aprox. 51 % secadores intermedios y 49 % secadores finales o puentes secadores)  985 kWh de ventiladores eléctricos	Secado de la tinta	
<i>Incluido en el proceso de impresión</i>	Acabado	
350 kWh de ventiladores eléctricos	Tratamiento de gases residuales	5785 kWh térmicos de recuperación de energía
Entrada total: 8910 kWh 6110 kWh eléctricos 2800 kWh térmicos		2985 kWh de aporte térmico neto  Salida total: 5785 kWh térmicos

**Tabla 2.31: balance energético de la planta virtual de flexografía de base disolvente [18, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004]**

El balance energético de la planta virtual de flexografía de proceso combinado que se describe en Tabla 2.16, para 1 tonelada de tinta, se expone en Tabla 2.32 [76, TWG, 2004].

Entrada respecto de 1000 kg de tinta	Paso del proceso	Salida
<i>Incluido en el proceso de impresión</i>	Acondicionamiento de la tinta	
3180 kWh de los motores eléctricos 1010 kWh de la refrigeración eléctrica 580 kWh eléctricos para aire comprimido	Proceso de impresión	
<i>Incluido en el proceso de impresión</i>	Limpieza intermedia	
5500 kWh en aceite térmico (aprox. 42 % secadores intermedios y 58 % puentes secadores) 980 kWh de ventiladores eléctricos	Secado de la tinta	
<i>Incluido en el proceso de impresión</i>	Acabado	
1300 kWh térmicos 350 kWh de ventiladores eléctricos	Tratamiento de gases residuales	0
Entrada total: 13 000 kWh 6200 kWh eléctricos 6800 kWh térmicos		Salida total: 0

**Tabla 2.32: balance energético de la planta virtual de flexografía de proceso combinado [18, UBA Alemania, 2003]**

Las tintas al agua y UV necesitan más energía para secarse que las tintas de base disolvente. Las tintas UV necesitan luz ultravioleta para secarse y unos equipos especiales en la prensa. Debido a que la gran cantidad de energía suministrada se transforma en calor en las lámparas, hacen falta también grandes instalaciones de refrigeración [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998]. Para las tintas al agua, a menudo se observa un incremento de consumo energético de los secadores de un 10 % aproximadamente [4, Intergraf y EGF, 1999].

### 2.3.3.3 Emisiones - embalajes flexibles

#### 2.3.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

Las emisiones de COVNM en la UE-25 para 2000 (según el modelo RAINS) fueron de 127,56 kt, lo cual representa un 1,2 % del total. El total de la actividad fue de 91,69 kt de tintas no diluidas y un promedio de emisiones de 1,4 kg de COVNM/kg de tinta no diluida [131, EGTEI, 2005]:

El balance de masa que se expone en Tabla 2.15, indica que, para una planta de flexografía, las emisiones fugitivas de COV pueden alcanzar un 19 % de la entrada de disolventes, aunque el método de medición no queda claro. Para las plantas virtuales que se describen en Tabla 2.17 y Tabla 2.18, se calcula que pueden alcanzarse unas emisiones fugitivas del 16 % y el 15 % respectivamente, considerando una planta que funciona con un 100 % de tintas de base disolvente [18, UBA Alemania, 2003].

En cuanto al huecograbado de embalajes, se pueden alcanzar unas emisiones totales del 10 % de la entrada total (fugitivas y emisiones postratamiento). Sin embargo, para ello son necesarias mayores medidas de reducción de las emisiones.

Un informe reciente [127, VROM, 2004] demuestra que las emisiones de COV procedentes de las imprentas de embalajes flexibles que aplican buenas prácticas serían del orden del 7,5 al 12,5 % de las emisiones de referencia (calculadas de acuerdo con el SED [123, EC, 1999]). Las plantas más antiguas que sólo tienen conectadas las fuentes de COV más concentradas al sistema de tratamiento de gases residuales llegan a un 10-25 % de las emisiones de referencia. Sin embargo, se obtienen valores más bajos cuando se utilizan en mayor medida productos sin disolventes. De manera parecida, algunas plantas sin equipos de reducción de las emisiones

pueden alcanzar menos del 25 % de las emisiones de referencia, pero, a causa de ello, no muchas de las plantas utilizan más de 200 toneladas de disolventes al año.

En total, se detectaron 29 fuentes de emisiones diferentes. Entre ellas se incluyen no sólo las fuentes de emisiones fugitivas, sino también algunas fuentes de emisiones de gases residuales. Las fuentes de emisiones se clasificaron en cuatro grupos: sala de prensas (P), incineración (O, de oxidación), limpieza (L) y preparación de las tintas (T).

Tabla 2.33, a continuación, ofrece, para diversas fuentes, un valor típico de las emisiones, las posibles medidas de reducción para esta fuente y un valor típico de las emisiones después de aplicar dichas medidas de reducción. Nota:

- los valores típicos de las emisiones sirven para dar una idea de la magnitud. Las emisiones están expresadas en un tanto por ciento del consumo de disolventes de la planta. Los valores reales de las emisiones pueden variar bastante;
- «n.a.» significa que no se puede dar un valor típico de las emisiones. Las emisiones procedentes de fuentes como «defectos en derivaciones» o «productos al agua con contenido de disolventes» lógicamente pueden variar mucho de una planta a otra;
- «muy pequeñas» significa que el total de emisiones procedentes de fuentes «muy pequeñas» puede ser inferior al 1 % del consumo de disolventes;
- «despreciable» significa que las emisiones son cero o tienen una magnitud inferior a las emisiones «pequeñas». Su volumen total es inferior que el margen de error de las emisiones más grandes.

Grupo	Actividad o fuente	Emisiones típicas	Posibles medidas de reducción	Tras la reducción
P	Evaporación desde las fuentes de tinta durante la producción	5 %	1. Cobertura adecuada de las fuentes de tinta 2. Usar sistema de rasquetas con sujeción 3. Encapsular las unidades de barnizado o laminación 4. Usar adhesivos con un menor contenido de disolventes (ver técnicas correspondientes en el apartado 2.4.2) 5. Extraer del suelo mediante secadores 6. Extraer del suelo y enviar al incinerador (ver apartado 2.4.2.5.2)	2,5 %
	Evaporación desde las unidades abiertas de corrección de la viscosidad	Muy pequeñas	Ninguna	Muy pequeñas
	Fugas de los secadores a través de defectos o una presión superior a la atmosférica	n.a.	Correcto uso y mantenimiento, comprobaciones periódicas (ver apartado 20.11.1.2)	Despreciable
	Defectos en la derivación de los secadores (los gases residuales se emiten a la atmósfera en lugar de enviarse al incinerador)	n.a.	Dar prioridad, correcto uso y mantenimiento, comprobaciones periódicas, instrucciones para funcionamiento manual si es posible, reparación más rápida (ver apartado 20.11.1.2)	n.a.
	Emisiones de gases residuales desde las prensas cuando están llenas de tinta, pero aún no están imprimiendo	Despreciable	Ninguna	Despreciable
	Emisiones de gases residuales desde las prensas cuando están imprimiendo a mínima velocidad	0,1 %	Ninguna	0,1 %
	Emisiones de gases residuales desde las prensas en el caso de defectos de la maquinaria de producción	Muy pequeñas	Ninguna	Muy pequeñas

Grupo	Actividad o fuente	Emisiones típicas	Posibles medidas de reducción	Tras la reducción
	Emisiones de gases residuales desde las prensas cuando están imprimiendo a velocidad de puesta a punto. (de 30 a 60 m/min)	3-8 %	Cerrar automáticamente la derivación antes de alcanzar la velocidad de puesta a punto (ver apartado 2.4.2.5.5)	Despreciable
	Limpieza de los suelos	1 %	1. Evitar que se ensucien 2. Usar trapos que se puedan escurrir 3. No usar productos limpiadores volátiles (ver apartados 20.9 y 20.10.1)	Muy pequeñas
	Evaporación desde bidones abiertos	Despreciable	Mantenerlos cerrados siempre que sea posible (ver apartado 20.2.2.1)	Despreciable
	Disolventes residuales en materiales impresos que son embalajes para uso alimentario	Muy pequeñas	Ninguna	Muy pequeñas
	Disolventes residuales en materiales impresos que no son embalajes para uso alimentario	3-10 %	Mejorar el secado	0,1 %
<b>O</b>	Emisiones del incinerador	0,5-1,5 %	(Pueden aumentar si se envía al incinerador más caudal de aire cargado con disolventes)	0,5-1,5 %
	Defectos en el incinerador que provocan que los gases residuales se escapen a la atmósfera	n.a. (0,4 % de la entrada por día que dura el defecto)	Alta prioridad: correcto uso y mantenimiento, comprobaciones periódicas, instrucciones para funcionamiento manual si es posible, reparación más rápida (ver apartado 2.4.2.5.2) Equipar con técnicas informáticas, conectarse con el proveedor (ver apartado 20.2.3)	Muy pequeñas
	El uso de tintas, barnices y adhesivos de base disolvente en máquinas no conectadas al incinerador	n.a.	Conectar al incinerador cuando el incinerador tenga suficiente capacidad (ver apartado 20.11.1.4)	n.a.
	El uso de tintas, barnices y adhesivos de base disolvente en secadores no conectados al incinerador	n.a.	No utilizar estos secadores para las tintas de base disolvente Conectar al incinerador cuando el incinerador tenga suficiente capacidad (ver apartado 20.11.1.4)	n.a.
	Contenido de disolvente en productos al agua (tintas que contienen aprox. 5 % de disolvente; los barnices y los adhesivos pueden ser sin disolventes)	n.a.	Prioridad: Usar productos al agua con el mínimo contenido de disolvente posible. O, si no: ninguno (ver técnicas correspondientes en el apartado 2.4.2)	n.a.
<b>L</b>	Proceso de secado y ventilación en máquinas de lavado automáticas que usan disolventes	5 %	1. Ventilación al incinerador (apartado 2.4.2.5.2) 2. No usar productos limpiadores volátiles (ver apartados 20.9 y 20.10.1)	Despreciable
	Evaporación durante las operaciones manuales de limpieza	1 %	1. Intentar evitar las evaporaciones innecesarias 2. No limpiar ni secar manualmente después de una limpieza automática 3. Usa la máquina de limpieza automática siempre que sea posible 4. No usar productos limpiadores volátiles siempre que sea posible 5. En la imprenta, evitar en la medida de lo posible la contaminación de objetos que no se puedan limpiar con la máquina 6. Limpiar en profundidad los rodillos reguladores de tinta y los cilindros utilizando métodos sin disolventes (ver apartados 20.9 y 20.10.1)	0,5 %

Grupo	Actividad o fuente	Emisiones típicas	Posibles medidas de reducción	Tras la reducción
	Limpiar y secar manualmente después de una limpieza automática	Incluido	Ver limpieza manual (ver los apartados 20.9 y 20.10.1)	Incluido
	Limpieza con máquinas que no sean las automáticas	Incluido	Ver limpieza manual (ver los apartados 20.9 y 20.10.1)	Incluido
	Limpieza de los suelos	Incluido	1. Evitar que se ensucien 2. Usar trapos escurribles 3. No usar productos limpiadores volátiles (ver apartados 20.9 y 20.10.1)	Incluido
	Evaporación desde bidones abiertos (disolvente, residuos, etc.)	Incluido	Mantener cerrados	Incluido
T	Evaporación al mezclar las tintas	Muy pequeñas	Sistemas automáticos de mezclado, bidones cerca de los inyectores, cerrar los bidones rápidamente después de llenarlos (ver apartados 20.2.3 y 20.2.2.1)	Muy pequeñas
	Evaporación al realizar pruebas de color	Despreciable	Ninguna	Despreciable
	Limpieza de los suelos y de otro tipo	1 %	1. Evitar que se ensucien 2. Usar trapos que se puedan escurrir 3. No usar productos limpiadores volátiles (ver apartados 20.9 y 20.10.1)	0,5 %
	Pérdidas por evaporación de los depósitos	Despreciable	Ninguna	Despreciable
	Evaporación desde bidones abiertos	Muy pequeñas	Mantener cerrados (ver apartado 20.2.2.1)	Muy pequeñas

**Tabla 2.33: reducción de las emisiones fugitivas procedentes de la impresión de embalajes flexibles [127, VROM, 2004]**

Las emisiones causadas por defectos en los secadores, derivaciones o en el propio incinerador pueden ser considerables. Lo mismo se puede decir de las máquinas y secadores que no están conectados al incinerador y el contenido de disolvente de las tintas al agua. No se tienen valores sobre las emisiones típicas, pero el total de las emisiones procedentes de estas fuentes puede llegar a ser fácilmente un porcentaje importante del consumo anual de disolventes.

Puede verse que el total de emisiones procedentes de otras fuentes puede variar enormemente. Si no se aplica ninguna de las medidas de reducción mencionadas en Tabla 2.33, este total puede sobrepasar claramente el 25 % del consumo de disolventes. Si se aplican todas las medidas de reducción posibles, el total de estas emisiones puede reducirse fácilmente al 10 % del consumo de disolventes.

Si no se controlan las emisiones debidas a defectos y al contenido de disolvente de las tintas al agua, el total de emisiones estará entre el 30 y el 10 % en la mayor parte de las plantas.

Con el fin de conseguir mantener el total de emisiones por debajo del 10 % del consumo de disolventes, es necesario tomar todas o la mayoría de las siguientes medidas:

- evitar defectos en el incinerador, las derivaciones, los secadores, etc. (ver apartado 20.11.1.2);
- enviar los gases residuales de los secadores hacia el incinerador tanto automáticamente como antes de alcanzar la velocidad de puesta a punto de la prensa (ver apartado 2.4.2.5.5);
- conectar la salida de la ventilación de las máquinas de limpieza automática al incinerador (ver apartado 2.4.2.5.2);
- reducir las emisiones debidas a la evaporación de las fuentes de tinta durante la producción (ver apartado 2.4.2.5.2);

- evitar utilizar productos de base disolvente en las máquinas que no estén conectadas a los equipos de reducción de las emisiones;
- reducir los disolventes residuales en el material impreso que no sea para embalajes de uso alimentario;
- reducir el uso de disolventes volátiles para limpiar los suelos (ver apartados 20.9 y 20.10.1).

### Tintas

Para las tintas al agua, son de esperar unas emisiones del 0,5-1,0 % de amoníaco por kg de entrada de tinta. De media, las tintas al agua contienen de un 0 a un 10 % de disolventes orgánicos (etanol o IPA) que, al final, se emitirán al medio [18, UBA Alemania, 2003].

Las tintas de secado por UV no generan emisiones a la atmósfera.

### Laminación y barnizado

Cuando se utilizan materiales de base disolvente, las emisiones de estos procesos son mayores que las de la impresión. Con adhesivos de base disolvente, tiene que hacerse pasar una gran cantidad de aire por el secador para mantener la relación disolvente/aire muy por debajo del límite inferior de explosividad (LIE) [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

Cada vez se usan más los adhesivos sin disolventes de 2 componentes y barnices al agua para la laminación de láminas de plástico y el barnizado del aluminio, respectivamente. Los adhesivos al agua se usan a menudo para adherir el papel al aluminio. La mayoría de las tintas al agua todavía contienen algo de disolvente, pero los adhesivos y barnices al agua son generalmente sin disolventes.

### Limpieza

Las emisiones fugitivas de disolventes proceden de la limpieza, aunque la cantidad depende de cómo se manipulen.

### Tratamiento de gases residuales

Los incineradores regenerativos modernos son capaces de funcionar sin añadirles combustible (operación autotérmica) cuando la concentración de disolventes en el aire a tratar es  $> 1 \text{ g/m}^3$ . Con concentraciones mayores, el incinerador puede generar un exceso de calor, que puede recuperarse y reutilizarse en los procesos de producción. En las plantas de flexografía y huecograbado de embalajes en las que se ha optimizado la conducción del aire y una gran parte del trabajo se realiza con una cobertura del 100 % (como tinta blanca, adhesivos y barnices), se pueden alcanzar concentraciones de 4 a  $6 \text{ g/m}^3$ . En caso contrario, se pueden encontrar concentraciones más bajas [76, TWG, 2004].

Con la incineración, se pueden alcanzar niveles de emisión  $< 100 \text{ C/Nm}^3$  y, a menudo, niveles de  $20\text{-}50 \text{ C/Nm}^3$  (ver apartado 20.11.4.2 [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005]).

La técnica de la adsorción también se utiliza, aunque en menor medida (ver apartado 20.11.6). La adsorción es capaz de alcanzar una eficiencia del 99 % en el huecograbado de publicaciones (ver apartado 2.3.4.3), aunque no es lo habitual, ya que requiere un gran aporte de energía para regenerar el adsorbente. En los gases limpios se alcanzan concentraciones de  $< 20 \text{ mg/m}^3$ . La desorción térmica genera unos  $3\text{-}6 \text{ m}^3$  por kg de disolvente recuperado. En el caso de los embalajes flexibles, también se utiliza la recuperación de los disolventes por adsorción con carbón activo. Sólo es frecuente en Italia. Cuando se utiliza la recuperación del disolvente, el consumo de disolventes está limitado técnicamente al acetato de etilo, para reducir las dimensiones de la unidad de adsorción, los problemas de deshidratación y las probabilidades de que se produzcan mezclas azeotrópicas del acetato de etilo con el etanol y la metiletiletona. La desorción térmica se ha ido abandonando en la impresión de embalajes flexibles, y ahora es más frecuente utilizar la desorción con gas inerte. Los coeficientes de recuperación son normalmente del 95 al 95,5 %, con una concentración en los gases residuales de 50 a  $150 \text{ mgC/m}^3$ . [14, DFIU e IFARE, 2002] [4, Intergraf y EGF, 1999, 128, TWG, 2005]



### 2.3.3.3.2 Residuos

[128, TWG, 2005]

#### **Sustrato de impresión**

Se malgasta sustrato de impresión cada vez que se empieza un nuevo trabajo de impresión, o también cuando las impresiones salen mal por culpa de algún defecto o al recortar el borde de la bobina impresa. La cantidad depende del producto producido, pero suele llegar al 10 % del producto final en peso [18, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004].

#### **Tinta**

Las pérdidas de tinta se producen por tres causas [4, Intergraf y EGF, 1999]:

- siempre se prepara tinta de más para evitar que las prensas se queden sin tinta;
- la tinta que se suministra a la unidad de entintado y que no se utiliza se almacena y luego se vuelve a utilizar cuando se tiene que realizar un trabajo similar para el mismo cliente. La mayoría de las plantas cuentan con un gran stock de estas tintas preparadas, esperando que llegue un encargo similar. Sin embargo, periódicamente se van eliminando las tintas que se considera que no se van a volver a usar;
- al mezclar las tintas, a veces se obtiene un color que no es el adecuado. Para corregir el error, se tiene que añadir más tinta y, en consecuencia, se acaba preparando demasiada.

Las tintas sobrantes se eliminan como residuos o se diluyen en el propio taller. A continuación, se recupera el disolvente que contienen y se reutiliza para limpiar. Los fangos de tinta se eliminan como residuos.

Sin embargo, la práctica moderna, que utiliza sistemas informáticos de ajuste del color, permite obtener los tonos adecuados a la primera, lo cual permite a su vez ahorrar tinta y minimizar la tinta sobrante, al poderla utilizar de nuevo para colores ligeramente diferentes (ver apartado 20.6.3.6). Cuando no se utilizan sistemas informáticos para mezclar los colores, se suele desperdiciar entre un 10 y un 20 % de la tinta original. Cuando sí que se utilizan, la cantidad de tinta malgastada se reduce entre un 25 y un 75 % [18, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004].

#### **Limpieza**

La limpieza intermedia da lugar a trapos sucios que contienen disolventes, mezclas sucias de agua y disolvente, y residuos de tinta. Cuando se destilan los agentes limpiadores, los residuos resultantes, es decir, los fangos de tinta, son menos abundantes que cuando se utiliza la recuperación [18, UBA Alemania, 2003].

Cuando la limpieza se realiza sin disolventes, el agua residual puede tratarse y verterse al alcantarillado. Las soluciones de limpieza con disolventes normalmente se tratan como residuos peligrosos [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

Los agentes limpiadores se pueden recuperar perfectamente por destilación.

#### **Otros**

Otros residuos que se generan podrían ser los siguientes [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004]:

- planchas de impresión de fotopolímeros y de goma. Las camisas de acero, poliéster o aluminio se reutilizan y el poliéster y la goma se encolan a las mismas;
- recipientes metálicos no retornables;
- los mandriles;
- residuos de las películas.

### 2.3.3.3 Aguas residuales

Las aguas residuales resultantes de los procesos que emplean tintas al agua pueden tratarse y luego verterse al sistema de alcantarillado. La cantidad total de agua residual depende mucho de los métodos de trabajo, pero de media se utilizan y vierten de 2 a 3 m<sup>3</sup>/t de tinta, sobre todo derivada de la limpieza intermedia y de limpiar la maquinaria después de cada trabajo. Las características de estas aguas residuales antes y después del tratamiento se exponen en Tabla 2.34. Según Tabla 2.34, en las tintas no hay presencia de cobre, de modo que es probable que proceda del papel (ver apartado 2.3.2.3.3) [76, TWG, 2004].

Contaminante	Antes del tratamiento (mg/l)	Después del tratamiento (mg/l)
AOX	1500	1
Cu	20	
Hidrocarburos	1000-5000	10
DQO	1000	200

**Tabla 2.34: características del agua residual de los procesos que utilizan tintas al agua [18, UBA Alemania, 2003]**

La cantidad de fangos de tinta resultantes del tratamiento de las aguas residuales varía en función del tratamiento aplicado. Los tratamientos como la coagulación y la floculación, que son los más comunes, producen grandes cantidades de fangos si los comparamos con la ultrafiltración, por ejemplo [18, UBA Alemania, 2003].

Las aguas de las tintas al agua normalmente se vierten al alcantarillado, con o sin pretratamiento en la planta. Después de tratarla, el agua puede reutilizarse y los fangos se eliminan como residuos [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

## 2.3.4 Huecograbado de publicaciones

### 2.3.4.1 Balances de masas - huecograbado de publicaciones

[18, UBA Alemania, 2003, 128, TWG, 2005]

En 1999 se conocieron los resultados de un estudio realizado entre las imprentas alemanas de huecograbado de publicaciones. Uno de los resultados del estudio permitió comparar los datos de rendimiento de las diferentes unidades de cada planta y utilizarlos para simular una planta virtual que cumpliera los requisitos legales, en concreto los de la directiva sobre emisiones de disolventes [76, TWG, 2004]. En este apartado, se ofrece el balance de masa de una planta donde se aplican buenas prácticas, escogida del propio estudio, seguido de los datos de la planta virtual.

#### Una planta con buenas prácticas

En este apartado se relacionan los datos de una planta con buenas prácticas sacada de este estudio, así como los balances de masas de la planta virtual. Tal y como se ha explicado anteriormente, la planta virtual no existe en realidad, sino que se ha extrapolado a partir de unidades con un buen rendimiento de plantas reales. La planta con buenas prácticas es una imprenta moderna de publicaciones con cinco prensas y un total de cuarenta unidades de entintado. Los productos son principalmente revistas y catálogos, ambos de alta calidad. Los datos operativos de la planta con buenas prácticas son los que se muestran en Tabla 2.35:

ENTRADA	Cantidad	Unidad	Notas	SALIDA	Canti- dad	Uni- dad	Notas
Material				Productos			
Preproductos	3100	t/a		Preproductos	86 367	t/a	Papel y tinta
				Residuos			
Sustrato de impresión	91 300	t/a		Sustrato/impresiones defectuosas	8005	t/a	
Tintas de impresión	2210	t/a	Incluyendo barniz	Residuos de tinta/barniz	15,7	t/a	Peligrosos
Agua: de la cual	158 150	m <sup>3</sup> /a	Agua de pozo	Fangos	7,5	t/a	Peligrosos
	123 100	m <sup>3</sup> /a	Refrigeración				
	9000	m <sup>3</sup> /a	Preparación de los cilindros	Carbón activo	2,6	t/a	De los adsorbentes
	6500	m <sup>3</sup> /a	Calentamiento	Aguas residuales			
Trapos	600 125	Unidades /a limpiadas	Trapos reutilizables	Al alcantarillado	33 200	m <sup>3</sup> /a	2418 m <sup>3</sup> /a del electrobarnizado
Energía				Gases residuales			
Energía total	67 509	MWh/a		COV en gases purificados	7,2	t/a	Media * 35 mg C/m <sup>3</sup>
Energía en forma de gas	44 051	MWh/a		NO <sub>x</sub> de la planta de combustión	7,6	t/a	Combustión de gas natural
Energía eléctrica	24 011	MWh/a		CO de la planta de combustión	0,2	t/a	Combustión de gas natural
				Fugitivas			
				COV fugitivos	365	t/a	

\* Nota: la media de gases residuales de 35 mg C/m<sup>3</sup> se considera baja y estaría asociada a una elevada demanda de energía [76, TWG, 2004].

**Tabla 2.35: balance de masa de una planta de huecograbado de publicaciones con buenas prácticas [18, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004]**

### La planta virtual

El balance de COV de la planta virtual empleando factores de emisiones típicos del sector daría los siguientes resultados, expuestos a continuación en Figura 2.10. Las tintas, de origen, contienen una media del 50 al 55 % de tolueno, en lugar de un 45 % (los barnices para huecograbado contienen entre un 45 y un 55 % de COV). Sin embargo, esto no influye en los cálculos, ya que, después de la dilución, los valores prácticamente se compensan. Los COV contenidos en los «gases limpios» son equiparables a una eficiencia en la recuperación del 99,9 %, lo cual resulta excepcional y se encuentra claramente por debajo de los valores conseguidos con las buenas prácticas habituales, ya que técnicamente es muy difícil de conseguir e implicaría una gran demanda de energía. El caudal medio es de 19 000 Nm<sup>3</sup>/h, algo poco habitual en la práctica. Un valor de 100 000 m<sup>3</sup>/h sería más probable [76, TWG, 2004].

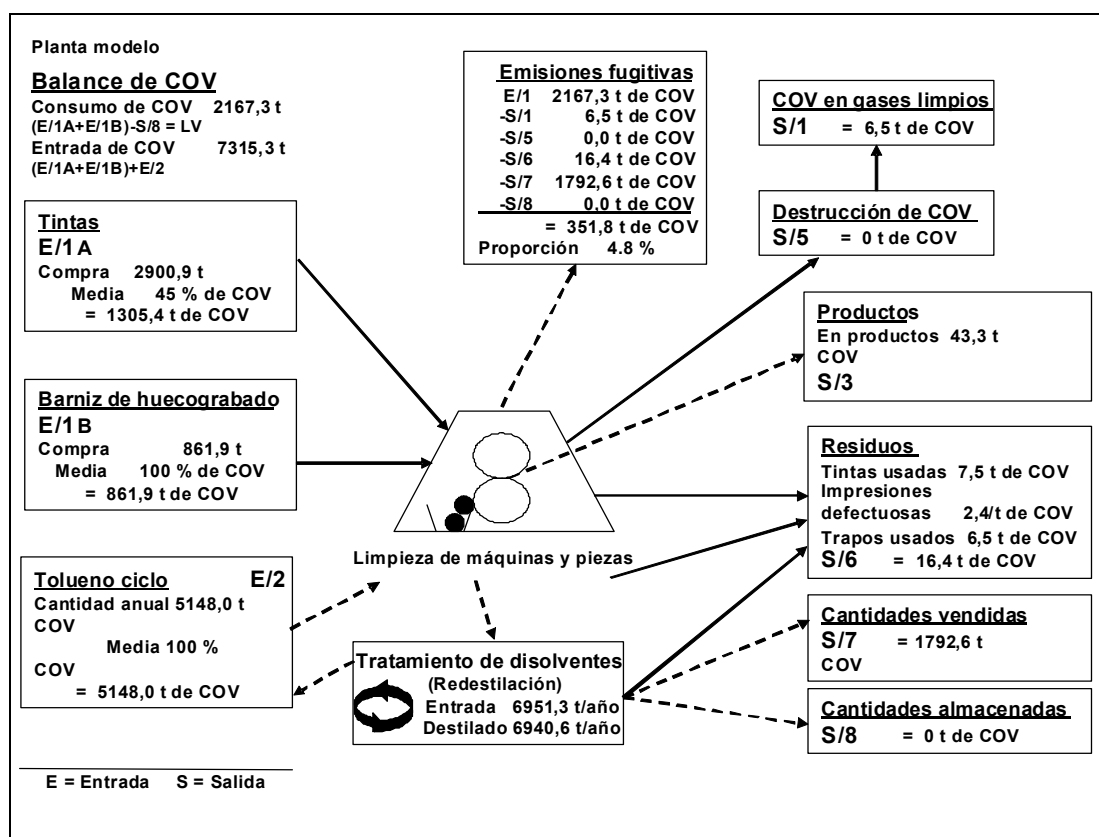


Figura 2.10: balance de COV de una planta virtual de huecograbado de publicaciones [18, UBA Alemania, 2003]

Nota: en lugar de «barniz de huecograbado» deberíamos decir «aditivos de huecograbado». Los aditivos de huecograbado contienen un 45-55 % de tolueno, no un 100 %. Esto sí influye en los cálculos [128, TWG, 2005]

Este balance de masa se puede conseguir, teóricamente, aplicando las siguientes medidas de reducción:

- las tintas de impresión aplicadas son tintas de retención (ver explicación más adelante);
- se emplea extracción del aire en los lugares de recogida de residuos de tinta y trapos con disolventes;
- la limpieza periódica de los contaminantes persistentes se realiza con nieve carbónica y no con disolventes;
- el rendimiento del adsorbente de tolueno se supervisa constantemente;
- el aire de secado procedente del adsorbente de tolueno se hace pasar por el depurador de gases residuales.

En las «tintas de retención», se intenta retrasar la formación de una película en la superficie de la tinta modificando la receta. De esta manera, se puede expulsar un mayor porcentaje del tolueno que contiene la tinta directamente a la unidad de secado de la planta [18, UBA Alemania, 2003].

Algunos COV clave en el huecograbado de ilustraciones se señalan en Tabla 2.36. Gracias a esta tabla podemos calcular que, por cada tonelada de tinta que se compra, se usan 1,86 toneladas de tolueno (en parte recuperado y en parte nuevo). Los datos de dos plantas muestran una entrada específica de tolueno de 1,96 y 1,48 toneladas respectivamente por cada tonelada de tinta comprada (ver Tabla 2.37). Sin embargo, no queda claro si se refiere a la relación tolueno/sólidos. Ésta es la única base precisa que podemos utilizar para compararla con la entrada de tintas [76, TWG, 2004].

Sustancia	Presión de vapor a 20 °C (kPa)	Entrada específica (% en peso de entrada de tintas compradas)	Uso
Tolueno	2,9	54,7	Disolvente en las tintas y barnices de huecograbado
		100	Diluyente en el proceso de impresión
		2,5 - 7,5 [128, TWG, 2005]	Agente limpiador [76, TWG, 2004]
Etanol	5,9	< 1	Secante para corrección de cilindros
Sucedáneo de aguarrás	0,04	< 1	Agente limpiador para corrección de cilindros
Acetona	24,0	< 1	Agente limpiador para corrección de cilindros

Tabla 2.36: COV en el huecograbado de publicaciones [18, UBA Alemania, 2003]

	Entrada total de tinta comprada (t/a)	Entrada total de tolueno (nuevo y recuperado) (t/a)	Entrada específica de tolueno (% en peso de la entrada de tinta comprada)
Planta 1	1312	2571	196
Planta 2	1475	2179	148

Tabla 2.37: entrada específica de tolueno correspondiente a dos plantas de Flandes, Bélgica [32, Aminimal, et al., 2002]

Los balances de tolueno correspondientes a las dos plantas de huecograbado, con un total de cinco prensas, situadas en Flandes (Bélgica) se exponen en Tabla 2.38. Las emisiones fugitivas de tolueno son del 10 y el 6 %, respectivamente. No consta la técnica utilizada en la Planta 2 para conseguir un contenido cero de tolueno en los residuos [76, TWG, 2004].

	Planta 1	Planta 2	Unidad
Consumo total de tolueno (nuevo y recuperado)	2571	2179	t/a
Tolueno en los residuos	11	0	t/a
Tolueno en el producto vendido	10	10	t/a
Tolueno recuperado y reutilizado localmente	1694	1428	t/a
Tolueno recuperado y vendido	599	613	t/a
Emisiones			
Emisiones de tolueno después del tratamiento	1,1	4	t/a
Emisiones fugitivas de tolueno <sup>(1)</sup>	265	133	t/a
Total de emisiones de tolueno	266,1 (10 %)	137 (6 %)	t/a (% del consumo)
<sup>(1)</sup> incluidas 10 toneladas tolueno en el producto vendido			

Tabla 2.38: balances de tolueno correspondientes a dos plantas de huecograbado [32, Aminimal, et al., 2002]

### 2.3.4.2 Consumos - huecogrado de publicaciones

#### 2.3.4.2.1 Tintas de impresión

Todas las tintas utilizadas en el huecogrado de publicaciones son a base de tolueno. Tabla 2.39 muestra una receta básica media para el huecogrado de publicaciones. En la imprenta, las tintas de este tipo de recetas se diluyen considerablemente antes de utilizarlas. La concentración de tolueno que contiene la tinta lista para imprimir está entre el 70 y el 80 % en peso.

Componente	Contenido	Concentración (% en peso)
Ligante:		
- Componente disolvente	Tolueno	50-60
- Componente ligante	por ejemplo, resinas fenólicas, resinas de hidrocarburos, etilcelulosa	30-40
Colorantes	Pigmentos orgánicos e inorgánicos	8-20
Agentes colorantes auxiliares	por ejemplo, parafinas, dispersantes, antiespumantes	1-4

**Tabla 2.39: receta básica media para las tintas de huecogrado de publicaciones, según las características de fábrica [18, UBA Alemania, 2003]**

La cantidad de tinta utilizada en la industria gráfica de las publicaciones es enorme. Una imprenta de tipo medio con cuatro prensas puede llegar a usar 10 000 toneladas de tinta lista para imprimir al año y, en consecuencia, necesitará unas 8000 toneladas de disolventes. De esta cantidad, unas 7000 toneladas se recuperan y se reutilizan o se revenden al fabricante [4, Intergraf y EGF, 1999].

Las tintas al agua han sido objeto de experimentos. Uno de los principales problemas que plantean es que, con los procesos de reciclaje del papel que existen, no es posible destintarlas. Esto, combinado con velocidades de prensa bajas, problemas de impresión con las bobinas de gran anchura y los efectos cruzados, ha provocado que se dejen de utilizar [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

Las mejoras en las tintas para huecogrado de publicaciones han dado origen a una nueva generación de tintas a base de tolueno, llamadas «tintas de retención». Su formulación se ha modificado de tal manera que el tolueno se evapore mejor en los secadores. Aunque, listas para imprimir, contienen cerca de un 5 % más de tolueno, acaban generando menos emisiones fugitivas. Existen varios fabricantes que comercializan estas nuevas tintas [37, CITEPA, 2003] [18, UBA Alemania, 2003] [35, Aminal, et al., 2002].

#### 2.3.4.2.2 Agentes limpiadores

Todas las tintas empleadas en el huecogrado de publicaciones son a base de tolueno. Una vez secas, se vuelven a disolver en tolueno, que luego se utiliza como limpiador. No se dispone de datos sobre la cantidad de agentes limpiadores que se utilizan, pero en Tabla 2.36, el valor relativo muestra que, por cada tonelada de tinta comprada, se utiliza un 2,5-7,5 % en peso de tolueno para limpiar [128, TWG, 2005].

### 2.3.4.2.3 Energía y recursos

La energía específica utilizada de la planta con buenas prácticas que se expone en Tabla 2.35 es de 0,8 MWh por tonelada de preproducto.

El proceso de recuperación del tolueno utiliza unos 2-8 kg de vapor por cada kg de tolueno recuperado. En una planta «normal» de cuatro prensas se recuperan unas 7000 toneladas de tolueno al año, para lo cual son necesarias de 20 a 30 000 toneladas de agua. Normalmente, esta agua se reutiliza para refrigeración o, en el caso de las instalaciones de recuperación nuevas, se combina con el vapor de las calderas y se vuelve a usar como vapor para la recuperación del tolueno. Cuando se utiliza el agua para refrigeración, se puede ahorrar entre un 30 y un 50 % de agua. En las situaciones en que se reutiliza el vapor condensado como agua para las calderas, el ahorro puede llegar al 100 % [4, Intergraf y EGF, 1999, 32, Aminal, et al., 2002].

### 2.3.4.2.4 Sustratos de impresión y otros

No se dispone de datos.

### 2.3.4.3 Emisiones - huecograbado de publicaciones

[128, TWG, 2005]

#### 2.3.4.3.1 Emisiones a la atmósfera

Las emisiones de COVNM en la UE-25 para 2000 (según el modelo RAINS) fueron de 61 kt, lo cual representa un 0,58 % del total. El total de la actividad fue de 191,48 kt de tinta, con un promedio de emisiones de 0,32 kg de COVNM/kg de tinta sin diluir, lo cual significa que este sector ya ha reducido considerablemente las emisiones [132, EGTEI, 2005]:

Todas las plantas actuales de huecograbado de publicaciones disponen de instalaciones de recuperación de tolueno. A pesar de que se recupera, una parte del tolueno todavía se emite a la atmósfera. Los equipos de reducción poseen una eficiencia limitada y el aire de la sala de prensas o de otras secciones de la planta en las que se emplea tolueno puede escaparse al exterior por la ventilación, además de las emisiones fugitivas que se pueden producir [4, Intergraf y EGF, 1999]. Sin embargo, el tolueno residual que queda en el producto una vez impreso constituye la fuente de emisiones más importante de esta sustancia [18, UBA Alemania, 2003].

En una situación estándar, el 85 % del total de tolueno se recupera y un 2-3 % permanece en el producto; el resto se escapa en forma de emisiones fugitivas. A modo de guía para las situaciones estándar en Flandes, Bélgica, se considera un factor de emisiones de 0,13 kg de tolueno fugitivo por kg del total de entrada (nuevo y reutilizado) [22, Vito, 1998] [35, Aminal, et al., 2002]. La planta virtual descrita en Figura 2.10 y las plantas descritas en Tabla 2.38 presentan, respectivamente, 0,16, 0,10 y 0,06 kg de tolueno fugitivo por kg del total de entrada [76, TWG, 2004].

En la actualidad, las plantas modernas normalmente emiten entre un 4 y un 10 % de su entrada total de disolventes y las plantas estándar entre un 10 y un 15 %. Este tipo de prensas modernas aplican tintas de retención y todo el aire emitido (de la sala de prensas y de los secadores) se envía al sistema de recuperación de disolvente, incluso cuando la prensa está parada. En la situación estándar, sólo se envía a los dispositivos de reducción de emisiones el aire procedente de la ventilación de los secadores de las prensas que están en marcha [37, CITEPA, 2003] [4, Intergraf y EGF, 1999] [11, IMPEL, 2000].

De las cinco prensas de huecograbado presentes en las dos plantas de huecograbado de Flandes, Bélgica, el aire procedente de los secadores se envía continuamente al sistema de recuperación de disolvente, tanto si las prensas están en marcha como si están paradas. En una de estas



prensas, el aire de la ventilación de la sala de prensas también se envía a la instalación de recuperación. Estas plantas también utilizan tintas de retención y, con esta combinación de técnicas de reducción, son capaces de reducir sus emisiones totales de tolueno al 6,5 % del total de entrada [32, Aminal, et al., 2002].

A las plantas de Alemania se les permite emitir un 10 % del total de tolueno, aunque en el caso de las plantas de nueva construcción este porcentaje es del 5 %. En los Países Bajos se permite a todas las plantas emitir un 8,5 % del total de tolueno, tanto si son antiguas como si son nuevas. Las plantas neerlandesas consiguen este porcentaje extrayendo todo el aire de las salas donde se utiliza tolueno y enviándolo al sistema de tratamiento de gases residuales [35, Aminal, et al., 2002] [29, Países Bajos, 1996].

Mediante el uso de una serie de buenas prácticas, se puede conseguir una tasa de emisiones del 4 al 5 % en las plantas nuevas y, en el caso de las plantas antiguas, del 7,5 al 8,5 % (expresado como un porcentaje de disolvente total, es decir, la entrada de tolueno) [76, TWG, 2004].

En los siguientes párrafos se detallan las diferentes fuentes de emisiones.

### **Tintas**

La concentración de tolueno de la tinta lista para imprimir es de aproximadamente el 80 % en peso, el cual se emitirá y, en su mayoría se recuperará, a excepción de un 2-3 %, que se queda en el producto.

Las tintas de retención pueden reducir las emisiones fugitivas en un 1 % de la entrada total de tolueno [35, Aminal, et al., 2002] [76, TWG, 2004].

### **Agentes limpiadores**

Una vez que la tinta está seca, se vuelve a disolver en tolueno, que luego se utiliza como limpiador. Las operaciones de limpieza pueden originar emisiones fugitivas de tolueno, pero no se dispone de datos sobre las cantidades exactas: las cantidades emitidas se incluirán dentro de las emisiones fugitivas o totales declaradas. Su magnitud dependerá del sistema de ventilación y de su conexión a los sistemas de recuperación de disolventes. Normalmente, los agentes limpiadores se destilan y se reutilizan [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004].

No se dispone de datos sobre las emisiones procedentes de agentes limpiadores para tintas al agua.

### **Instalación de recuperación de tolueno**

El tolueno es fácil de recuperar. Se adsorbe bien en el carbón activo y se recupera calentando el carbón con vapor. Este vapor, junto con los vapores desprendidos por el disolvente, se condensan y se separan casi en su totalidad. Entonces, una parte del tolueno se reutiliza y otra se revende a los fabricantes de tintas [4, Intergraf y EGF, 1999].

Técnicamente es posible lograr una eficiencia del 99 % en la extracción. Sin embargo, existe un punto de inflexión en la relación entre esta eficiencia y el consumo de energía [35, Aminal, et al., 2002] [76, TWG, 2004].

### **Control de las emisiones a la atmósfera**

La directiva sobre emisiones de disolventes establece un valor límite para las emisiones en la salida de los sistemas de tratamiento de gases residuales de 75 mg C/Nm<sup>3</sup> de promedio en 24 horas y 112,5 mg C/Nm<sup>3</sup> de promedio en 1 hora. En la práctica, el promedio de 1 hora es el nivel límite que se aplica al ciclo de adsorción. A menudo ocurre que el promedio de 24 horas es de aproximadamente 10-50 mg C/Nm<sup>3</sup>, mientras que el de 1 hora sólo se alcanza en tres o cuatro ocasiones al día. Para controlar el promedio de 1 hora es necesario medir continuamente la concentración de las emisiones, en lugar de realizar un control por períodos de tiempo o por volumen, que resulta más barato.

### 2.3.4.3.2 Residuos

#### Tintas

En la mayoría de los casos, el trabajo se realiza con tintas de cuatricromía estándar y a penas se realizan mezclas. Las prensas trabajan en turnos y, si se paran, es sólo durante los fines de semana o festivos oficiales. Tan sólo una pequeña parte de la tinta se convierte en residuo y, además, es habitual reutilizar los excedentes [4, Intergraf y EGF, 1999].

La tinta de color sobrante se suele mezclar con tinta negra para reutilizarla, lo cual ahorra tinta negra. La tinta residual se puede destilar para recuperar el tolueno. Los fangos de la destilación, que son cerca de un 20 % del peso original de la tinta residual, se eliminan. Sin embargo, dado que sólo se recuperan pequeñas cantidades de tolueno, no se suele aplicar la destilación ya que los equipos necesarios son relativamente caros [4, Intergraf y EGF, 1999].

### 2.3.4.3.3 Aguas residuales

El proceso de recuperación del tolueno necesita de 2 a 8 kg de vapor por kg de tolueno recuperado. En una planta «normal» de cuatro prensas se recuperan unas 7000 toneladas de tolueno al año, para lo cual son necesarias de 20 000 a 30 000 toneladas de agua. El vapor condensado contendrá tolueno aproximadamente en un 0,05 %, que es lo que permite su máxima solubilidad, dentro de un margen de 0,38-0,54 g/l. El tolueno figura en la lista II (la lista negra de la UE) de sustancias contaminantes para el agua de la directiva 76/464/CEE [4, Intergraf y EGF, 1999] [11, IMPEL, 2000] [76, TWG, 2004].

El tolueno se extrae del vapor condensado haciendo pasar aire a través de él. La concentración de tolueno en el agua vertida es aproximadamente de 1 a 10 mg/l. El volumen vertido por estas plantas «normales» está entorno a 0,1-0,3 kg de tolueno al año [4, Intergraf y EGF, 1999] [11, IMPEL, 2000].

## 2.4 Técnicas a tener en cuenta a la hora de determinar las MTD para la imprenta

En estos apartados, se tratan los siguientes sectores de la industria gráfica:

- offset con secado por calor (ver apartado 2.4.1),
- flexografía y huecograbado de embalajes (ver apartado 2.4.2),
- huecograbado de publicaciones (ver apartado 2.4.3).

Estos procesos son los que, con mayor probabilidad, pueden rebasar los umbrales establecidos en el anexo 1 (6.7) de la directiva IPPC. Por sí sola, es difícil que una instalación que utiliza offset de alimentación de hoja supere el umbral de la IPPC. El problema es que esta actividad puede utilizarse en instalaciones que utilizan offset con secado por calor por encima de estos umbrales, por ejemplo, para producir revistas. Por ejemplo, el offset de alimentación de hoja se utiliza para imprimir portadas de revistas («satinado»), mientras que las páginas interiores se hacen mediante offset con secado por calor. Aunque, en general, las grandes plantas de impresión offset con secado en frío no usan disolventes, o muy pocos, en sus procesos de impresión, algunas pueden llegar a utilizar más de 200 t/a de disolventes en las actividades de limpieza. Esta práctica se ha frenado en algunos países por cuestiones de salud y seguridad, pero es posible que se dé aún en otros [114, Jepsen, 2005].

En una misma instalación se pueden encontrar otros procesos de impresión que pueden rebasar el umbral establecido en el anexo 1 (6.7) de la directiva IPPC. Para tales actividades, hay que aplicar las técnicas generales a la hora de determinar las MTD (ver capítulo 20), así como las técnicas pertinentes que se describen en el presente apartado.

Los documentos del EGTEI (Expert Group on Techno-Economic Issues) relativos a la impresión offset con secado por calor, la flexografía y el huecogrado de embalajes, así como el huecogrado de publicaciones (ver anexo 24.1.1), aportan algunos datos sobre la rentabilidad a escala europea de algunas técnicas en términos de reducción de las emisiones de COV. Sin embargo, el planteamiento del EGTEI forzosamente tiene que limitar su complejidad y, por ello, sólo se tratan algunas técnicas básicas sin tener en cuenta los demás factores para decidir las MTD, como son los efectos cruzados o las características técnicas específicas de cada instalación o producto. En el sector de las artes gráficas existe una variedad mucho más compleja de técnicas que hay que contemplar a la hora de decidir las MTD [130, EGTEI, 2005] [131, EGTEI, 2005] [132, EGTEI, 2005]:

En estos tres subsectores de las artes gráficas, se analizan tres temas comunes, a saber, la sustitución de las tintas de base disolvente, la extracción y el tratamiento de los gases residuales y la limpieza. La razón para tratar cada sector por separado es que la información detallada de que se dispone es específica de cada sector.

### 2.4.1 Impresión con offset con secado por calor

[128, TWG, 2005]

En el capítulo 20, se comentan las técnicas que también se podrían aplicar a la industria de la impresión. En la Tabla 2.40 se muestran las técnicas generales relevantes para la impresión con offset con secado por calor. En general, estas técnicas no se repiten en este apartado, a no ser que se disponga de información específica para esta industria. En Tabla 20.1 se proporciona una descripción del tipo de información considerada para cada técnica.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 2.40: Referencias a las técnicas aplicables en general al sector

### 2.4.1.1 Tintas de secado por calor convencionales

**Descripción:** Los constituyentes básicos de las tintas para impresión con offset son: pigmentos, ligantes (resinas, barnices, aceite mineral) y aditivos (sustancias secantes). Además, se añaden determinadas sustancias (aceites de impresión/diluyentes, pastas para la mejora de la resistencia a la fricción, abrillantadores, retardantes de secado, etc.) a las tintas para ajustar sus propiedades. El contenido en aglomerante de las tintas (fracciones de petróleo de alto punto de ebullición y aceites vegetales) usadas en la impresión con offset de bobinas con secado por calor se sitúa entre un 25 % y un 50 %.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La parte de disolvente de estas tintas tiene un alto punto de ebullición y se evapora parcialmente en los secadores.

**Efectos cruzados:** Contienen aceites minerales procedentes de fuentes no renovables.

**Información operativa:** Véase el apartado 2.3.2.2.2.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999]

### 2.4.1.2 Sustitución de tintas de secado por calor convencionales

#### 2.4.1.2.1 Tintas basadas en aceites vegetales

**Descripción:** Las tintas basadas en aceites vegetales, como el aceite de soja, pueden sustituir en algunas ocasiones los aceites minerales de las tintas convencionales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La ventaja principal es que las tintas vegetales están elaboradas a partir de fuentes renovables y los fangos generados en el destintado de materiales impresos serán más biodegradables.

La limpieza se puede realizar con agua y detergentes.

Es habitual considerar las tintas sin aceites minerales como una tecnología más limpia, aunque no se conoce ninguna valoración del ciclo de vida completo. Según los criterios de etiquetaje de Nordic Swan, estas tintas son preferibles a las basadas en aceites minerales.

**Efectos cruzados:** Las tintas vegetales tienen tendencia a adherirse fuertemente a las fibras, con el resultado que dificultan el destintado.

**Información operativa:** Estas tintas no suelen utilizarse en procesos con secado por calor; véase el apartado «Aplicabilidad» a continuación.

**Aplicabilidad:** Esta técnica no se aplica en el offset con secado por calor, proceso en que se evaporan los aceites minerales, ya que los aceites vegetales no se evaporan lo bastante rápido. Sólo se usa en el offset de hojas, proceso en que los aceites no se evaporan, sino que se endurecen por oxidación. Las tintas basadas en aceites vegetales y los barnices no se pueden aplicar en la impresión de periódicos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [11, IMPEL, 2000] [53, US EPA et al., 2003] [76, TWG, 2004]

### 2.4.1.3 Reducción de las emisiones de la disolución humectante

Debe notarse que cuando se comentan los porcentajes de alcohol isopropílico (IPA), no siempre está claro si se refiere a porcentaje en volumen o porcentaje en peso. La diferencia es lo bastante importante como para tomarla en consideración [76, TWG, 2004].

Además de los requisitos técnicos de impresión, diversos aspectos afectan significativamente la posibilidad de reducir o de sustituir totalmente el IPA:

- Los cambios en la superficie del papel impreso (diferentes tipos de revestimientos, ausencia de revestimiento, diversos grados de calandrado, etc.) exigen cambios en numerosos ajustes finos de la imprenta. Estos cambios cogen tiempo de impresión e incrementan la cantidad de papel desperdiciado en la puesta a punto. Cuando se usa IPA, estos cambios en la superficie del papel pueden gestionarse de forma más rápida y con menos pérdida de papel que cuando se ha reducido o sustituido el IPA. En los casos en que se producen cambios frecuentes de la superficie del papel, la reducción o sustitución del IPA puede tener efectos económicos graves.
- En situaciones de alta cobertura de tinta (porcentaje de la superficie que realmente tiene tinta), el uso de IPA permite que áreas muy pequeñas permanezcan sin tinta. En casos de cobertura de tinta completa, el uso de IPA evita con mayor eficacia la presencia de gotitas de agua que provocan manchas blancas en superficies totalmente impresas. Cuando deben imprimirse materiales con una gran o completa cobertura de tinta, la reducción o sustitución del IPA puede dar lugar a un aumento sustancial de la limpieza intermedia del cilindro y la plancha de la mantilla.
- En los casos en que la habilidad, formación y experiencia de los operarios de la prensa no es muy alta, el fracaso de cualquier experimento para reducir o sustituir el IPA es casi inevitable. Igualmente, un operario experimentado puede reducir significativamente las posibilidades de una reducción satisfactoria del IPA, al mantener los enfoques tradicionales.

Véanse también las técnicas generales de sustitución en el apartado 20.10.

#### 2.4.1.3.1 Sustitución del alcohol isopropílico en la disolución humectante

**Descripción:** Existen aditivos que permiten una menor concentración de IPA en el sistema humectante. La mayoría de estos aditivos son éteres de glicol. Se añaden a la disolución humectante en concentraciones de alrededor de un 1 % o, a veces, del 3 – 5 %, en función del aditivo. Algunos aditivos están pensados para sustituir totalmente al IPA, otros para su uso en combinación con bajas concentraciones de IPA. A veces se usa etanol para sustituir el IPA como un aparente «codisolvente» (véase el apartado «Efectos cruzados» más adelante).

Los aditivos que dan buenos resultados y tienen un bajo potencial de formación de ozono (véase el apartado 20.10.2) son:

- propilenglicol,
- glicerol,
- dihidro-3-metil-2,5-furandiól,
- butildiglicol.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Pueden conseguirse concentraciones de IPA de 2 – 8 % (las cifras reales dependen del método de medición utilizado) y, en algunos casos, es posible trabajar sin IPA. Los éteres de glicol también se evaporan y representan emisiones de COV, pero las emisiones serán menores que las del IPA sustituido. Sin embargo, esto no necesariamente ayuda en el propósito de reducir las emisiones de COV con el objetivo de evitar la formación de ozono. El potencial de formación de ozono de algunos éteres de glicol puede ser 10 veces superior a la del IPA, considerando una misma cantidad evaporada.

**Efectos cruzados:** Se sospecha que algunos aditivos tienen consecuencias graves para la salud y la seguridad, pero se cree que actualmente no se hallan en el mercado. Por tanto, deben estudiarse las fichas de datos de seguridad antes de usar el aditivo. Sin embargo, debe señalarse que los aditivos listados anteriormente tienen límites de exposición laboral sustancialmente menores que el isopropanol.

Estos aditivos sólo deben usarse cuando está claro que la evaporación es menor que en el caso del isopropanol.

A veces se usa etanol para sustituir el IPA; sin embargo, es un procedimiento a evitar, ya que el potencial de formación de ozono del etanol es el doble del del IPA. Esto, en combinación con una presión de vapor 1/3 superior a la del IPA, sólo puede provocar un efecto ambiental negativo.

**Información operativa:** La reducción del consumo del IPA no es un resultado automático de la sustitución. Las especificaciones para los productos a imprimir, la combinación de la tinta para el papel, el clima local y la capacidad del personal de las prensas determinan en gran medida si la sustitución tendrá el efecto esperado.

El uso de rodillos de distribución cerámicos, con revestimiento de cromo o hidrófilos, en combinación con rodillos de planchas hidrófilos, ayuda al uso parcial de sustitutos del IPA; véase el apartado 2.4.1.3.3

**Aplicabilidad:** Aplicable a todas las imprentas de offset con secado por calor.

**Aspectos económicos:** El coste del IPA es de 0,55 EUR por litro, mientras que el de un sustituto es de unos 1 - 1,50 EUR por litro. Como la cantidad de aditivos necesarios para sustituir el IPA es menor, los costes globales son iguales. Sin embargo, el cambio a otra tecnología siempre implica costes adicionales a causa de la pérdida de producción durante el cambio.

**Motivo principal para su aplicación:** Directiva sobre emisiones de disolventes. Salud y seguridad: aproximadamente un 90 % del IPA se evapora en la prensa y nunca llega al papel, lo que requiere una gran ventilación.

**Ejemplos de instalaciones:** Impress Group, Lint, Amberes, Bélgica (IPA sustituido totalmente).

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [35, Aminal, et al., 2002] [29, Países Bajos, 1996] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 2.4.1.3.2 Optimización de la concentración de alcohol isopropílico en la disolución humectante

**Descripción:** Se reduce la concentración de IPA en la disolución humectante tanto como sea prácticamente posible. En este proceso influyen varios factores:

- se necesita mayor cuidado en el ajuste de la prensa;



- para conseguir unas condiciones de impresión reproducibles con una concentración reducida de IPA, se necesita una medición exacta y continua de la concentración de IPA, por ejemplo, mediante sistemas de medición por infrarrojos o ultrasonidos;
- para ayudar en la impresión con bajas concentraciones de IPA se usan tintas adaptadas, capaces de recoger más agua que las tintas de secado por calor convencionales;
- las planchas offset con revestimientos adaptados pueden cubrirse con más agua que las planchas normales de secado por calor, sin humidificar las partes entintadas de la plancha;
- el ajuste exacto de la dureza y el pH del agua y una supervisión precisa de la calidad del agua son un prerrequisito para conseguir una concentración de IPA lo más baja posible.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En el offset con secado por calor, la concentración de IPA varía habitualmente entre el 8 % y el 15 %. Ello significa que para las prensas de bobinas existentes se puede lograr una reducción media del 26 %; para las prensas de bobinas nuevas y de nuevo diseño el valor llega al 65 %.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** La medición exacta de las concentraciones de IPA es difícil. Los dispositivos automáticos de medición de IPA en la mayoría de prensas suelen ser de diseño simple, influidos por la temperatura y por la presencia de otros aditivos. Sin embargo, en circunstancias comparables dan resultados similares, de forma que se pueden usar para tareas de control de calidad, aunque no siempre indiquen correctamente la concentración exacta de IPA. No es necesario usar sofisticados dispositivos de medición para poder reducir al mínimo el consumo de IPA.

**Aplicabilidad:** Todas las imprentas con impresión con offset por secado al calor que aplican IPA.

**Aspectos económicos:** El coste de un sistema continuo de medición por infrarrojos era de 70 000 – 100 000 EUR por prensa en el año 2002 en Finlandia.

**Motivo principal para su aplicación:** Aunque la DED no prescribe un porcentaje máximo de IPA, limita las emisiones fugitivas que se producen en el secado por calor y, para conseguir tales límites, deben realizarse todos los esfuerzos posibles para reducir la concentración de IPA en la disolución humectante. En Alemania la concentración de IPA en procesos con secado por calor está limitada a un máximo del 8 %.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999, 18, UBA Alemania, 2003] [29, Países Bajos, 1996, 76, TWG, 2004]

#### 2.4.1.3.3 Rodillos de distribución y de planchas cerámicos, metálicos e hidrófilos

**Descripción:** Uso de rodillos de distribución cerámicos, revestidos con cromo o hidrófilos, en combinación con rodillos de plancha hidrófilos. Los rodillos de planchas hidrófilos están hechos de caucho blando, que puede formar una película humectante especialmente delgada y continua sobre el rodillo con menores concentraciones de IPA.

Estos rodillos también se aplican con éxito en situaciones en que se sustituye parcialmente el IPA.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se pueden reducir las concentraciones de IPA en un 2 - 3 %, según la concentración inicial.



**Efectos cruzados:** El caucho blando se daña más pronto que los rodillos de plancha hechos de caucho duro, y necesita una sustitución más frecuente, lo que genera más residuos. Además, los rodillos cerámicos deben sustituirse con mayor frecuencia que los que disponen de un revestimiento de cromo.

**Información operativa:** Según el tipo de prensa, los rodillos de distribución que dan mejor resultado son los cerámicos o los revestidos con cromo. Los rodillos cerámicos necesitan un mayor mantenimiento y tiempo de limpieza.

En una imprenta de offset de Noruega, en que se sustituye parcialmente el IPA, se puede reducir la concentración de IPA de un 15 % a un 4 %, lo que provocó una reducción del 77 - 90 % en la concentración de IPA en el aire sobre la prensa.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se aplica habitualmente, y es aplicable, en todas las imprentas que usan IPA. Sin embargo, actualmente se usan menos los rodillos cerámicos o metálicos; en su lugar se usan los rodillos hidrófilos, con el mismo efecto y más baratos.

**Aspectos económicos:** El coste de rodillos de planchas hidrófilos es el mismo que el de los rodillos de caucho duro y oscila entre 250 y 1000 EUR cada uno; sin embargo, deben sustituirse más a menudo. Los rodillos cerámicos cuestan entre 2500 y 3000 EUR por unidad. El coste total de sustituir los rodillos de distribución por unos de cerámica depende del tamaño de la prensa; además, los rodillos cerámicos deben sustituirse más a menudo que los revestidos con cromo (los costes son de 1997 aproximadamente).

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Una planta noruega.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal, et al., 2002] [4, Intergraf y EGF, 1999] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998, 76, TWG, 2004]

### 2.4.1.3.4 Ajuste exacto de los rodillos entintadores

**Descripción:** Un ajuste perfecto de la posición relativa de los rodillos y del cilindro de la plancha permite menores concentraciones de IPA. Los pequeños desajustes son causa de rupturas en la película de agua y la adición de IPA disminuye la sensibilidad a este fenómeno de la disolución humectante.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Permite usar bajas concentraciones de IPA.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Las prensas nuevas acostumbran a estar equipadas para permitir un ajuste exacto de los rodillos. La reconfiguración no es posible.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de Instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [115, Intergraf, 2005] [128, TWG, 2005]

### 2.4.1.3.5 Aplicación de un sistema pulverizador en la unidad humectante

**Descripción:** En un sistema de IPPC por pulverización, las toberas utilizadas para pulverizar la disolución humectante presentan un movimiento oscilante que provoca una alimentación más lineal de la solución, en comparación con los sistemas convencionales, como los rodillos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La pulverización, en lugar de la aplicación de la solución mediante rodillos, requiere menores concentraciones de IPA.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Esta técnica no permite una dosificación exacta de una película de agua muy delgada y, por tanto, no es aplicable en el caso de secado por calor.

Esta técnica se usa en la impresión de periódicos (secado en frío), en la que se usa mayor cantidad de agua, ya que ayuda a eliminar el polvo de papel. En la impresión de periódicos se logran concentraciones de IPA nulas o muy bajas. Esto sólo es posible porque las películas delgadas de agua no son necesarias, puesto que pocas veces se necesita una gran cobertura de tinta y el papel absorbe fácilmente cualquier exceso. No se transfiere al offset con secado por calor.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** La DED, H&S y razones económicas (la automatización del funcionamiento de la prensa exige la capacidad de realizar ajustes muy finos).

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [76, TWG, 2004]

### 2.4.1.3.6 Enfriamiento de la disolución humectante

**Descripción:** Los sistemas de circulación y dosificación de las disoluciones humectantes que contienen IPA se enfrían a unos 8 - 15 °C para reducir la evaporación del IPA.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Unos 2/3 del IPA original ya se ha evaporado antes de llegar a los rodillos humectantes y la plancha de impresión. En el momento en que la disolución humectante llega a la plancha, la concentración de IPA es sólo de un 1 %, aproximadamente. El enfriamiento de la solución reduce la velocidad de evaporación. La concentración sobre la plancha es muy difícil de medir, a causa de la delgadez de la película de tinta. La información sobre la concentración de IPA restante en la plancha se discute en el Grupo de Trabajo sobre Eficacia de la Intergraf (Confederación Internacional de Industrias de Impresión y Asociadas). La conclusión se logró a finales de la década de 1980 a través de cálculos con modelos.

**Efectos cruzados:** El enfriamiento necesita energía.

**Información operativa:** La mayoría de prensas están equipadas con un sistema de enfriamiento por defecto.

**Aplicabilidad:** Se aplica habitualmente en imprentas de offset con secado por calor.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal, et al., 2002, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 2.4.1.3.7 Enfriamiento de los rodillos humectantes y de los cilindros de planchas

**Descripción:** El enfriamiento de los rodillos humectantes y de los cilindros de planchas reduce la temperatura y la evaporación de la disolución humectante aplicada.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Las temperaturas de enfriamiento son, por ejemplo:

- rodillos humectantes: 28 – 29 °C
- cilindros de planchas: 28,5 – 32 °C.

**Aplicabilidad:** En general no es posible la adaptación.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005]

### 2.4.1.3.8 Eliminación de disoluciones con IPA de la unidad humectante

**Descripción:** Eliminación de la disolución humectante del sistema de IPPC durante paradas de la prensa, por ejemplo durante la noche o en los fines de semana. Se dispone de sistemas automáticos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Cierta reducción en las emisiones de IPA.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Actualmente, en la mayoría de imprentas, la disolución de IPA circula continuamente mediante bombeo en una cantidad superior a la que usa la prensa. El exceso se devuelve al depósito, donde se añade IPA. La técnica no se puede aplicar de forma útil en los casos en que las prensas funcionan las 24 horas del día, que es lo que suele suceder en imprentas con secado por calor que superan los umbrales del anexo 1 (6.7) de la Directiva IPPC.

**Aplicabilidad:** Aplicable en imprentas de offset con secado por calor.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal, et al., 2002] [4, Intergraf y EGF, 1999] [11, IMPEL, 2000] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 2.4.1.4 Filtrado de la disolución humectante

**Descripción:** La disolución humectante se hace recircular de forma continua. Una unidad de filtrado puede prolongar la vida útil de la disolución humectante. Cuando otras sustancias sustituyen el IPA, el agua se contamina más rápidamente y el filtrado durante la recirculación reduce el consumo de agua y la producción de residuos (que pueden ser peligrosos).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se consume menos agua y, por tanto, se vierte menos como aguas residuales.

**Efectos cruzados:** El filtrado requiere energía.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Aplicable a todas las imprentas de offset con secado por calor que usen bajas concentraciones de IPA.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 2.4.1.5 Control de la dureza del agua para la disolución humectante

**Descripción:** Las disoluciones humectantes se preparan conjuntamente, se supervisan, se enfrían y se filtran y se suministran a todas las prensas de la imprenta. La dureza del agua es una variable regional, que influye en la calidad de la disolución humectante y en su grado de emulsificación en la tinta. El tratamiento del agua mediante una desmineralización y una compensación de la dureza (remineralización hasta un valor predeterminado) facilita la definición de cuánto aditivo se necesita y mejora la calidad de la disolución humectante.

El tratamiento puede realizarse mediante intercambio iónico u ósmosis inversa. Por ejemplo el contenido de calcio del agua bruta se puede reducir por ósmosis inversa y se puede ajustar la dureza al valor óptimo, de entre 70 y 140 ppm en  $\text{CaCO}_3$ .

**Beneficios ambientales obtenidos:** Es posible una dosificación más precisa de los aditivos, incluido el IPA, y el enfriamiento y el filtrado resultan más eficientes. Ello lleva a un menor uso de energía, menor cantidad de aguas residuales y a una menor pérdida de materias primas gracias a una menor cantidad de impresiones defectuosas. Si se aplica IPA, se producirán menos emisiones de IPA a la atmósfera. Sin embargo, en un sistema centralizado, la concentración de IPA (o de cualquier sustituto) se ajustará a la prensa que necesita la mayor concentración.

**Efectos cruzados:** La desmineralización del agua requiere energía y productos químicos. La ósmosis inversa requiere energía.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se aplica en grandes imprentas de offset con secado por calor, pero puede no resultar ventajosa allí donde el agua es de una composición constante adecuada.

**Aspectos económicos:** La instalación de esta técnica en plantas nuevas, o en plantas en las que se instalan algunas prensas nuevas, no resulta muy cara. Los costes de reconfiguración son elevados.

**Motivo principal para su aplicación:** Un sistema automático permite un mejor control de calidad, así como un mejor control del consumo de IPA.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminimal, et al., 2002] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998, 76, TWG, 2004]

### 2.4.1.6 Offset sin agua

**Descripción:** El offset sin agua es una técnica de impresión en offset que no usa separación agua/aceite para garantizar que la tinta sólo cubra las partes de la plancha con imágenes; la separación se logra con planchas y tintas especiales. En el offset normal, la plancha es hidrófoba en las partes con imágenes e hidrófila en las otras zonas; el agua se usa para garantizar que las tintas aceitosas no se unen a las partes sin imágenes. En el offset sin agua, las partes sin imágenes tienen un revestimiento que consigue el mismo efecto y no se necesita agua.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No se necesita ninguna disolución humectante, lo que elimina las emisiones de esta fuente, especialmente de IPA. Se produce un ahorro de materias primas (papel y tinta), pero estas ventajas pueden desaparecer si se necesita limpieza adicional para tiradas más largas con secado por calor.

**Efectos cruzados:** Como no hay disolución humectante, el offset sin agua requiere formas adicionales de eliminar el calor de una unidad de impresión y la refrigeración adicional consume energía. En cambio, no se necesita consumo de energía con la disolución humectante.

En las prensas de offset sin agua, se usan de forma estándar sistemas de control de temperatura de la tinta. Otros sistemas de control de temperatura pueden ser adecuados para estabilizar y controlar la temperatura en la impresión con offset sin agua. Los sistemas de control son: sistemas independientes de control de la temperatura de los rodillos entintadores, sistemas de control de la temperatura multizona, sistemas de control de la temperatura de los cilindros de planchas, sistemas de control de la temperatura del cilindro de la mantilla de caucho y sistemas de refrigeración de cojinetes o aceite.

**Información operativa:** La técnica tiene diversas ventajas específicas sobre el offset normal. Su calidad de impresión es mejor y la puesta en marcha es más rápida. El proceso funciona sin interrupciones.

**Aplicabilidad:** La técnica es aplicable en general en tareas de alta calidad en color o tiradas cortas, habitualmente tareas por hojas, aunque las tiradas con secado por calor están disminuyendo de longitud. La técnica se ha aplicado en secado por calor; véase el apartado «Ejemplos de instalaciones» más adelante.

En las prensas con secado por calor se han planteado las cuestiones siguientes:

- El proceso en seco no atrapa el polvo de papel, por lo que se necesita papel de calidad superior o mayor limpieza. En cambio, el papel no se humedece, tal como sucede repetidamente en pases múltiples en la impresión offset a color.
- La vida útil de las planchas en seco aún no está bien determinada, aunque se informa que puede ser de un máximo de 100 000 a 300 000 rotaciones.
- Las planchas en seco son más sensibles a las rayadas, por ejemplo durante las tareas de limpieza.

- Los sistemas en seco tienen un menor número de rodillos, lo que limita la cantidad de tinta que se transfiere y los ajustes finos de la prensa. Los proveedores afirman que, como no se transfiere disolución humectante, se puede transferir más tinta y se ha instalado una nueva prensa sin fuentes de tinta.
- El rango de colores de tinta se ha limitado, aunque el espectro puede ser mayor actualmente.

**Aspectos económicos:** Las prensas, las planchas y las tintas son más caras que las utilizadas en el offset normal, mientras que no hay costes para el isopropanol, el agua y las disoluciones humectantes y la puesta en marcha más rápida implica menores costes de papel y tinta. Sin embargo, las tiradas más largas pueden necesitar más planchas y operaciones de limpieza.

**Motivo principal para su aplicación:** Se logran trabajos de gran calidad. La reducción en el uso de productos químicos mejora la salud y la seguridad del lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** Imprenta Toppan, Hokuseisha, Seikousha, Aika, GAO, offset Kousolu, Sanesu (todas estas imprentas están en Japón). En Europa hay muchas prensas de hojas, 25 prensas de periódicos y unas cinco prensas de secado al calor en seco: Quebecor (Reino Unido), dos en Suiza (una reconfigurada con una unidad humectante en 2003) y dos en Hungría (transportadas desde Alemania).

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999, 35, Aminal, et al., 2002] [18, UBA Alemania, 2003] [72, Hamann, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

## 2.4.1.7 Recogida y tratamiento de gases residuales

### 2.4.1.7.1 Confinamiento de prensas o extracción y tratamiento del aire de la sala de prensas

**Descripción:** A veces las prensas de secado por calor se confinan por cuestiones de control de temperatura, evitando corrientes y reduciendo el ruido. El IPA se evapora dentro de la zona de confinamiento. El aire del interior se extrae mediante un secador y puede enviarse a un incinerador, lo que destruirá todas o la mayoría de emisiones de IPA.

En algunos casos en que las prensas no están confinadas, el aire de la sala de prensas se extrae y se eliminan el isopropanol volatilizado y agentes de limpieza muy volátiles.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El tratamiento del aire extraído reducirá las emisiones de IPA y de agentes limpiadores muy volátiles. El confinamiento reduce los ruidos.

**Efectos cruzados:** Los extractores aumentan el consumo de energía y pueden incrementar los niveles de ruido.

Por cuestiones de salud y seguridad, la concentración de IPA y otros disolventes debe estar habitualmente muy por debajo de los límites de exposición laboral. Ello implica que la concentración de disolvente estará muy por debajo de  $1 \text{ g/m}^3$  (LEL del IPA:  $650 \text{ mg/m}^3$  –según informan los Países Bajos, 2001– la mayoría de agentes limpiadores tienen LEL muy inferiores). A esta baja concentración de COV en el gas de entrada, la incineración de gases residuales no puede ser autotérmica y se requiere bastante combustible adicional. Los costes y consumos de energía asociados a los flujos extraídos de las prensas no compensan la reducción en las emisiones que puede lograrse (véase el apartado «Información operativa» a continuación).

**Información operativa:** Los sistemas de tratamiento de gases residuales suelen estar diseñados sólo para el flujo de aire de los secadores. Un secador moderno tiene una capacidad de 4000 a 7000  $\text{m}^3/\text{h}$ ; los más antiguos de hasta 10 000  $\text{m}^3/\text{h}$ . Para, además, extraer el aire de las prensas, se necesitan capacidades de 50 000  $\text{m}^3/\text{h}$  o superiores. El tratamiento térmico necesitará

aumentar de tamaño y, si el aire contiene menos disolvente, también necesitará combustible adicional.

**Aplicabilidad:** Las tintas de secado por calor no se evaporan a temperatura ambiente. Se evaporan en el secador y, por tanto, siempre resultan capturadas. Cuando se usan agentes limpiadores poco volátiles también se evaporan en el secador. El confinamiento de la prensa, con o sin tratamiento del aire de ventilación de la prensa, no tiene efecto alguno sobre las emisiones de disolventes y se realiza por cuestiones de seguridad y salud laboral.

El confinamiento de las prensas y la retirada del aire hacia un sistema de tratamiento de gases residuales es una práctica habitual en huecograbado (para obtener más detalles, consulte los apartados 2.4.3.3.3 y otros). Sin embargo, no es practicable en offset con secado por calor, ya que la capacidad de los sistemas de tratamiento de gases residuales existentes pueden no ser suficientes o no ser usados de forma efectiva al tratar este aire con concentraciones muy bajas de COV.

**Aspectos económicos:** Véase el apartado «Efectos cruzados» más arriba. Para aumentar la capacidad de un incinerador de, por ejemplo, 5000 a 50 000 m<sup>3</sup>/h, la inversión adicional será de unos 450 000 EUR. El consumo de electricidad del extractor principal aumentará en correspondencia y el consumo de combustible crecerá de insignificante a sustancial ya que el funcionamiento autotérmico ya no será posible.

**Motivo principal para su aplicación:** El confinamiento de las prensas se realiza para reducir el ruido y para satisfacer otros requisitos de salud y de seguridad. El aire de la sala de prensas siempre se extrae por cuestiones de salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** El confinamiento se aplica ampliamente. En general, también se aplica la extracción. El tratamiento del aire de la sala de prensas no es habitual.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [35, Aminimal, et al., 2002] [4, Intergraf y EGF, 1999, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 2.4.1.7.2 Extracción y tratamiento del aire de los secadores

**Descripción:** Los procesos de secado por calor siempre están equipados con un sistema que extrae el aire de los secadores y que habitualmente lo lleva a un sistema de tratamiento de gases residuales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV de los secadores. Reducción de olores.

**Efectos cruzados:** La extracción requiere energía.

**Información operativa:** Véase el apartado 20.11.2.5.

**Aplicabilidad:** Aplicable en general.

**Aspectos económicos:** Véase el apartado 20.11.2.5.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplir con los niveles de la DED. Reducción de olores.

**Ejemplos de instalaciones:** Se aplica en general.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [35, Aminimal, et al., 2002] [4, Intergraf y EGF, 1999, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]



### 2.4.1.8 Limpieza

#### 2.4.1.8.1 Sustitución y control de los COV usados en la limpieza

**Descripción:** La entrada de COV para las actividades de limpieza se puede reducir combinando las técnicas siguientes:

- manipulación cuidadosa del agente limpiador, por ejemplo cerrando los envases tras su uso;
- aplicación de HBS o agentes limpiadores vegetales (VCA) con un punto de inflamación superior (apartados 20.10.1.3 y 20.10.1.4, respectivamente) para todas las actividades de limpieza;
- reducción del potencial de formación de ozono (OFP) de la mezcla de disolventes usada; véase el apartado 20.10.2.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La entrada de COV para limpieza puede reducirse a < 5 % de la entrada de tinta o puede reducirse el OFP global.

**Efectos cruzados:** El uso de los disolventes anteriores puede implicar que habrá más disolvente que requiera tratamiento o eliminación, ya que se evaporará menos.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Los agentes limpiadores vegetales no son aplicables en la impresión con secado por calor, ya que el agua de aclarado puede romper la bobina de papel.

Sólo los procesos de tipografía de hojas pueden usar fácilmente agentes limpiadores vegetales, pero en la impresión offset, éstos no son una solución eficiente para limpiar los cilindros de la mantilla y las mantillas de caucho. Los VCA actualmente disponibles funcionan como agentes expansores en las mantillas de caucho, que se vuelven inadecuados para su uso. Debe tenerse en cuenta que aunque los VCA presentan beneficios ambientales considerables, sólo son MTD para algunos métodos de producción.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** DED. Salud laboral (exposición a vapores de disolventes). Seguridad laboral (para evitar explosiones en el secador cuando la bobina de papel con un agente limpiador llega al mismo).

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 2.4.1.8.2 Limpiadores automáticos de alta presión para los rodillos humectantes

**Descripción:** Los rodillos humectantes se pueden limpiar usando limpiadores automáticos de alta presión y agua. Esta técnica puede sustituir la limpieza tradicional que utiliza disolventes de bajo punto de inflamación.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No se generan emisiones de COV ni se consumen disolventes.

**Efectos cruzados:** Mayor consumo de energía y de agua. Se generan aguas residuales que deben verterse o tratarse. Pueden aumentar los niveles de ruido.

**Información operativa:** Los mejores resultados se obtienen cuando se raspa la tinta, en la medida de lo posible, antes de iniciar la limpieza.

**Aplicabilidad:** Es aplicable en imprentas offset que usen rodillos humectantes con un revestimiento demoleción; sin embargo, son obsoletos en el secado por calor en los países de UE-15 (se observa raramente en el offset de hojas).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [128, TWG, 2005]

### 2.4.1.8.3      **Sistemas de limpieza automática para los cilindros de impresión y de la mantilla**

**Descripción:** El cilindro de impresión y el cilindro de la mantilla en las grandes prensas modernas offset con secado por calor suelen limpiarse de forma automática.

En la mayoría de máquinas se recoge el agente limpiador. Algunas usan una lámina de tejido que se introduce por los cilindros de la misma manera que la bobina. El agente limpiador se pulveriza sobre el tejido o bien éste se sumerge en el agente o bien se usan rollos de tejido ya impregnado con el agente limpiador. La máquinas que usan tejidos para limpieza utilizan menos agente limpiador, pero los tejidos deben almacenarse y eliminarse cuidadosamente para evitar emisiones no controladas (no es necesario cuando se usan agentes limpiadores no volátiles). Otras máquinas pulverizan el agente sobre la bobina de papel para limpiar los cilindros.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La limpieza automática usa un 10 % menos de agentes limpiadores que la limpieza manual. Se usan menos trapos y, por tanto, se generan menos residuos.

La limpieza automática presenta ventajas de salud y seguridad, ya que se reduce la exposición a vapores y el contacto de la piel con los agentes limpiadores.

**Efectos cruzados:** La automatización requiere energía. Se generan menos residuos porque se usan menos trapos. Los residuos líquidos pueden ser mayores, a no ser que se use tejido en rollos. El residuo líquido se puede filtrar y el disolvente, a veces, puede reutilizarse.

**Información operativa:** A veces el papel absorbe los agentes limpiadores contaminados y, en consecuencia, junto con el papel eliminado, generan emisiones de disolventes no controladas en los procesos posteriores. En algunas instalaciones, este papel contaminado se coloca en un secador para garantizar que las emisiones de disolventes se dirigen al sistema de tratamiento de gases residuales. Esto no es aplicable cuando se usan HBS o disolventes de bajo potencial de formación de ozono.

**Aplicabilidad:** Es aplicable en instalaciones nuevas y ya existentes. Actualmente la limpieza automática es práctica estándar.

**Aspectos económicos:** En una prensa, la inversión se halla entre 60 000 y 80 000 EUR. Los costes de inversión para la actualización de las prensas existentes resultan muy superiores a los de las prensas nuevas (1999).

Los costes de funcionamiento se reducen gracias a un menor tiempo de limpieza, un menor consumo de agentes limpiadores y una reducción de la cantidad de residuos peligrosos generados. En grandes máquinas, la reducción de costes puede compensar la inversión. Sin embargo, en pequeñas prensas se cree que los beneficios ambientales no justifican la inversión.

**Motivo principal para su aplicación:** La DED y una menor exposición de la mano de obra a los agentes limpiadores.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

## 2.4.2 Flexografía y huecograbado de embalajes

[128, TWG, 2005]

En el capítulo 20 se comentan técnicas que también podrían aplicarse a la flexografía y al huecograbado de embalajes. En la Tabla 2.41 se muestran las técnicas generales relevantes para la flexografía y el huecograbado de embalajes. En general estas técnicas no se repiten en esta sección, a no ser que se disponga de información específica para esa industria. En Tabla 20.1 se presenta una descripción del tipo de información considerada para cada técnica.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 2.41: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector

### 2.4.2.1 Tintas convencionales de base disolvente

**Descripción:** Véase el apartado 2.3.3.2.2. Los principales disolventes más habituales son el etanol, el acetato de etilo y mezclas de ambos; el etanol se usa más en flexografía, mientras que el acetato de etilo más en huecograbado. También pueden usarse otros disolventes, como el isopropanol o la metiletilcetona, como disolvente principal. Además, puede haber muchos

disolventes diferentes en pequeñas cantidades para ajustes en, por ejemplo, la velocidad de secado o la viscosidad o como contenido de la tinta tal como se compra. Actualmente, la simplificación y la estandarización ha llevado a la reducción del número de disolventes distintos, pero a mediados de la década de 1990 en una planta de flexografía de embalajes podían hallarse hasta veinte disolventes diferentes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Más del 90 % de los disolventes consumidos pueden generar emisiones.

**Información operativa:** La composición exacta también depende de los requisitos de calidad para el material de embalaje y la resistencia que debe ofrecer, como resistencia a los ácidos, a las altas temperaturas, al agua, al alcohol y propiedades de impermeabilización a olores, a la luz, etc.

Habitualmente se usa tratamiento de los gases residuales para eliminar COV.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [4, Intergraf y EGF, 1999] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [22, Vito, 1998] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 2.4.2.2 Sustitución de tintas convencionales de base disolvente

#### 2.4.2.2.1 Alternativas de curado por UV

**Descripción:** Las tintas de curado por UV no contienen disolventes orgánicos. El curado se consigue mediante radiación ultravioleta.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En los procesos de impresión en que se usan tintas de base disolvente volátiles se puede lograr una reducción significativa de las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** En algunas circunstancias el consumo de energía de las lámparas de curado por UV puede superar el consumo habitual de un secador, aunque una planta informa un ahorro global de energía. Las lámparas de UV contienen mercurio y requieren un tratamiento especial como residuo.

Estas tintas contienen monómeros, oligómeros y acrilatos reactivos, algunos de los cuales son alergénicos.

**Información operativa:** La impresión con tintas de curado por UV en flexografía requiere «impresión de poca presión». Las tintas de curado por UV tienen pigmentos mucho más fuertes que otras tintas y la cantidad de tinta a transferir debe ser mucho menor. Mientras que en la flexografía normal el sustrato se presiona fuertemente entre el portador de la imagen y el cilindro de impresión, en la impresión con UV esta presión es mucho menor. La presión ejercida es muy baja y ello es una de las razones por las que la remodelación no es posible en la mayoría de prensas flexográficas existentes.

En flexografía, en caso de rotura de la bobina, el extremo de la misma puede pasar, en su camino hasta el extremo de la prensa, por algunos depósitos de tinta y transportar tinta de una a

la siguiente. Evidentemente todo esto debe limpiarse antes de que la prensa pueda volver a ponerse en marcha. En la flexografía normal es un proceso incómodo, pero en la flexografía con UV es prácticamente imposible a causa de la intensa pigmentación y del hecho que la tinta no se seca. Al imprimir en flexografía con UV, el diseño de la prensa debe ser de tal modo que, en caso de roturas de la bobina, ésta se detiene inmediatamente, antes de que su extremo pueda arrastrarse por ningún depósito de tinta.

Un problema importante es la dificultad en la limpieza de las prensas en que se utilizan tintas con curado por UV. La intensa pigmentación y el hecho de que la tinta no se seca en ningún otro lugar más que en el sustrato implica que la menor contaminación comporta graves problemas de calidad. La limpieza requiere una gran cantidad de trabajo, porque las tintas no se disuelven con facilidad en ningún disolvente. El problema es aún mayor cuando deben cambiarse los colores entre diversos trabajos, lo que es habitual en la impresión de materiales de embalaje.

En una instalación de los Países Bajos (véase el apartado «Ejemplos de instalaciones»), la limpieza entre trabajos consumía un tiempo prohibitivo y provocaba problemas de calidad inaceptables. Para limitar la limpieza se desarrolló un sistema patentado que reduce drásticamente el número de cambios de color. Se usan siete colores estándar para formar los colores necesarios, lo que implica que no es necesario limpiar siete de ocho unidades de impresión entre trabajos. La octava unidad de impresión se usa para añadir un color adicional si aún es necesario. Para cada trabajo que se pasa de flexografía normal a flexografía con UV, deben sustituirse todos los portadores de imágenes (en las publicaciones las fotografías en color están formadas por cuatro colores estándar, pero este sistema no puede producir todos los colores y el brillo necesarios en la impresión de embalajes).

**Aplicabilidad:** Las tintas de curado por UV se pueden aplicar en procesos flexográficos para la impresión de materiales de embalaje de papel, etiquetas y materiales de embalaje de cartón para productos lácteos. Sin embargo, los fabricantes de materiales de embalajes de alimentos a menudo son reticentes a usar tintas de curado por UV, ya que la migración de pequeñísimas cantidades de algunos de los componentes de la tinta hacia el alimento envasado puede conllevar la falta de cumplimiento de la legislación sobre contacto con alimentos.

La mayoría de papeles pueden imprimirse con tintas de curado por UV. Sin embargo, la limitación no es el sustrato, sino la maquinaria existente. Actualmente la flexografía con curado por UV se usa para:

- etiquetas autoadhesivas (que difícilmente entrarán en el ámbito de la IPPC),
- briks de bebida.

En ambos casos se usan prensas fabricadas especialmente para tal propósito: etiquetas en prensas pequeñas de bobinas estrechas (hasta 25 cm, p. ej.) y briks de bebida en prensas con una anchura de entre 100 y 150 cm.

Las tintas de curado por UV también se pueden aplicar en grandes máquinas de impresión flexográficas, aunque no se ha presentado información práctica sobre esta técnica.

**Aspectos económicos:** En el caso de flexografía para briks de bebida, las máquinas son considerablemente más caras que las prensas flexográficas normales. Sin embargo, con ellas puede obtenerse mejor calidad, necesaria para satisfacer las demandas del mercado.

Cuando, en otros casos, los requisitos de calidad tienden a provocar un paso de la flexografía al huecogrado, la combinación de la longitud de la tirada, los requisitos de los clientes respecto a cambios regulares en la imagen impresa y dlos sustratos especiales usados para estos briks, hacen de la flexografía con curado por UV una técnica adecuada.

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED. Salud y seguridad laboral. Cuestiones económicas, cuando hay necesidad de una alta calidad con tiradas cortas y debe evitarse el alto coste del portador de imagen del huecograbado de embalajes.

**Ejemplos de instalaciones:** Thomas Grafische Veredelung GmbH & Co, KG, Alemania. Elopak (Terneuzen, Países Bajos).

**Bibliografía de referencia:** : [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [35, Aminal, et al., 2002, 76, TWG, 2004] [18, UBA Alemania, 2003] [128, TWG, 2005]

### 2.4.2.2.2 Alternativas de curado por haz de electrones (HE)

**Descripción:** Las tintas curables por HE consisten en polímeros de bajo peso molecular que reaccionan con un haz de electrones procedente de un tubo de vacío. Estas tintas no contienen disolventes y no se curan hasta que se exponen a la luz y, por tanto, pueden permanecer en tinteros durante largos períodos de tiempo, lo que reduce la necesidad de limpieza. Los electrones controlan la reacción, formando polímeros y asentando la tinta.

Los secadores de haz de electrones usan la polimerización por bombardeo electrónico para secar revestimientos líquidos y en polvo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las emisiones de COV de la tinta se reducen a cero.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Los problemas observados con tintas curables por HE son degradación del papel y exposición de los trabajadores a la radiación. A veces se usan para revestimientos con papel de alto brillo y aplicaciones decorativas metálicas.

**Aplicabilidad:** Aplicable a prensas nuevas.

**Aspectos económicos:** Estos secadores tienen un alto coste inicial y costes de funcionamiento entre bajos y moderados.

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED. Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [53, US EPA et al., 2003, 76, TWG, 2004]

### 2.4.2.2.3 Tintas al agua

**Descripción:** Las tintas al agua contienen cantidades menores de disolventes orgánicos. Las tintas al agua convencionales se basan en resinas relativamente ácidas para la dispersibilidad acuosa; tintas desarrolladas más recientemente se basan en resinas de poliéster dispersables en agua (estas últimas no necesitan neutralizantes como el amoníaco o las aminas para mantener sus propiedades de dispersabilidad y, por tanto, cumplen con los requisitos para la flexografía).

**Beneficios ambientales obtenidos:** En flexografía y huecograbado de embalajes, las tintas listas para impresión contienen alrededor de un 80 % de disolventes. Siempre son mezclas de varios disolventes, por ejemplo etanol y acetato de etilo. Su sustitución por tintas al agua puede llevar a una reducción significativa de las emisiones de disolventes, especialmente de las emisiones fugitivas. Sin embargo, la mayoría de instalaciones de flexografía y huecograbado de embalajes están equipadas con sistemas de reducción de gases residuales y, en esta situación, la reducción alcanzable en las emisiones de disolventes es claramente menor. En los casos en que

los gases residuales se tratan de forma eficiente y se evitan emisiones fugitivas excesivas, se consiguen pocas ventajas al pasar a tintas al agua.

La limpieza de tintas al agua se puede realizar con agua siempre que la tinta o el barniz no esté seco.

Las tintas al agua pueden requerir más energía para el secado; sin embargo, se reducirá el consumo de energía total de la instalación, ya que no se necesita ningún sistema de tratamiento de los gases residuales (véase el apartado 2.3.3.2.5 y el anexo 14 del BREF ECM).

**Efectos cruzados:** Las tintas al agua usadas en flexografía y huecograbado de embalajes aún contienen etanol, isopropanol o *n*-propanol.

La cantidad de energía necesaria para secar tintas al agua es superior a la necesaria para tintas de base disolvente. Aún así, la falta de disolventes permite hacer recircular el aire de secado más a menudo y, por tanto, reducir el efecto. En la práctica, el aumento en el consumo de energía para el secado puede ser de un 10 % aproximadamente.

Se generan más residuos de tinta.

**Información operativa:** En flexografía se puede imprimir con tintas al agua en la mayoría de materiales de embalaje de papel. Los materiales de embalaje de plástico simples, como bolsas con asas, bolsas de basura, bolsas para cereales y bolsas de gran resistencia, también pueden imprimirse correctamente con tintas al agua en flexografía. El uso de cilindros anilox cerámicos mejora la calidad de impresión.

Es posible que los materiales de embalaje flexibles para comida deban ser resistentes a los ácidos, disolventes, grasas o aceites procedentes del producto envasado. Actualmente estos requisitos sólo se pueden cumplir satisfactoriamente con tintas de base disolvente. Los productos de alta calidad que cumplen con tales requisitos suelen imprimirse con huecograbado, usando tintas de base disolvente. Sin embargo, a veces se puede sustituir la tinta blanca, que es la más utilizada.

El paso de tintas de base disolvente a tintas al agua en flexografía o huecograbado de embalajes suele exigir un pretratamiento diferente del material portador y siempre necesita nuevas planchas y nuevos cilindros.

**Aplicabilidad:** Las tintas al agua (no barnices) se usan con éxito en los procesos de impresión de embalajes por flexografía para impresión de bolsas de papel, bolsas de basura de plástico y bolsas con asas. Aún así, en estos procesos deben usarse tintas convencionales en algunas situaciones excepcionales, como para los efectos fluorescentes, colores dorados o plateados o cuando se necesita un brillo elevado.

Cuando se usan productos al agua (tintas, barnices) en prensas ya existentes, los sistemas de secado suelen tener una capacidad insuficiente, lo que reduce la aplicabilidad de la técnica en prensas existentes.

Actualmente las tintas al agua no son aplicables para huecograbado de embalajes, ya que no se puede conseguir una calidad comparable.

**Aspectos económicos:** El cambio de tintas de base disolventes a tintas al agua implica unos costes de renovación sustanciales. Para las prensas nuevas que usan tintas al agua, la inversión es aproximadamente la misma que para prensas con tintas de base disolvente. En caso de remodelación, pueden requerirse inversiones importantes si debe ampliarse la capacidad de los secadores.



Como las tintas al agua presentan una mayor pigmentación, se necesita menos cantidad y los costes operativos por m<sup>2</sup> de material impreso serán, en general, algo menores que en el caso de tintas de base disolvente.

En los casos en que, con tintas al agua, se puede mantener la velocidad y flexibilidad de impresión y se puede evitar la inversión en equipos de reducción y otros costes asociados a los disolventes, se pueden conseguir ahorros importantes.

**Motivo principal para su aplicación:** En los casos en que los operadores opten por esquemas de reducción para cumplir con la DED, esta vía puede ser una opción válida (véase el apartado anterior «Aspectos económicos»).

**Ejemplos de instalaciones:** Diversas.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [4, Intergraf y EGF, 1999] [11, IMPEL, 2000] [35, Aminimal, et al., 2002] [53, US EPA et al., 2003] [128, TWG, 2005]

### 2.4.2.3 Barnices y adhesivos convencionales de base disolvente

**Descripción:** Véase el apartado 2.3.3.2.2. Se usan sistemas de base disolvente. Los disolventes más habituales son el etanol, el acetato de etilo y la metiletilcetona.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Elevadas emisiones de disolventes.

**Información operativa:** La composición exacta depende del sustrato a imprimir. Normalmente se usan sistemas de tratamiento de los gases residuales.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [4, Intergraf y EGF, 1999] [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [22, Vito, 1998] [128, TWG, 2005]

### 2.4.2.4 Sustitutos para barnices y adhesivos convencionales

#### 2.4.2.4.1 Barnices y adhesivos al agua

**Descripción:** En general, los barnices y adhesivos al agua no contienen disolventes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los barnices y adhesivos listos para imprimir contienen alrededor de un 80 % de disolventes. Pueden ser mezclas de diversos disolventes, como etanol, acetato de etilo y metiletilcetona, o bien sistemas de un solo disolvente. Su sustitución por productos al agua puede dar lugar a reducciones significativas en las emisiones de disolventes, especialmente por lo que respecta a las emisiones fugitivas. Sin embargo, la mayoría de imprentas de flexografía y huecograbado de embalajes están equipadas con sistemas de reducción de los gases residuales y, en esta situación, la reducción alcanzable de las emisiones de disolventes es claramente menor. Allí

donde los gases residuales se reducen de forma efectiva y se evitan excesivas emisiones fugitivas, no se consiguen mejoras adicionales al pasar a tintas al agua.

La limpieza de barnices y adhesivos al agua se puede realizar con agua siempre que no estén secos. Sin embargo, para la limpieza suele usarse etanol, IPA, etc.

Los barnices y adhesivos al agua requieren una gran cantidad de energía para el secado, pero el consumo total de energía se reducirá ya que no se necesita ningún sistema de tratamiento de los gases residuales (véase el apartado sobre tintas al agua, 2.4.2.2.3).

Lo mismo es válido para la cantidad de aguas residuales que, por un lado aumentarán, pero por otro, en situaciones en que ya no se utiliza un sistema de adsorción de gases residuales y disolvente, la cantidad global disminuirá.

**Efectos cruzados:** El consumo de energía para el secado de productos al agua es algo mayor y se generan más residuos. La cantidad de energía necesaria para secar tintas al agua es superior a la necesaria para barnices y adhesivos al agua. Sin embargo, la falta de disolventes permite hacer recircular más a menudo el aire de secado y, por tanto, reducir el efecto. En la práctica, el aumento en el consumo de energía para el secado puede ser de un 10 %, aproximadamente.

**Información operativa:** Existe una gran cantidad de requisitos de calidad y resistencia diferentes que se aplican en materiales de embalaje y, por tanto, nunca es evidente la aplicabilidad de las alternativas a la tintas, barnices y adhesivos tradicionales de base disolvente. Por ejemplo, el barniz puede requerir una cierta resistencia al deslizamiento para acomodarse a las especificaciones de las embaladoras, que sólo puede conseguirse usando barnices de disolventes. También presentan una menor resistencia química que los adhesivos de base disolvente, además de una menor resistencia al arranque y del compuesto; por ello, los productos al agua no pueden utilizarse para todas las aplicaciones.

En los procesos especiales de laminación, en que un papel delgado se une a una película de plástico o aluminio, los productos al agua son adecuados porque el agua puede evaporarse a través del papel. En la laminación de dos películas no porosas los productos al agua son menos adecuados, ya que necesitan un tiempo de secado más largo antes de poder unir las películas. En estas situaciones se usan adhesivos de base disolvente o adhesivos sin disolventes de dos componentes.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es aplicable en todos los procesos de impresión y laminación en la fabricación de embalajes flexibles. Se usa habitualmente en imprentas de flexografía y huecograbado de embalajes. Sin embargo, no puede sustituir a los barnices de base disolvente en todas las situaciones.

Cuando se usan productos al agua (tintas, barnices) en prensas ya existentes, los sistemas de secado suelen tener una capacidad insuficiente, lo que reduce la aplicabilidad de la técnica en prensas existentes.

**Aspectos económicos:** No se han realizado afirmaciones generales válidas sobre los costes de la técnica.

**Motivo principal para su aplicación:** Salud y seguridad laboral. La DED.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [35, Aminimal, et al., 2002] [14, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

### 2.4.2.4.2 Alternativas de alto contenido en sólidos

**Descripción:** Los adhesivos tradicionales de base disolvente contienen un 80 % de disolventes, mientras que los adhesivos de alto contenido en sólidos contienen alrededor de un 60 % de disolventes. Si los adhesivos originales necesitan 4 kg de disolvente por kilogramo de sólidos, la alternativa sólo necesita 1,5 kg. En este caso, se consigue una reducción de más del 60 % en el consumo de disolventes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** Las técnicas de tratamiento de gases residuales pueden seguir siendo necesarias.

**Información operativa:** Los adhesivos de alto contenido en sólidos se aplican en procesos de laminación para embalajes flexibles. Se usan en el sector de alto rendimiento para embalajes con grandes tensiones mecánicas, térmicas o químicas y en la elaboración de compuestos que cambian de material en una instalación laminadora.

**Aplicabilidad:** Es aplicable en instalaciones nuevas y ya existentes.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [14, DFIU e IFARE, 2002, 76, TWG, 2004]

### 2.4.2.4.3 Alternativas de curado por UV

**Descripción:** Los barnices y adhesivos con curado por UV que se usan en procesos de laminación no contienen disolventes orgánicos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En los casos en que se usan barnices o adhesivos de base disolventes volátiles, se puede conseguir una reducción significativa de las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** Los barnices y adhesivos con curado por UV requieren energía para secarse mediante secadores de UV específicos. Sin embargo, es poco probable que este consumo sea superior al necesario para el secado de sistemas convencionales de disolventes. Además, las lámparas utilizadas contienen mercurio y requieren un tratamiento especial como residuo.

Los barnices y adhesivos con curado por UV contienen monómeros, oligómeros y acrilatos reactivos, algunos de los cuales son alergénicos.

**Información operativa:** En la industria de embalajes flexibles, posterior a la impresión, a menudo se fabrican laminados que contienen diferentes cantidades de películas de plástico y aluminio. Aquí se aplican los adhesivos con curado por UV, aunque sólo para compuestos estándar de calidad media como máximo.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es aplicable en instalaciones nuevas y ya existentes.

**Aspectos económicos:** No se pueden realizar afirmaciones generales válidas sobre los costes de la técnica.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [35, Aminimal, et al., 2002] [14, DFIU e IFARE, 2002, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 2.4.2.4.4 Alternativas sin disolventes

**Descripción:** Los adhesivos sin disolventes son adhesivos de dos componentes con un contenido en materia sólida del 100 % y a menudo contienen isocianatos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las emisiones de disolventes de las aplicaciones de adhesivos se reducen a cero.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Se aplican habitualmente en la industria flexográfica y de huecogrado de embalajes en los procesos de laminación sobre sustratos no porosos, como el plástico o el aluminio.

Un problema general de los sistemas sin disolventes es la aplicación de películas adhesivas delgadas y uniformes. Al contrario que los adhesivos de base disolvente, en que el grosor de la capa puede controlarse gracias a la viscosidad, en este caso el control debe realizarse con procesos de laminado mecánicos. La capa adhesiva puede presentar irregularidades superficiales ligeramente mayores que en el caso de adhesivos de disolventes.

Con sistemas de dos componentes se pueden fabricar muchos laminados complejos; requieren maquinaria especial.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** DED. Salud y seguridad laboral. Especificaciones del producto del cliente.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [35, Aminimal, et al., 2002] [14, DFIU e IFARE, 2002]

#### 2.4.2.4.5 Coextrusión

**Descripción:** En la coextrusión, el sustrato impreso se cubre con una película plástica licuada y caliente, que posteriormente se enfría. Esta película sustituye el barniz necesario o, cuando se usa entre dos capas diferentes de portadores diferentes, actúa como un adhesivo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se eliminan las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** La coextrusión requiere energía.

**Información operativa:** Se aplica en embalajes flexibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** DED. Salud y seguridad laboral. Especificaciones del producto del cliente.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal, et al., 2002] [128, TWG, 2005]

### 2.4.2.5 Tratamiento de los gases residuales

#### 2.4.2.5.1 Confinamiento / cierre

**Descripción:** Véase el apartado 20.11.2.1.

En los embalajes flexibles, los secadores siempre se hallan confinados. Trabajan a presión subatmosférica para evitar enviar aire con disolventes hacia la sala de prensas. Por tanto, siempre extraen parte (a menudo un 20 %) del aire entrante de la sala de prensas. Los gases residuales se emiten a través de un tubo de ventilación o se envían a un equipo de reducción.

Los disolventes no sólo se evaporan en el secador, también lo hacen de los tinteros, los ajustadores de viscosidad, los contenedores, etc. Estos disolventes deben extraerse localmente por cuestiones de salud y seguridad y para no superar los límites de exposición laboral.

Los gases extraídos localmente no se suelen enviar a equipos de reducción, debido a las bajas concentraciones de disolventes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Véase el apartado 20.11.2.1. El cierre o el confinamiento reduce los volúmenes de aire a extraer y, por tanto, reduce el tamaño de los motores de los extractores y del sistema de tratamiento de gases residuales en los casos en que se usa.

Se reducen las emisiones de disolventes de los equipos lavadores en una cantidad que puede ser de varios puntos porcentuales del consumo total de disolventes.

**Efectos cruzados:** Debe garantizarse la seguridad. Cuando la concentración de disolventes en el aire de ventilación del equipo lavador es máxima, es necesaria una dilución suficiente con gases residuales procedentes de la maquinaria de fabricación o de otros lugares para evitar explosiones.

**Información operativa:** Los equipos de limpieza automáticos deben ventilarse antes de la descarga. Durante unos pocos minutos, un caudal relativamente pequeño (unos pocos miles de m<sup>3</sup>/h) está fuertemente cargado de vapores de disolventes. Este aire se envía al equipo de reducción.

**Aplicabilidad:** Los secadores siempre están encerrados. Cada vez se aplica más el cierre de tinteros, ajustadores de viscosidad, contenedores, etc. para cumplir con los requisitos de la DED. La renovación no es posible (el control de las máquinas debe ser totalmente automatizado).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED. Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 2.4.2.5.2 Extracción y tratamiento del aire de las prensas y otras áreas de fabricación

**Descripción:** Se extraen localmente, y posteriormente se tratan, los disolventes que se evaporan de las prensas, como los de los contenedores de tinta, barnices y adhesivos, de la ventilación de los equipos de limpieza automáticos (véase el apartado 2.4.2.6.2) y los que consiguen escapar de la captura por parte de los secadores.

Se pueden aplicar las siguientes técnicas:

- confinar las laminadoras y barnizadoras y ventilar el sistema de confinación mediante la extracción con el secador, en lugar de la extracción local;
- enviar la extracción local de la maquinaria de fabricación hacia el sistema de reducción;
- garantizar que se capturan y tratan las emisiones fugitivas de los tinteros, lo que reduce la necesidad de extracción local en áreas abiertas;
- instalar y usar sistemas de rasqueta con sujeción en la cámara (véase el apartado 2.2.3.2);
- enviar la ventilación de los equipos lavadores al sistema de reducción (véase el apartado 20.9.10).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV. Se garantiza la captura y el tratamiento de emisiones fugitivas procedentes de tinteros y equipos lavadores.

Los equipos lavadores automáticos deben ventilarse antes de descargarse (véase el apartado 2.4.2.6.2). A menudo esta ventilación no se envía al equipo de reducción.

**Efectos cruzados:** La extracción requiere energía, pero esta extracción local se realiza para evitar altos niveles de exposición laboral. El problema es si se debe enviar o no el aire extraído al sistema de tratamiento de gases residuales (normalmente un incinerador). Sin embargo, como puede que el incinerador deba ser más grande, el ventilador principal del mismo también será mucho más grande. Ello aumentará sensiblemente la cantidad de energía necesaria. El mayor caudal de aire con un bajo contenido de disolventes hará aumentar la cantidad de combustible de apoyo necesario para el incinerador.

**Información operativa:** Las modernas prensas de huecograbado de embalajes están equipadas, además de con el sistema de extracción de los secadores, con sistemas de extracción del suelo o de los tinteros, conectados con el sistema de tratamiento de gases residuales. Este aire extraído puede contener aproximadamente 1 g de disolvente/m<sup>3</sup>, pero dependerá de las otras medidas tomadas para reducir las emisiones fugitivas y, en consecuencia, puede ser menor. Estos sistemas de extracción adicionales se sitúan entre las unidades de impresión. Para las prensas de flexografía equipadas con un cilindro de impresión central (véase la Figura 2.2), el espacio disponible entre las unidades es demasiado pequeño para instalar un sistema de extracción.

Las modernas unidades independientes de barnizado y laminado suelen estar equipadas con estos sistemas.

**Aplicabilidad:** Esta técnica no es aplicable en prensas flexográficas existentes equipadas con un cilindro de impresión central. Está incorporada en nuevas unidades independientes de barnizado y laminación.

La ventilación de los equipos lavadores automáticos se aplica habitualmente en los casos en que se ha instalado recientemente un sistema de incineración. En general no es aplicable en los casos en que se recuperan los disolventes para su reutilización, ya que éstos se usan para la limpieza y no pueden reutilizarse en las tintas, barnices o adhesivos.

**Aspectos económicos:** Dependen básicamente de la capacidad del sistema de tratamiento de gases residuales. En el huecograbado de embalajes los costes de remodelación son superiores a 100 000 EUR.

Cuando el aire extraído localmente siempre se envía al incinerador, éste deberá tener una capacidad adicional de un 20 %. Un incinerador de nueva construcción, por tanto, será entre 150 000 y 300 000 EUR más caro, suponiendo que la capacidad original fuera de entre 75 000 y 150 000 m<sup>3</sup>/h. La remodelación de un incinerador para aumentar su capacidad en un 20 % a menudo es técnicamente imposible o mucho más costosa (2004).

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [35, Aminimal, et al., 2002] [4, Intergraf y EGF, 1999, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### **2.4.2.5.3 Derivación de picos de volumen y nivelación de máximo/mínimo: extracción y tratamiento del aire procedente de las prensas y áreas de fabricación**

Véase el apartado 20.11.2.4.

### **2.4.2.5.4 Mantenimiento del equipo de tratamiento de gases residuales, derivaciones, sistemas de recogida, etc.**

**Descripción:** Garantizar que se realizan el mantenimiento planificado y las reparaciones inmediatas; véase el apartado 20.2.6.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los defectos en los equipos de incineración pueden dar lugar a emisiones de COV de hasta un 0,4 % de la entrada anual por día (suponiendo 250 días laborables al año).

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** En siete plantas neerlandesas de embalajes flexibles, de tamaño IPPC, el tiempo de inactividad de los incineradores varió entre 1 y 14 días laborables. La media era de casi 7,5 días, es decir, de un 3 a un 8 % de la entrada anual total. Estos datos son del año 2004.

**Aplicabilidad:** Todas las instalaciones.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** DED.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

### **2.4.2.5.5 Cierre automático y temporizado de un sistema de derivación**

**Descripción:** Los gases residuales procedentes de los secadores deben enviarse al incinerador automáticamente antes de que se alcance la velocidad de prensa de puesta en marcha (de 30 a 60 m/min).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se puede conseguir una reducción del 5 al 15 % de las emisiones.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.



**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 2.4.2.6 Limpieza

#### 2.4.2.6.1 Sustitución de COV por disolventes menos volátiles en la limpieza de suelos

**Descripción:** Véase el apartado 20.9.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se puede conseguir una reducción en las emisiones de COV del 1 – 2 % en situaciones en que se limpian los suelos con disolventes. Sin embargo, en los casos en que ya se toman algunas medidas preventivas, como la reducción del ensuciamiento de los suelos y el control del uso de disolventes, la reducción de las emisiones es menor.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005].

#### 2.4.2.6.2 Limpieza de piezas de maquinaria y equipos de limpieza/ lavado automático

Véase el apartado 20.9.10

#### 2.4.2.6.3 Limpieza de piezas de maquinaria mediante pulverización de agua a alta presión

Véase el apartado 20.9.12

### 2.4.3 Impresión con huecograbado de publicaciones

En el capítulo 20 se comentan técnicas que también podrían aplicarse al huecograbado de publicaciones. En la Tabla 2.42, se muestran las técnicas generales relevantes para huecograbado de publicaciones. En general, estas técnicas no se repiten en esta sección, a no ser

que se disponga de información específica para esta industria. En Tabla 20.1 se presenta una descripción del tipo de información considerada para cada técnica.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 2.42: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector

### 2.4.3.1 Tintas convencionales de base disolvente

**Descripción:** Las tintas convencionales usadas en el huecograbado de publicaciones son de base tolueno. En la imprenta las tintas se diluyen considerablemente antes de su uso. La concentración de tolueno de la tinta lista para usar se halla entre el 70 y el 80 % en peso.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** En una prensa de alta velocidad es posible la recuperación del disolvente.

**Motivo principal para su aplicación:** Proceso más estable. Destintado más fácil del papel impreso para su reciclaje.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [128, TWG, 2005]

### 2.4.3.2 Sustitutos de las tintas convencionales de base disolvente

#### 2.4.3.2.1 Alternativas con productos al agua

**Descripción:** Las tintas al agua sólo contienen algunos disolventes orgánicos. Las tintas al agua convencionales se basan en resinas de acidez relativamente elevada para la dispersabilidad acuosa; las tintas desarrolladas más recientemente se basan en resinas de poliéster dispersables en agua. Estas últimas no precisan de neutralizantes como el amoníaco o las aminas para mantener sus propiedades de dispersabilidad.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las tintas usadas actualmente son de base tolueno y, en teoría, se pueden conseguir grandes reducciones en el uso de esta sustancia. No obstante, todas las imprentas de publicaciones están equipadas con sistemas de tratamiento de los gases residuales y ya se reducen significativamente las emisiones de tolueno. Un estudio del análisis del ciclo de vida (ACV) llevado a cabo en Alemania no ha proporcionado evidencias claras de que las tintas al agua para huecograbado puedan considerarse una tecnología más limpia para las plantas existentes, sino más bien lo contrario.

La limpieza de tintas al agua se puede realizar con agua. Sin embargo, si la tinta o el barniz se seca deberán usarse disolventes.

**Efectos cruzados:** El consumo de energía para el secado forzado de las tintas al agua es superior y se generan más residuos.

Es difícil destintar productos de papel y residuos en las plantas normales de destintado, lo que impide el reciclaje de los productos.

**Información operativa:** La calidad de impresión con tintas al agua es inferior que con tintas convencionales.

**Aplicabilidad:** Las tintas al agua no se usan en impresión de publicaciones por huecograbado por problemas prácticos.

**Aspectos económicos:** El cambio de tintas de base disolvente a tintas al agua conlleva costes elevados. Para plantas o prensas nuevas, los costes de inversión para aplicar tintas al agua son aproximadamente los mismos que para tintas de base disolvente.

El coste de remodelar una prensa de huecograbado de publicaciones es de 1 millón de EUR. Al principio los costes de funcionamiento son un 20 % superiores a los de la impresión convencional, a causa del período de aprendizaje, aunque al final serán más o menos iguales.

Además, la productividad es sólo un 70 % de la normal, a causa de velocidades de impresión menores y problemas de impresión con las mayores anchuras de bobina.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** RotoSmeets, Deventer, Países Bajos, es una de las varias imprentas de huecograbado que han experimentado con tintas al agua, sin lograr resultados aceptables.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo Nórdico de Ministros, 1998] [4, Intergraf y EGF, 1999] [11, IMPEL, 2000] [35, Aminal, et al., 2002] [53, US EPA et al., 2003, 76, TWG, 2004]

#### 2.4.3.2.2 Uso de tintas de retención

**Descripción:** Las tintas de retención tienen una formulación modificada que retarda la formación de la película exterior y permite la evaporación del tolueno durante un período de

tiempo más largo. El resultado es que puede emitirse un mayor porcentaje de tolueno directamente en la unidad de secado de la tinta y, en consecuencia, capturarse. En el producto quedará menos tolueno.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La carga de tolueno restante en el producto, medida directamente en el área de salida de la prensa, puede reducirse en un 30 – 50 %.

Las emisiones difusas se pueden reducir en un 1 % aproximadamente de la entrada total. Esto corresponde a una reducción del 20 % de las emisiones totales de una instalación de huecograbado con buenas prácticas (en la que las emisiones totales son de un 5 a un 6 % de la entrada total, incluyendo las procedentes del tratamiento de gases residuales: entrada tal como se define en la DED) [18, UBA Alemania, 2003].

Estos beneficios sólo pueden lograrse en los casos en que se extraen y se tratan los gases residuales de los secadores.

**Efectos cruzados:** En los casos en que se usa adsorción, se informa que se necesita más energía para desorber la gran carga de tolueno generada por los secadores.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Aplicable en todos los procesos de huecograbado de publicaciones, excepto cuando se necesitan tintas especiales para las que no se dispone de una tinta de retención correspondiente.

En la UE-15, el 70 % de las tintas para huecograbado de publicaciones utilizadas actualmente son tintas de retención; en Alemania el porcentaje es del 100 %.

**Aspectos económicos:** El precio de las tintas de retención es el mismo que el de las tintas convencionales, aunque se necesita menos cantidad de tinta (no obstante, no se trata de una técnica de reducción de tinta).

El ahorro por cada kilogramo de tolueno recuperado es de unos 0,50 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** Menos cantidad de tolueno en el producto final.

**Ejemplos de instalaciones:** Una gran cantidad de instalaciones en toda Europa.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003] [35, Aminal, et al., 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 2.4.3.3 Tratamiento de los gases residuales

#### 2.4.3.3.1 Aumento de temperatura en la sala de prensas

**Descripción:** Con una mayor temperatura en la sala de prensas, se evaporará más tolueno de los residuos en el producto impreso. Un prerrequisito para que esta técnica sea efectiva es que se extraiga el aire de la sala de prensas y que el sistema de extracción esté conectado a un sistema de tratamiento de los gases residuales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones fugitivas procedentes de los productos impresos. De esta manera se informa que las emisiones fugitivas se reducen en un 1 % aproximadamente.

**Efectos cruzados:** El consumo de energía puede aumentar si la sala de prensas necesita calefacción.

**Información operativa:** Aplicando el balance de masa de la planta de huecograbado virtual del apartado 2.3.4.3.1 con un total de unas 352 t de emisiones fugitivas, se pueden evitar unas 3,5 t mediante extracción adicional de la banda de papel. Aun así, los disolventes totales residuales alcanzan las 43,3 t. En consecuencia, se supone que una mayor temperatura de la sala de prensas reduce el contenido de disolventes en el producto en más de un 8 %. Las pruebas realizadas en una planta de huecograbado del norte de Alemania, aumentando la temperatura de secado de unos 40 a unos 90 °C, ha demostrado que la técnica es incapaz de conseguir una reducción de esta magnitud.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** Es posible que los costes de funcionamiento sean mayores. Éstos pueden compensarse, ya que el ahorro por cada kilogramo de tolueno recuperado es de unos 0,50 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No se sabe de su aplicación en la UE-15.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal, et al., 2002, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 2.4.3.3.2 Aumento del tiempo de secado

**Descripción:** Se puede conseguir un aumento del tiempo de secado, manteniendo la misma velocidad, si se aumenta la longitud del secador.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Con un mayor tiempo de retención, habrá más tiempo para que se evapore más tolueno dentro del secador, que se enviará hacia el sistema de tratamiento de gases residuales.

**Efectos cruzados:** La mayor capacidad de los secadores provocará un aumento del consumo de energía. Los niveles de ruido también podrían aumentar.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Sólo es aplicable en prensas nuevas; la remodelación no es posible.

**Aspectos económicos:** El ahorro por cada kilogramo de tolueno recuperado es de unos 0,50 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004]

#### 2.4.3.3.3 Extracción discontinua de aire de los secadores

**Descripción:** Cuando la prensa se halla en funcionamiento, el aire de los secadores se extrae y se lleva hacia el sistema de tratamiento de gases residuales (es decir, sólo el aire de los secadores y sólo cuando la prensa está funcionando). La prensa no está blindada y la cantidad de aire de ventilación a su alrededor que se dirige a los secadores es pequeña. El aire de ventilación de la sala de prensas no se lleva hacia el sistema de tratamiento de gases residuales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se puede conseguir un valor de emisiones fugitivas de un 15 - 20 % de la entrada total de tolueno. El aire de los secadores tiene una carga elevada de

tolueno, lo que hace que su adsorción sea muy eficiente. Dado que la capacidad del sistema de tratamiento de los gases residuales se establece sólo para el aire procedente de los secadores, el sistema es relativamente pequeño y puede conseguir un buen equilibrio entre la reducción de COV y el consumo de energía.

**Efectos cruzados:** Se pueden hallar concentraciones elevadas de COV alrededor de la prensa y en la sala de prensas. Puede ser necesaria ventilación adicional para garantizar la salud y la seguridad del personal. Los niveles de ruido podrían aumentar.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Actualmente esta técnica está obsoleta, ya que no cumple con los requisitos de la DED.

**Aspectos económicos:** El ahorro por cada kilogramo de tolueno recuperado es de unos 0,50 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999, 35, Aminal, et al., 2002, 76, TWG, 2004]

### 2.4.3.3.4 Extracción continua de aire de los secadores

**Descripción:** El aire de los secadores se extrae y se lleva al sistema de tratamiento de gases residuales tal como se especifica en el apartado 2.4.3.3.3 anterior. No obstante, además de realizarse cuando la prensa está en funcionamiento, el aire del secador también se extrae y se trata cuando la prensa contiene tinta pero está parada. La prensa no está cerrada y la cantidad de aire de ventilación a su alrededor que pasa a los secadores es pequeña; sin embargo, esta cantidad es significativamente superior a la extraída con la extracción discontinua considerada en el apartado 2.4.3.3.3. El aire de ventilación de la sala de prensas no se lleva hacia el sistema de tratamiento de gases residuales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menores emisiones de tolueno que con la técnica del apartado 2.4.3.3.3.

**Efectos cruzados:** Los niveles de ruido podrían aumentar y se necesita energía para la extracción y recuperación del tolueno. El aire con pequeñas concentraciones de tolueno se lleva al sistema de tratamiento de gases residuales. En general, esto conlleva una menor eficiencia de la instalación de recuperación.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** El ahorro por cada kilogramo de tolueno recuperado es de unos 0,50 EUR. Los costes de funcionamiento son superiores a los presentados en el apartado 2.4.3.3.3.

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED. Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

#### 2.4.3.3.5 Prensa cerrada y encaminamiento discontinuo del aire de ventilación al sistema de tratamiento de gases residuales

**Descripción:** La prensa está completamente aislada. El aire de ventilación en el interior se extrae a través de los secadores y se lleva, de forma discontinua, hacia el sistema de tratamiento de gases residuales; es decir, sólo cuando la prensa está en funcionamiento (igual que en el apartado 2.4.3.3.3). Normalmente existe una presión negativa en el interior para evitar que el aire escape hacia la sala de prensas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menores emisiones de tolueno y menor consumo de energía para la extracción que con la técnica del apartado 2.4.3.3.4.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** El ahorro por cada kilogramo de tolueno recuperado es de unos 0,50 EUR. Los costes son superiores a los presentados en el apartado 2.4.3.3.4.

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED. Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

#### 2.4.3.3.6 Prensa cerrada y encaminamiento continuo del aire de ventilación al sistema de tratamiento de gases residuales

**Descripción:** La prensa está completamente aislada. El aire de ventilación en el interior se extrae a través de los secadores y se lleva, de forma continua, hacia el sistema de tratamiento de gases residuales; es decir, también cuando la prensa contiene tinta pero está parada (igual que en el apartado 2.4.3.3.4, pero el aire de ventilación también se extrae para su recuperación). Normalmente existe una presión negativa en el interior para evitar que el aire escape hacia la sala de prensas

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las emisiones totales de tolueno se pueden reducir a un 5 – 8,5 % de la entrada total de tolueno.

**Efectos cruzados:** El aire con pequeñas concentraciones de tolueno se encamina al sistema de tratamiento de gases residuales. En general, esto conlleva una menor eficiencia de la instalación de recuperación. Mayor consumo de energía que con la técnica del apartado 2.4.3.3.5.

**Información operativa:** En los Países Bajos todas las grandes instalaciones llevan aplicando esta técnica desde 1996.

**Aplicabilidad:** Se aplica habitualmente.

**Aspectos económicos:** En la instalación de una nueva prensa, los costes adicionales para el cierre y el encaminamiento continuo del aire cargado de disolventes hacia un sistema de tratamiento de gases residuales adaptado para un caudal mayor, es de unos 0,5 millones de EUR. Los costes de funcionamiento adicionales son de unos 100 000 EUR por año y prensa.

El ahorro por cada kilogramo de tolueno recuperado es de unos 0,50 EUR.



Los costes para la remodelación de prensas no confinadas en combinación con un sistema de tratamiento de gases residuales de pequeña capacidad resultan prohibitivos.

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED. Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** Dos imprentas flamencas y todas las imprentas relevantes de los Países Bajos.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [29, Países Bajos, 1996, 76, TWG, 2004]

### 2.4.3.3.7 Extracción discontinua del aire de la prensa, los secadores y la sala de prensas

**Descripción:** El aire extraído de la sala de prensas se lleva al sistema de tratamiento de gases residuales, junto con el aire procedente de los secadores y de las prensas confinadas. Sin embargo, el aire sólo se extrae cuando las prensas están en funcionamiento.

En algunas instalaciones el personal que controla el proceso de impresión se halla en salas de control separadas. En estas situaciones, la sala de prensas en la que se hallan las máquinas se puede considerar como el confinamiento de las prensas; el aire de esta sala se extrae y se lleva al sistema de tratamiento de gases residuales. Esta situación puede resultar parecida a la descrita en el apartado 2.4.3.3.5.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menores emisiones de tolueno.

**Efectos cruzados:** Aumento del consumo energía para la extracción y la recuperación de tolueno.

**Información operativa:** Todas las imprentas de huecograbado de publicaciones están equipadas con un sistema de tratamiento de gases residuales; no obstante, la capacidad del sistema existente puede resultar insuficiente para tratar, además, el aire de la sala de prensas.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** El ahorro por cada kilogramo de tolueno recuperado es de unos 0,50 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED. Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

### 2.4.3.3.8 Extracción continua del aire de la prensa, los secadores y la sala de prensas

**Descripción:** El aire de los secadores y de las prensas confinadas se lleva, de forma continua, al sistema de tratamiento de gases residuales. Además, el aire extraído de la sala de prensas también se dirige a la planta de recuperación.

En algunas instalaciones el personal que controla el proceso de impresión se halla en salas de control separadas. En estas situaciones, la sala de prensas en la que se hallan las máquinas se puede considerar como el confinamiento de las mismas; el aire de esta sala se extrae y se lleva

al sistema de tratamiento de gases residuales. Esta situación puede resultar parecida a la descrita en el apartado 2.4.3.3.6.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se pueden reducir las emisiones totales a un valor de aproximadamente un 5 – 8,5 % de la entrada total de tolueno.

Conjuntamente con el uso de tintas de retención, en dos imprentas flamencas se logra un valor de emisión del 6,5 % de la entrada total.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Todas las imprentas de huecograbado de publicaciones están equipadas con un sistema de tratamiento de gases residuales; no obstante, la capacidad del sistema existente puede resultar insuficiente para tratar, además, el aire de la sala de prensas

En las dos imprentas flamencas, se considera que esta técnica presenta un buen equilibrio entre el valor alcanzable de emisión del 6,5 % y evitar un consumo excesivo de energía.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se aplica habitualmente en instalaciones nuevas. En los Países Bajos todas las grandes instalaciones llevan aplicando esta técnica desde 1996. La remodelación puede conllevar unos costes prohibitivos, ya que requiere la sustitución casi completa del sistema de tratamiento de gases y deben realizarse nuevas tuberías.

**Aspectos económicos:** Los costes adicionales de inversión, en comparación con la situación en que sólo los secadores están conectados al sistema de tratamiento de gases residuales, es de unos 0,5 millones de EUR por prensa. Los costes de funcionamiento adicionales son de unos 100 000 EUR por año y prensa.

El ahorro por cada kilogramo de tolueno recuperado es de unos 0,50 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED. Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** Dos imprentas de Flandes, Bélgica, y todas las grandes instalaciones de los Países Bajos.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal, et al., 2002] [29, Países Bajos, 1996, 76, TWG, 2004]

#### 2.4.3.3.9 Ventilación de ciclo cerrado de aire

**Descripción:** El aire de escape procedente del sistema de tratamiento de gases residuales se devuelve a los secadores o a la sala de prensas. Esto requiere un sistema de tratamiento de gases con una capacidad mucho mayor que la habitual. La frecuencia del ciclo de adsorción/desorción es muy breve para conseguir concentraciones muy bajas de tolueno en el flujo de aire recirculado. Antes de enviar éste nuevamente al edificio, debe enfriarse.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En función del tamaño de la prensa, se puede reducir la emisión total a 20 – 75 t/a.

**Efectos cruzados:** Una frecuencia más alta del ciclo de adsorción/desorción genera más aguas residuales y necesita más energía. También se necesita más energía porque la capacidad del sistema de tratamiento de gases residuales es mayor. No obstante, suelen instalarse diversas opciones de reducción o reutilización de la energía.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La técnica es aplicable en prensas nuevas en combinación con un nuevo sistema de tratamiento de gases residuales. También es aplicable en prensas existentes en las que deba instalarse un nuevo sistema de tratamiento de gases residuales. La remodelación de un sistema de tratamiento existente es demasiado caro.

Una prensa nueva de tres metros de una imprenta neerlandesa, incluyendo un sistema de tratamiento de gases residuales y que aplica ventilación de ciclo cerrado logró una reducción en las emisiones de tolueno de 75 t/a. En las dos instalaciones flamencas, con prensas que son más pequeñas y más lentas, la reducción alcanzable puede ser de 20 t/a para cada prensa; sin embargo, la técnica no está instalada en estas plantas porque los costes de remodelación son demasiado altos.

**Aspectos económicos:** Para una prensa de tres metros, el coste de inversión adicional, además del coste de un nuevo sistema de tratamiento de gases residuales, es de 5 millones de EUR. Los costes de funcionamiento son los mismos cuando se instalan técnicas de ahorro de energía. Los costes por tonelada de emisión de tolueno evitada son de unos 10 000 EUR, basados en un préstamo durante un período de 10 años con una tasa de interés del 7 % (1999).

El ahorro por cada kilogramo de tolueno recuperado es de unos 0,50 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED. Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** Etten Leur, Países Bajos.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [35, Aminal, et al., 2002] [4, Intergraf y EGF, 1999, 76, TWG, 2004]

### 2.4.3.3.10 Air-knife en la bobina

**Descripción:** Los air-knife evitan que la bobina arrastre aire cargado de disolventes hacia el exterior de los secadores.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se reducen las emisiones fugitivas de disolventes.

**Efectos cruzados:** Los niveles de ruido podrían aumentar junto con un mayor consumo de energía.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Aplicable a procesos de impresión de bobinas que utilizan sistemas de secado con aire.

**Aspectos económicos:** Coste relativamente bajo; costes energéticos mayores.

**Motivo principal para su aplicación:** Implementación de la DED. Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** Esta técnica se aplica habitualmente en el huecograbado de publicaciones.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999]

### 2.4.3.4 Limpieza

#### 2.4.3.4.1 Limpieza en prensa de los cilindros de impresión

**Descripción:** Se limpian automáticamente en la prensa los cilindros de impresión en prensas de huecograbado de publicaciones.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Se aplica en huecograbado de publicaciones.

**Aplicabilidad:** Sólo para prensas nuevas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999]



### 3 FABRICACIÓN DE HILO PARA BOBINA

[12, UBA Germany, 2002] [54, BMLFUW Austria, 2003] [64, EWWG, 2004]  
[76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 3.1 Información general sobre la industria de hilo para bobina

La fabricación de hilo de bobina implica un tipo único de tratamiento superficial que usa disolventes. Básicamente se basa en la aplicación de una capa aislante eléctrica (esmalte) sobre la superficie de un hilo de cobre, aunque en algunos casos el sustrato puede ser hilo de aluminio. Esta capa aislante se aplica por cuestiones funcionales, no solo por decoración o protección, ya que el esmalte debe proporcionar una resistencia dieléctrica elevada y duradera durante toda la vida útil del hilo en una bobina. La superficie también necesita una capa lubricante de revestimiento bien definida para garantizar un buen rendimiento del bobinado y una disposición uniforme del hilo.

Debe señalarse que toda la información y valores de emisión en todas las secciones específicas sobre hilo para bobina se refieren a hilo de cobre, a causa de su cuota de mercado predominante. En el caso de la fabricación de hilo de aluminio, todos los límites de emisión específicos y cifras de emisión alcanzables deben adaptarse para tener en cuenta el menor peso específico del producto, utilizando un factor de conversión de 3,29, según el cociente de pesos específicos del cobre y el aluminio (8,9 y 2,7 g/cm<sup>3</sup> respectivamente).

La Tabla 3.1 presenta figuras para la fabricación de hilos esmaltados en Europa durante el período 1970-2000 y el uso correspondiente de disolventes orgánicos.

Año	Producción (t)	Consumo de disolventes orgánicos (t)	Consumo específico de disolventes orgánicos (t/t)
1970	150 000	11 250	0,075
1990	286 000	20 020	0,070
2000	390 000	25 350	0,065

**Tabla 3.1: Cifras europeas para la fabricación de hilo esmaltado y los consumos correspondientes de disolventes entre 1970 y 2000.**  
[64, EWWG, 2004]

Según el ESIG, el consumo total de disolventes en Europa es de unos 4,5 millones t/a. A partir de la Tabla 3.1 se puede observar que la contribución de la industria de hilo para bobina a esta cifra es de un 0,6 %.

La industria del hilo para bobina incluye unas 40 instalaciones y casi 4600 trabajadores. Una instalación habitual que entra en las condiciones del IPPC tiene de 50 a 250 trabajadores; la mayoría de instalaciones son de propiedad familiar.

Dado que los productos eléctricos y electrónicos se fabrican y se venden en todo el mundo, los hilos para bobina usados en estos productos se fabrican siguiendo normas internacionales. Los materiales para aislamiento se clasifican en términos técnicos de entrega en la serie de normas EN 60317. Como consecuencia, los hilos se fabrican según las especificaciones del cliente para su tipo de producto aprobado; el fabricante no puede seleccionar libremente el tipo de revestimiento. Los hilos para bobina se pueden fabricar en cientos de dimensiones diferentes, pero suelen agruparse como sigue:

<b>Tipo de hilo</b>	<b>Por encima de (mm)</b>	<b>Hasta (incluida) (mm)</b>
Hilos ultrafinos	-	0,040
Hilos finos	0,040	0,10
Hilos medios	0,10	1,0
Hilos gruesos	1,0	6,0

**Tabla 3.2: Grupos de tipos de hilo para bobina**  
[64, EWWG, 2004]

Además, existen hilos para bobina de sección rectangular de tamaños desde pequeños hasta grandes, de una sección de unos 80 mm<sup>2</sup>.

### **3.1.1 Características del producto y aplicaciones finales**

El hilo esmaltado es útil por su película aislante muy delgada y de especificaciones elevadas, que permite la fabricación de hilos para bobina eficientes energéticamente y con un empaquetamiento denso, que pueden trabajar a altas temperaturas. El aislamiento está formado por una o más capas de esmaltes o bandas o por una combinación de ambos. La elección del material aislante influye en las propiedades eléctricas habituales, como la tensión de ruptura, el factor de disipación, la resistencia de descarga en corona o el comportamiento en descarga parcial. La estabilidad térmica de los materiales de revestimiento del hilo se caracteriza mediante un índice de temperatura. Otros requisitos específicos para sistemas de revestimientos aislantes en hilos son la resistencia mecánica, la resistencia química y la estabilidad de la intensidad en sobrecargas. Los sistemas aislantes actuales ya cumplen estos requisitos con capas finas (véase la norma del CEN EN 60317 para más detalles). Las propiedades eléctricas hacen de los hilos para bobina un producto único, no comparable a otros productos que se consideran en este documento.

El uso principal del hilo para bobina se halla en los hilos magnéticos para bobinas y arrollamientos. Éstos se usan en muchas aplicaciones, como las bobinas miniaturizadas para dispositivos médicos, electrónica de ocio (micrófonos, cabezales de audio y vídeo, etc.), hilos ultrafinos en relojes y como bobinados en motores eléctricos, relés y transformadores de potencia. En los equipos eléctricos los hilos para bobina funcionan bajo tensión y conducen corrientes eléctricas. El aislamiento eléctrico afecta directamente a la funcionalidad y a la seguridad del equipo. Las propiedades eléctricas del material aislante y los sistemas de aplicación son una parte esencial a considerar cuando se valoran las MTD.

En los últimos años se han realizado muchos intentos de introducir materiales aislantes y sistemas de aplicación alternativos, para reducir el uso de disolventes. Muchos de estos han fracasado a causa de sus insuficientes propiedades aislantes, aunque hay algunos ejemplos exitosos en todo el mundo, por ejemplo el uso de esmaltes sin creosol, electroforesis, revestimiento con polvo en bandas, revestimientos con curado por UV y revestimiento por extrusión. No obstante, ninguno de ellos se ha introducido aún como técnica estándar.

## **3.2 Procesos y técnicas aplicadas en la fabricación de hilo para bobina**

[12, UBA Alemania, 2002] [54, BMLFUW Austria, 2003] [64, EWWG, 2004] [76, TWG, 2004] [76, TWG, 2004]

La industria de hilo para bobina es una industria pequeña y en Europa sólo hay tres fabricantes de la maquinaria utilizada en la fabricación del hilo. En consecuencia, en casi todas las instalaciones se hallará la misma tecnología. El proceso de fabricación de hilos esmaltados suele ser lineal: tras la fabricación del hilo de cobre bruto mediante trefilado o laminado, se lleva a cabo el recocido o limpieza térmica del hilo, que son procesos sin uso de disolventes. Los



siguientes pasos son el revestimiento con esmalte, el secado y el curado de la resina y, posteriormente, la aplicación de lubricante. El uso de disolventes sólo tiene lugar durante el revestimiento con esmalte y, según el proceso específico, también en la aplicación de lubricante; el secado y el curado también generan emisiones de disolventes.

### 3.2.1 Proceso habitual de fabricación de hilos esmaltados

En la Figura 3.1 se muestra un proceso habitual de fabricación de hilos esmaltados.

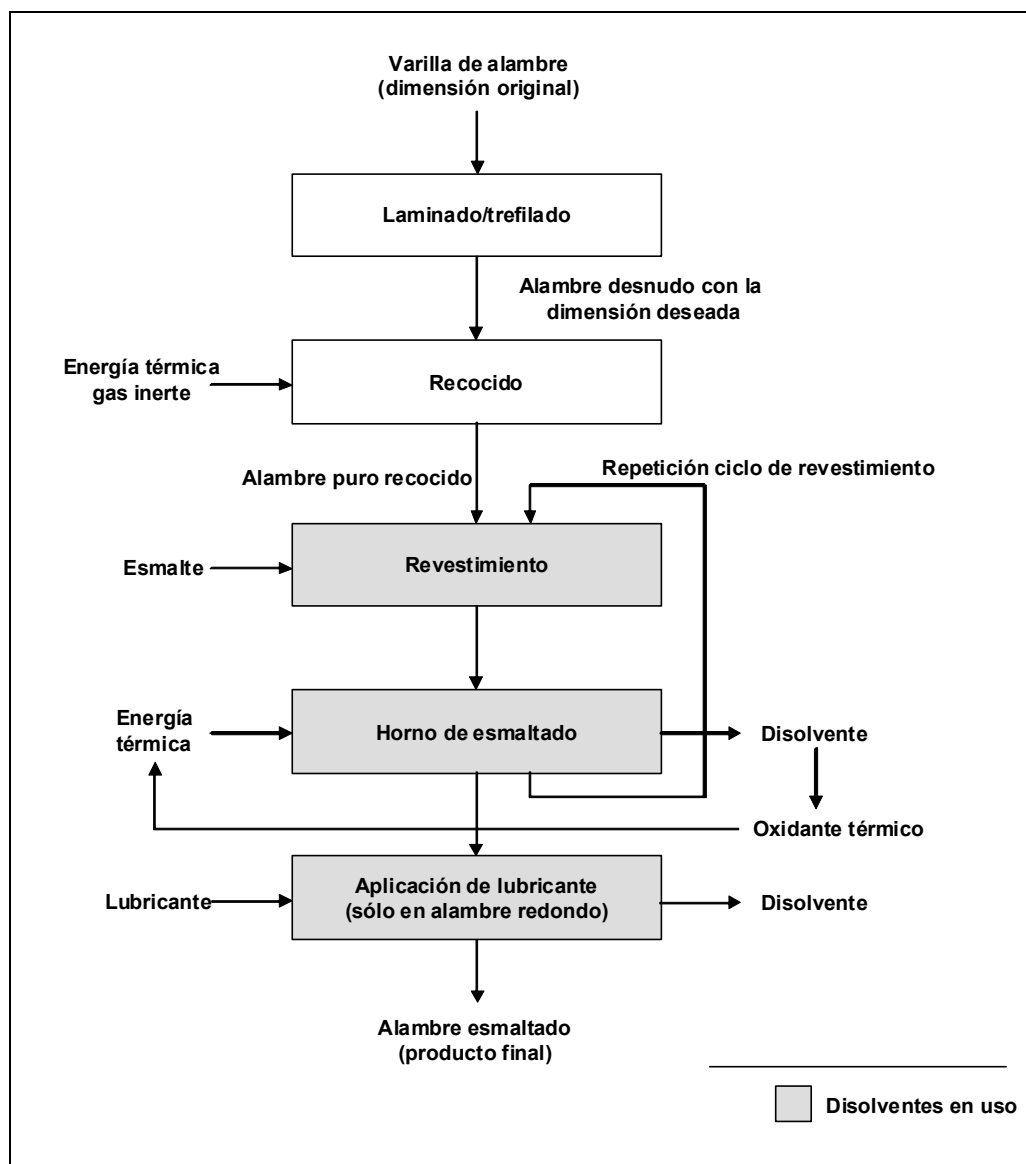


Figura 3.1: Proceso habitual de fabricación de hilos esmaltados [64, EWWG, 2004]

#### Laminado y trefilado

Se trata de procesos de deformación. El laminado es un proceso de conformado, continuo o discontinuo, bajo condiciones de compresión. El material puede laminarse a temperatura ambiente o a alta temperatura. Los hilos para bobinas esmaltados y otros hilos aislados se fabrican preferentemente mediante un proceso de trefilado. El hilo se estira a través de moldes que reducen su tamaño y aumentan su longitud. Los hilos delgados necesitan varias etapas de trefilado para alcanzar las dimensiones deseadas. El proceso de trefilado aplica esfuerzos de tracción y de compresión al material.

### **Recocido**

Al proceso de trefilado le sigue el recocido, en el que el hilo pasa por tubos calentados (que contienen una atmósfera inerte para evitar la oxidación) y se consigue la recristalización y ablandamiento del hilo.

### **Revestimiento con esmalte**

El siguiente proceso es la aplicación del esmalte, seguido del secado y el curado de la película de esmalte. El revestimiento suele aplicarse al hilo en movimiento haciéndolo pasar de forma continua a través de un baño de esmalte y controlando la cantidad con un molde del tamaño preciso o con una aplicación controlada con almohadillas de fieltro. Cada capa aplicada suele ser de un grosor de 1 – 10  $\mu\text{m}$ , según el diámetro del hilo, para permitir la evaporación de los disolventes a medida que el hilo se desplaza por el horno de esmaltado.

### **Secado y curado**

El hilo recubierto pasa a la cámara de esmaltado, que consiste en una cámara calentada (de disposición horizontal o vertical) en la que se evapora el disolvente antes de pasar a una zona de temperatura superior (400 - 700 °C) en la que se cura la película. A continuación el hilo puede volver al circuito de revestimiento para una capa adicional de revestimiento. En este proceso de revestimiento continuo se pueden aplicar hasta 30 capas de esmalte hasta obtener el grosor requerido.

Actualmente se usan hornos de recirculación de aire en los procesos de revestimiento de hilos. La dirección del aire que recircula puede ser a favor o en contra de la dirección de desplazamiento del hilo. La recirculación de aire tiene la ventaja de que se pueden reducir los volúmenes a ventilar. El proceso de evaporación del disolvente lleva a su evaporación y la mezcla aire/disolvente suele tratarse en un equipo de oxidación catalítica, que garantiza que las concentraciones residuales de disolvente estén por debajo de los umbrales legales (habitualmente 20 – 30 mg C orgánico/Nm<sup>3</sup>). La calor generado en la oxidación térmica se puede usar en el proceso de secado para calentar el aire recirculante.

En máquinas calentadas por gas, el aire cargado de disolventes pasa directamente a un quemador de gas, en el que el diseño del mismo permite una mezcla íntima del aire secundario y se produce la oxidación. Para garantizar que la concentración de disolvente no sube por encima del límite explosivo inferior, es importante suministrar aire adicional. Con calefacción eléctrica, el aire cargado de disolventes pasa por encima de elementos calefactores para llegar a una temperatura superior a 500 °C, que suele bastar para lograr una oxidación completa. En todos los casos, las máquinas de calentamiento eléctrico usan catalizadores de metales preciosos. La eficiencia de la oxidación es suficiente para garantizar que siempre se alcanzan los límites de control de emisiones para las emisiones de COV. Tras la oxidación térmica o catalítica de los disolventes, el flujo de aire se hace recircular para proporcionar un calentamiento completo o parcial de la cámara de esmaltado. Las velocidades de los gases de escape pueden ser inferiores a las presentes en otras industrias para garantizar un equilibrio de eficiencia energética máximo con el uso de aire recirculado. Es importante que toda oxidación tenga lugar cuando se recircula el aire. La oxidación en el conducto de salida sólo producirá un aire de escape más caliente.

Los hornos actuales en uso para hilos esmaltados muy finos trabajan con radiación o una combinación de radiación y aire recirculante.

La cámara de esmaltado suele mantenerse a presión negativa, para permitir la captura de emisiones fugitivas del sistema de suministro de esmalte y para evitar que productos de degradación o de combustión entren en el aire de la zona de trabajo. Un cierre alrededor del esmaltador reduce aún más las emisiones fugitivas del esmalte líquido.

### **Aplicación de lubricante**

Según los requisitos del producto final, el hilo esmaltado puede ser lubricado antes de enrollarse en una bobina. Distintos lubricantes contienen diferentes disolventes orgánicos volátiles.

Normalmente se aplica parafina de un disolvente orgánico con un contenido de disolvente del 98 al 99,9 %. En la industria también se usan lubricantes como emulsiones concentradas, con un contenido de disolvente de entre 50 y 95 %, emulsiones al agua o incluso mezclas calientes sin disolventes, aunque con un éxito limitado. Por lo que respecta al uso de las alternativas sin disolventes, deben respetarse los requisitos de calidad del cliente acerca del grosor y la uniformidad de la película lubricante. El lubricante suelen especificarlo los clientes. En general, puede afirmarse que requisitos de alta calidad e hilos delgados son menos apropiados para la aplicación de lubricantes sin disolventes. Siempre que sea posible, se debe intentar fomentar el uso de productos como esmaltes autolubricantes o ceras sólidas entre los clientes.

Una alternativa a la aplicación de disolventes puede ser la aplicación de un lubricante fundido en la superficie del hilo mediante un fieltro embebido de lubricante o añadiendo al hilo esmaltado acabado un filamento lubricante que se funde a causa del calor residual del hilo. Esta última técnica aplica el lubricante enrollando el filamento 2 a 3 veces alrededor del hilo esmaltado y desplazándolo en la misma dirección que éste, aunque a velocidad menor. Ninguna de ambas técnicas son adecuadas todavía para la aplicación de lubricantes a hilos finos con diámetros inferiores a 0,1 mm.

### **3.3 Niveles de emisión y consumo actuales en la fabricación de hilos para bobina**

#### **3.3.1 Balance de masa**

[12, UBA Alemania, 2002] [54, BMLFUW Austria, 2003]

La gama de diámetros de los hilos fabricados (entre 0,01 y 6,0 mm) da lugar a una gran variación entre la cantidad de fabricación (toneladas de hilo) y superficie de producto recubierta ( $m^2$ ). Como consecuencia, las tecnologías y barnices aplicados en hilos delgados son diferentes de las usadas en hilos de diámetros superiores.

A continuación se muestra el balance de masa de dos tipos de instalaciones diferentes existentes en Alemania; los datos de la Tabla 3.3 y la Tabla 3.4 se muestran como valores específicos referidos a 1000 kg de producto final. Estos datos son muy similares a los niveles de consumo y de emisión de dos plantas de fabricación en Austria.

La primera planta, de la cual los datos de consumo y emisión se muestran en la Tabla 3.3 se puede describir del modo siguiente:

- instalación M: fabrica hilos de tamaño medio, predominantemente con un diámetro de 0,6 mm, tres turnos de trabajo con 320 a 340 días por año y una capacidad habitual de 90 t de hilo por línea y año.

Entrada		Salida	
<b>Materias primas</b>			
Hilo de cobre (8 mm)	1070 kg	Producto (hilo de cobre 0,6 mm)	970 kg
		Residuos de hilo (bruto y recubierto)	100 kg
<b>Barnices y disolventes</b>			
Polímeros en barniz	38 kg	Barniz en producto	30 kg
		Pérdidas de polímeros	8 kg
Disolventes	71,5 kg	Disolventes en residuos	4,7 kg
		Oxidación catalítica de COV <sup>(1)</sup>	58,6 kg
		COV emitidos	8,2 kg
		NO <sub>x</sub> CO CO <sub>2</sub>	(2)
<b>Materiales de procesamiento</b>			
Agua	~ 1000 kg	Agua	~ 1000 kg
Ceras	0,1 kg	Ceras	0,1 kg
Compuestos de trefilado	0,3 kg	Residuos de compuestos de trefilado, húmedo	3,5 kg
<b>Energía</b>			
Energía	2,1 MWh <sup>(3)</sup>		
<sup>1)</sup> Este valor no es una cantidad de emisión, sino la parte de entrada de COV que se usa para recuperación de la energía por oxidación térmica o catalítica. <sup>2)</sup> No se dispone de valores de emisión representativos que permitan un cálculo de factores de emisión específicos. Las medidas únicas han mostrado que se obtienen concentraciones de hasta varios miles de mg/m <sup>3</sup> . Los valores de NO <sub>x</sub> y CO están muy relacionados con el aumento de la entrada de compuestos de nitrógeno en los sistemas de barnizado (PMN). <sup>3)</sup> El valor depende fuertemente del sistema de aislamiento del producto.			

**Tabla 3.3: Balance de masa de una planta que fabrica hilos para bobina de tamaño medio [12, UBA Alemania, 2002] [54, BMLFUW Austria, 2003]**

La segunda planta, de la cual se muestran sus datos de consumo y emisión en la Tabla 3.4, se puede describir como sigue:

- instalación M: fabrica hilos finos, predominantemente con un diámetro de 0,08 mm, tres turnos de trabajo con 320 a 340 días por año y una capacidad habitual de 30 t de hilo por línea y año.

Entrada		Salida	
<b>Materias primas</b>			
Hilo de cobre (8 mm)	1100 kg	Producto (hilo de cobre 0,08 mm)	962 kg
		Residuos de hilo (bruto y revestido)	138 kg
<b>Barnices y disolventes</b>			
Polímeros en barniz	58 kg	Barniz en producto	38 kg
		Pérdidas de polímeros	20 kg
Disolventes	186 kg	Disolventes en residuos	6 kg
		Oxidación catalítica de COV <sup>(1)</sup>	165 kg
		COV emitidos	15 kg
		NO <sub>x</sub> CO CO <sub>2</sub>	(2)
<b>Materiales de procesamiento</b>			
Agua	~ 1000 kg	Agua	~ 1000 kg
Ceras	0,1 kg	Ceras	0,1 kg
Compuestos de trefilado	0,3 kg	Residuos de compuestos de trefilado, húmedo	6,5 kg
<b>Energía</b>			
Energía	4,5 MWh		
<sup>1)</sup> Este valor no es una cantidad de emisión, sino la parte de entrada de COV que se usa para recuperación de la energía por oxidación térmica o catalítica. <sup>2)</sup> No se dispone de valores de emisión representativos que permitan un cálculo de factores de emisión específicos. Las medidas únicas han mostrado que se obtienen concentraciones de hasta varios miles de mg/m <sup>3</sup> . Los valores de NO <sub>x</sub> y CO están muy relacionados con el aumento de la entrada de compuestos de nitrógeno en los sistemas de barnizado (PMN).			

**Tabla 3.4: Balance de masa de una planta que fabrica hilos finos para bobina. [12, UBA Alemania, 2002] [54, BMLFUW Austria, 2003]**

Una instalación que fabrica hilo para bobina está formada por varias máquinas. Normalmente, las máquinas de una planta existente corresponden a diversos niveles técnicos que pueden tener una influencia sobre las emisiones globales de la instalación. En este contexto, algunos parámetros importantes son:

- la tecnología aplicada en cada máquina individual,
- el diámetro del hilo que se fabrica,
- la calidad del hilo que se fabrica.

En general, los hilos finos están asociados a mayores emisiones específicas de COV (calculadas como g de COV por kg de producto) que en el caso de hilos más gruesos. Esto es debido a la relación peso del producto/superficie del producto y la parte alcanzable de COV en barnices y lubricantes. Para poner un ejemplo: un hilo de un diámetro de 0,02 mm da lugar a emisiones de COV que son cuatro veces superiores a las generadas en la fabricación de hilo de 0,1 mm de diámetro. El análisis de mediciones recientes en instalaciones de fabricación de hilos finos y ultrafinos muestra una emisión de COV desproporcionadamente alta procedente de la aplicación de lubricante y del proceso de esmaltado en el caso de técnicas de aplicación específicas con un elevado contenido de disolventes. Aún así, el impacto sobre el valor global de las emisiones de COV parece negligible a causa del porcentaje muy pequeño de estos productos en comparación con el tonelaje total de la fabricación de hilo.

Los valores de emisión de la Tabla 3.3 y la Tabla 3.4 muestran que estas dos instalaciones existentes actualmente no pueden cumplir con los valores límite especificados en la directiva sobre emisiones de disolventes. Es importante saber que la parte más importante de las emisiones de COV se debe a la aplicación de lubricante.

### 3.3.2 Consumo

[80, EWWG, 2004] [12, UBA Alemania, 2002] [76, TWG, 2004]

Las etapas del proceso en la aplicación de disolventes son el revestimiento, incluyendo el curado del mismo y la aplicación del lubricante.

#### 3.3.2.1 Revestimientos

La Tabla 3.5 muestra los diferentes sistemas de revestimiento usados y su contenido medio de disolvente en relación con el tipo de hilo para bobina fabricado. Los sistemas de revestimiento marcados con un asterisco (\*) contienen *n*-metil-pirrolidona (NMP) como compuesto orgánico volátil. Durante muchos años se ha debatido con los proveedores de sistemas esmaltados que requieren NMP acerca de la sustitución de la NMP por disolventes no nitrogenados. Esta opción se ha intentado de diversos modos, pero hasta el momento los resultados no han sido técnicamente aceptables. Para los sistemas de aislamiento mencionados, el uso de NMP es inevitable actualmente y en un futuro próximo, según los fabricantes de esmaltes. El mercado de componentes electromagnéticos que utilizan hilos esmaltados debe ser consciente de los requisitos de las especificaciones técnicas y de seguridad. Para estos productos el aislamiento debe cumplir los requisitos de elevado rendimiento térmico, mecánico y eléctrico especificados en la clase térmica.

Producto	Sistema de revestimiento aislante	Parte de la producción total (%)	Contenido medio de disolvente (%)
Hilos de sección circular soldables	Poliuretano	13	65 – 80
Hilos de sección circular de alta temperatura	Epoxi, poliéster, poliamida, poliimida, poliéster-imida con capas adicionales de poliamida-imida (*)	70	55 – 75
Hilos de sección circular autoconectables	Como en los casos anteriores (primera y segunda filas de esta tabla) con capas de unión adicionales de poliamida alifática o aromática (*)	11	55 – 75
Hilos de sección rectangular	Depende del tipo de temperatura: acetal polivinílico, poliéster-imida, poliamida-imida con una capa de unión adicional (*)	6	60 – 80
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>55 – 75</b>

\* Los sistemas de revestimiento pueden contener parcialmente NMP (*n*-metil pirrolidina) como COV

**Tabla 3.5: Principales productos de hilo para bobinas y sistemas de revestimiento aplicados** [12, UBA Alemania, 2002] [76, TWG, 2004]

El contenido en sólidos de los revestimientos para hilos suele variar entre un 20 y un 45 %; el 55 - 80 % restante es disolvente orgánico. En el caso de hilos ultrafinos (con diámetros del orden de las diez micras) son necesarios contenidos de disolvente de hasta el 75 %, mientras que al aumentar el diámetro del hilo se necesita progresivamente menos disolvente en la aplicación del revestimiento, alrededor del 55 %. La elección del disolvente en la aplicación del revestimiento depende del tipo del mismo.

Para obtener el rendimiento de aislamiento requerido, los sistemas de revestimiento complejos suelen estar formados por polímeros para usos especiales disueltos en mezclas especiales de disolventes. Se necesitan compuestos orgánicos que son disolventes fuertes (cresol/NMP) para disolver los polímeros de elevado peso molecular (poliéster-imida y poliamida-imida) y no pueden sustituirse por otros disolventes de menor solvencia y menor impacto ambiental. Los disolventes utilizados más habitualmente en la industria son ácidos cresílicos (cresoles) con xileno como diluyente, nafta u otros compuestos aromáticos o NMP. Todos ellos son

disolventes de alto punto de ebullición/baja presión de vapor, diseñados para la producción a altas temperaturas y, por tanto, con baja velocidad de evaporación a temperatura ambiente.

Actualmente se han desarrollado unas cuantas técnicas alternativas de revestimiento:

- revestimientos mediante fusiones en caliente,
- revestimientos de medio y alto contenido en sólidos,
- revestimientos sin cresol,
- revestimientos al agua,
- revestimientos aplicables por electrorrevestimiento,
- revestimientos bicomponente,
- revestimientos de poliéster pulverizado,
- revestimientos de curado por UV,
- revestimientos de extrusión con materiales termoplásticos.

Sin embargo, por diversas razones, como la falta de calidad, así como aspectos económicos, tecnológicos o de seguridad, estas alternativas no han conseguido sustituir aún a los revestimientos de hilo tradicionales.

### 3.3.2.2 Lubricantes

Distintos lubricantes contienen diferentes disolventes orgánicos volátiles, sin embargo habitualmente se usa parafina (cera) con un contenido de disolventes orgánicos de un 98 - 99,9 %. También se usan alternativas, como emulsiones de lubricante concentradas, con un contenido de disolventes de entre 50 y 95 %, emulsiones al agua o fusiones en caliente sin disolventes, aunque con un éxito limitado.

### 3.3.3 Emisiones

[80, EWWG, 2004][128, TWG, 2005]

#### 3.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

##### Emisiones de COV, NO<sub>x</sub> y CO

Los valores de la Tabla 3.6 son ejemplos de medidas en unas pocas instalaciones, que proporcionan una indicación de los actuales niveles de emisión de COV, NO<sub>x</sub> y CO:

	<b>Instalaciones M<sup>1</sup></b> <b>(g/kg)</b>	<b>Instalaciones F<sup>2</sup></b> <b>(g/kg)</b>
COV	~ 8	~ 15
NO <sub>x</sub> <sup>3</sup>	~ 10	~ 12,5
CO	~ 8,5	~ 15
Notas: <sup>1</sup> Instalaciones M: datos de instalaciones que fabrican hilos de tamaño medio (diámetro > 0,1 mm). <sup>2</sup> Instalaciones F: datos de instalaciones que fabrican hilos finos (diámetro medio ≤ 0,10 mm). <sup>3</sup> No hay instalaciones para hilos finos que usen exclusivamente materiales con NMP. Los valores más altos proceden de mediciones en líneas de fabricación que usan exclusivamente material aislante con NMP (véase el apartado 3.3.2.1 y la discusión sobre los NO <sub>x</sub> más adelante en este mismo apartado). (Véase también la Tabla 3.3 y la Tabla 3.4)		

**Tabla 3.6: Ejemplos de mediciones de emisiones a la atmósfera**  
[80, EWWG, 2004]



Se han realizado muchos intentos de alcanzar un valor bajo de emisiones de CO y NO<sub>x</sub>; sin embargo, el funcionamiento eficiente de la máquina de esmaltado y la destrucción de COV se consideran, conjuntamente, prioritarios.

*Emisiones de COV.* En un ámbito UE-25 para el año 2000 (según el modelo RAINS), las emisiones de COVNM eran de 5,4 kt, lo que representa el 0,05 % de las emisiones totales de COVNM. La producción total era de 420 kt de hilo para bobina revestido y el factor de emisión medio de unos 12,3 kg COVNM/t de hilo revestido, lo que significa que las emisiones de este sector ya se tratan parcialmente en la UE-25 (sobre la base de un factor de emisión sin depuración de 17 g/kg en 1990). Las emisiones de COV son proporcionalmente menores en los procesos de secado, gracias al tratamiento de los gases residuales. La fuente restante más importante de COV es la aplicación de los lubricantes. En la Tabla 3.6 se muestra la fabricación de hilos finos con aplicación de un revestimiento final de cera con *white spirit*. El *white spirit* se seca y, en consecuencia, las emisiones de COV son mayores. No obstante, en el caso de hilos más gruesos se pueden usar nuevas técnicas bajas en disolventes, aunque no son directamente utilizables en hilos finos de 0,01 - 0,1 mm (véase el apartado 3.4.5.6). [128, TWG, 2005]

Las emisiones de disolventes de la industria se han reducido de forma constante durante más de 40 años y se ha estimado una cifra de referencia de 13 g/kg para 1995 (cuando se inició el análisis de las emisiones). La industria propuso un objetivo de reducción de emisiones de 5 g/kg para hilos con diámetros > 0,1 mm para el año 2007 y de 10 g/kg para hilos finos (con un diámetro medio ≤ 0,1 mm). Estas cifras se basaban en un estudio de las industrias que usaban mejores prácticas tecnológicas descritas en este capítulo y modificadas a partir de la experiencia de la dificultad de reducir los disolventes usados en la fabricación de hilos finos (por ejemplo, véase el apartado 3.4.5.6). Esto equivale a una reducción de hasta el 60 % (y de hasta el 70 % en comparación con la estimación de la situación en 1990). [55, Europacable, 1997]

*Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).* Véase el apartado 20.11.9. [140, Tempany, 2006, 163, EWWG, 2005, 193, Tempany, et al., 2006] Los óxidos de nitrógeno se generan como resultado de la oxidación de los COV en los gases residuales y dan lugar a la problemática cruzada entre la reducción de COV y la generación de NO<sub>x</sub>. Una fuente de emisiones de NO<sub>x</sub> es el resultado directo de la oxidación de disolventes nitrogenados usados en la fabricación de determinados sistemas de esmaltado (véase la Tabla 3.5). La concentración de NO<sub>x</sub> es proporcional a la destrucción de COV para los productos que contienen disolventes nitrogenados. Sólo una parte del nitrógeno que contienen las NMP se convierte en óxidos de nitrógeno, en una proporción de 90 % de NO y 10 % de NO<sub>2</sub>. La otra mayor fuente de NO<sub>x</sub> es la oxidación del nitrógeno atmosférico durante la combustión de los COV en el horno. Al usar esmaltes con nitrógeno, los valores de emisión de NO<sub>x</sub> pueden superar fácilmente los 150 mg/Nm<sup>3</sup> en función de las condiciones específicas de flujo de aire en la esmaltadora y del número de máquinas que usen disolventes con nitrógeno. En otros casos con flujos diferentes y otro uso de NMP en las máquinas, los niveles son de 150 mg/Nm<sup>3</sup> e indistinguibles de los niveles satisfactorios de NO<sub>x</sub> asociados a la combustión (véase el BREF CWW [67, EIPPCB, 2003]). Esto es un problema habitual en todas las instalaciones de Europa. Los esmaltes de base disolvente sin nitrógeno, como el acetal polivinílico, dan lugar a hilos de una clase térmica baja y no cumplen las especificaciones exigidas por los clientes que sí alcanzan los productos con poliamida-imida. Actualmente las emisiones de NO<sub>x</sub> tras la oxidación catalítica no reciben ningún tratamiento.

Instalaciones	Grupo de 34 hornos de esmaltado	Grupo de 165 hornos de esmaltado	Instalación 1 esmaltado	Instalación 2
<b>Breve descripción de la instalación</b>	Gases de salida recogidos en tres tubos que llevan a una chimenea (salida de humos)  Condiciones locales especiales: área industrial cercana a una central eléctrica	Gases de salida recogidos por campanas sobre cada fuente en cuatro chimeneas (salida de humos), de 35 – 50 m de altura  Para evitar emisiones de olores (problemas con los vecinos) se extrae una gran cantidad de aire de la sala de fabricación junto con el gas del horno  Las fuentes se hallan dispersas en un área de unos 10 000 m <sup>2</sup>  Condiciones locales especiales: zona mixta industrial y residencial (ZPE climática)	El 80 % de todas las líneas de fabricación usaron NMP durante el período de medición  Dilución de los gases de salida en la campana: 1/10 del horno, 9/10 de la sala  Estimación: 2/3 del NO <sub>x</sub> está causado por la entrada de nitrógeno (NMP), 1/3 por los procesos térmicos	Medición en el ventilador del tejado (ventilación de la sala de fabricación y aire de refrigeración del horno de esmaltado)  Emisiones de NO <sub>x</sub> causadas por fuentes del proceso pequeñas y no controlables.  Número de ventiladores: más de 100, distribuidos en un área de fabricación de 10 000 m <sup>2</sup>
<b>Caudal (Nm<sup>3</sup>/h)</b>	3700, 7000, 34 500	53 600 – 98 000 en cada chimenea valor medio: 68 480	60 - 810	
<b>Temperatura (°C)</b>	~ 80 temperatura del gas a la entrada de la chimenea	70 - 110 temperatura del gas a la entrada de la chimenea	250 - 550 temperatura de los gases de salida no diluidos en la fuente	30 - 45 temperatura del aire
<b>Concentración (mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>)</b>	19 60 34	Media: 51,3	550 – 1500 Media: 615	Valor medio: 12
<b>Caudal másico de NO<sub>x</sub> (kg NO<sub>x</sub>/h)</b>		Total: 14,07	Media: 0,0835 de una sola fuente	Total: 4 media de una sola fuente: < 0,040

**Tabla 3.7: Hilos para bobina: Ejemplos adicionales de emisiones de NO<sub>x</sub> [193, Tempany, et al., 2006]**

La cantidad total de NO<sub>x</sub> emitido por la industria es estima entre 1 y 2,7 kt por año (según las cifras de 2000 EUROSTAT).

*El monóxido de carbono* se forma por la combustión parcial de los componentes del esmalte durante la incineración catalítica en la esmaltadora. El monóxido de carbono es una consecuencia de la destrucción del disolvente, más que de la eficiencia del quemador. La concentración de monóxido de carbono depende del tiempo de residencia dentro del quemador, más que de un ajuste incorrecto del mismo. Si se aumenta la eficiencia de combustión, se reducirían las emisiones de CO, pero con el correspondiente aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.

Una máquina esmaltadora no se controla sobre la base de las emisiones de CO, sino bajo condiciones totalmente diferentes, que son:

- Garantizar la temperatura correcta dentro de la esmaltadora para conseguir las propiedades óptimas de la película de esmalte. El aumento de la temperatura del quemador requeriría la dilución del aire para reducir la temperatura en toda la cámara de esmaltado. Esta técnica necesitaría una gran cantidad de energía y no se considera la mejor opción ambiental.
- Usar aire adicional para no superar el límite explosivo inferior y, en consecuencia, evitar explosiones en la máquina. Por tanto, reducir el caudal para aumentar el tiempo de residencia no es una opción válida.

Se han realizado intentos para limitar la emisión de monóxido de carbono usando catalizadores secundarios; sin embargo, cumplir con los límites de emisión sigue siendo un problema, a causa de la vida útil relativamente corta de los catalizadores y de sus implicaciones económicas correspondientes.

#### **Emisiones de polvo**

Dado que las películas aplicadas sobre los hilos son extremadamente delgadas (del orden de 10  $\mu\text{m}$ ) cualquier tipo de polvo presente en el proceso de esmaltado provocará graves problemas de calidad superficial. Como cualquier emisión a la atmósfera es sólo una parte del aire recirculado, no se espera que haya emisiones de polvo.

Acerca de los valores actuales de consumo y emisión, no existen diferencias importantes entre los países europeos, dado que todos usan la misma maquinaria y técnicas de reducción totalmente integradas en todos los tipos de máquinas esmaltadoras.

#### **3.3.3.2 Vertidos al agua**

El agua empleada en una planta de hilo para bobina suele usarse en circuitos cerrados. Los vertidos al agua del proceso de esmaltado son bajas; no obstante, el uso de agua debe mantenerse lo más bajo posible, lo que se consigue con las siguientes técnicas:

- minimización del flujo a través de los baños de enfriamiento y reciclaje del agua mediante filtros y desionizadores siempre que sea factible;
- uso de conductímetros para optimizar el tratamiento y conservar el agua en torres de refrigeración;
- prolongación de la vida útil de las emulsiones de lubricantes para el trefilado de hilos transportadas por agua, mediante el filtrado y el centrifugado, siempre que sea factible, y obtención de una gestión eficiente del lubricante para evitar un envejecimiento prematuro por estancamiento y degradación bacteriana.

#### **3.3.3.3 Residuos**

Las fuentes principales de residuos son el proceso de trefilado y la etapa de esmaltado en la fabricación de hilos para bobina [128, TWG, 2005].

Trefilado:

- La emulsión para trefilado se usa en un sistema de ciclo cerrado, se limpia continuamente con un filtro de papel o en un separador hidrociclónico. Para reducir la cantidad de residuos, se realiza un tratamiento de la emulsión (reacondicionamiento) con agua desmineralizada; durante este proceso se evapora agua y se minimiza la cantidad de residuos.
- Los filtros del circuito con la emulsión contienen una cierta cantidad de partículas de cobre procedentes del proceso de trefilado. Se reciclan externamente debido al contenido de cobre.

Esmaltado:

- En la aplicación de barniz, para reducir las pérdidas del mismo, éste se aplica en baños de barniz, durante la extracción del molde, usando un circuito de barnizado y dosificándolo mediante un fieltro de aplicación.
- Reciclado de hilos brutos o esmaltados. Los restos de fabricación (hilos brutos y esmaltados) se reciclan en un 100 %.
- Los disolventes usados, esmaltes residuales y trapos de limpieza con disolvente se recogen y se eliminan (normalmente por incineración).

### 3.4 Técnicas a considerar en la determinación de MDT para la fabricación de hilos para bobina

#### 3.4.1 Técnicas generales en la fabricación de hilos para bobina [128, TWG, 2005]

En el capítulo 20 se comentan técnicas que también se podrían aplicar a la fabricación de hilos para bobina. En la Tabla 3.8 se muestran las técnicas generales relevantes para la fabricación de hilos para bobina. En general, estas técnicas no se repiten en este apartado, a no ser que se disponga de información específica para la industria. En Tabla 20.1 se proporciona una descripción del tipo de información considerada para cada técnica y en este apartado se comenta la aplicabilidad.

Técnica	Apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6 (no 20.6.3)
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Diseño, optimización y gestión de las técnicas de extracción y reducción	20.11.1
Selección, diseño y optimización de sistemas	20.11.1.1
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Tratamiento de disolventes usados para su reutilización	20.13.2
Trapos de limpieza desechables	20.13.3
Trapos de limpieza reutilizables	20.13.4
Recuperación de disolventes usados de los trapos	20.13.5
Contenedores reutilizables	20.13.6
Reducción de ruido	20.16

Tabla 3.8: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector

La hoja resumen del EGTEI para revestimientos de hilos para bobina (véase el anexo 24.1.1) proporciona algunos datos acerca de los costes y beneficios en un ámbito europeo para algunas técnicas de reducción de emisiones de COV. Sin embargo, el enfoque del EGTEI necesita limitar su complejidad y sólo se consideran las técnicas clave, sin referencia a los otros factores de las MTD, como los efectos cruzados o las características técnicas de las instalaciones y productos particulares. [133, EGTEI, 2005] [128, TWG, 2005]

Las técnicas descritas en los subapartados del 20.6.3 no son aplicables en la fabricación de hilos para bobina. El compuesto de esmaltado lo suministra, en la etapa final, el fabricante del mismo según el contenido de disolventes y polímeros solicitado; no hay ninguna operación de mezcla en la instalación de fabricación de hilo, ni dilución o adición de disolventes durante el proceso de fabricación de hilos esmaltados.

Apartado 20.7: A causa de la naturaleza especializada e integrada de los equipos de procesamiento para revestimiento de hilos para bobina (que se describe en los apartados 3.1, 3.2 y 3.4), las técnicas generales sólo cubren aspectos que no son técnicamente aplicables a las máquinas integradas de hilo para bobina.

Apartado 20.8: El secado no es aplicable en las instalaciones de fabricación de hilo para bobina a causa de la especificación de la industria de una alta temperatura en el proceso de esmaltado usado.

Apartado 20.10: La sustitución no es aplicable ya que la mezcla de esmaltes especificados no se puede modificar sin cambiar la mezcla. El rendimiento de la capa aislante está fijado en normas internacionales y especificado por los clientes. Todas las sustituciones descritas en los subapartados del 3.4 se realizaron en estrecha colaboración con los clientes, pero la mayoría no consiguieron cumplir los requisitos establecidos en el subapartado correspondiente.

Apartados 20.11.2 a 20.11.8: Las técnicas presentadas no son aplicables a la industria de hilo para bobina. El tratamiento de gases residuales usado en el proceso en línea se presenta detalladamente en el capítulo 3. Las máquinas esmaltadoras específicas de esta industria no permiten la modificación o la sustitución de algunas partes del sistema. El ciclo de gas en los secadores ya está optimizado para la recirculación y la recuperación de calor, así como para la oxidación de COV. El apartado sobre oxidación catalítica no contiene información adicional acerca de esta sección específica de hilo para bobina. El tratamiento biológico no es aplicable a causa de las altas temperaturas de los gases residuales.

Apartado 20.11.9: En las técnicas de reducción de NO<sub>x</sub> se hace notar que no se ha aplicado SCR ni RCNS en la industria de hilo para bobina por razones económicas. Deberían adaptarse lavadores de agua en cada horno o línea o bien disponer de sistemas muy grandes de captura de gases residuales. Estas técnicas no se han aplicado en este sector y las cantidades de NO<sub>x</sub> emitidas no parecen justificar actualmente la inversión técnica y económica necesaria.

Apartado 20.12: No se aplica tratamiento de aguas residuales, ya que sólo el proceso de trefilado emplea agua y usa un ciclo cerrado para la emulsión de trefilado.

Apartado 20.13.7: No se aplica dado que no se usa carbón activo.

Apartado 20.13.8: No se aplica dado que en este tipo de instalaciones no hay tratamiento de aguas residuales.

Apartados 20.14 y 20.15: La reducción de polvo y de olores ya se tratan mediante la técnica de maquinaria en línea.

Las técnicas a considerar en la determinación de MTD en la industria de hilo para bobina y los intentos de sustitución de técnicas y materiales se presentan en los subapartados siguientes (3.4.x).

## 3.4.2 Gestión energética

### 3.4.2.1 Enfriamiento de los hilos con aire de la sala o aire exterior

**Descripción:** Tras el secado y el curado del revestimiento de esmalte, el hilo debe enfriarse antes de que pueda retornar al proceso para aplicarse otra capa de esmalte o el lubricante. Para ello puede usarse el aire de la sala o aire exterior. Durante el invierno, el aire de la sala y el aire exterior suelen mezclarse para evitar la condensación de agua en el sistema refrigerador.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menor consumo de energía, ya que el aire de la sala o el aire exterior no deben enfriarse ni someterse a ningún tratamiento antes de usarlos.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Se aplica habitualmente en la fabricación de hilo para bobina.

**Aplicabilidad:** La técnica es aplicable en plantas nuevas y existentes y se aplica habitualmente en todas las instalaciones europeas de fabricación de hilo para bobina.

**Aspectos económicos:** Técnica con un coste muy bajo.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [64, EWWG, 2004]

## 3.4.3 Procesos convencionales con disolventes

### 3.4.3.1 Aplicación de baños convencionales de revestimientos de base disolvente con circuito de revestimiento y aplicación de molde

**Descripción:** El uso de baños de revestimientos esmaltados convencionales de base disolvente, con circuito de revestimiento y aplicación de molde se realiza habitualmente en la industria de hilo para bobina. La cantidad de revestimiento (o esmalte) se controla mediante moldes en capas consecutivas. Los moldes se limpian con disolventes antes de reutilizarlos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La técnica es aplicable en plantas nuevas y existentes. Se aplica habitualmente en la fabricación de hilo para bobina.

**Aspectos económicos:** Se trata de la forma más rentable de lograr una aplicación muy precisa del esmalte.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Todas las instalaciones europeas.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [64, EWWG, 2004]

### 3.4.3.2 Aplicación de revestimientos convencionales de base disolvente con aplicación dosificada y mediante fieltros

**Descripción:** El uso de revestimientos convencionales de base disolvente con aplicación dosificada y mediante fieltros se realiza habitualmente.

Los fieltros contaminados con esmalte de los hilos tienen una vida útil limitada y no se pueden regenerar; en consecuencia, se tratan como residuos peligrosos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menores emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Esta técnica se aplica habitualmente en la fabricación de hilo para bobina.

**Aplicabilidad:** Es aplicable en plantas nuevas y existentes. Para la fabricación de hilos finos, es el sistema de aplicación usado habitualmente.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Todas las instalaciones europeas.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [64, EWWG, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 3.4.3.3 Aplicación de lubricantes convencionales de base disolvente mediante fieltros

**Descripción:** La aplicación de una capa bien definida de lubricante es un requisito del cliente y se ha utilizado durante muchos años. Algunos clientes piden un lubricante específico o suministran ellos mismos el que desean al fabricante de hilo para bobina. La capa de lubricante no es una protección para el hilo de cobre aislado, sino un elemento indispensable para el funcionamiento de los bobinados en las instalaciones del cliente. Demasiado lubricante, o demasiado poco, provoca que el hilo se vuelva pegajoso e imposibilita un arrollamiento denso. En consecuencia, la bobina del motor o transformador no queda rellena de cobre de forma óptima y disminuye su eficiencia energética. El grosor de la capa de lubricante es casi monomolecular; un valor habitual es de unos 30 – 60 mg/m<sup>2</sup> para hilos medios o gruesos y de unos 5 – 10 mg/m<sup>2</sup> para hilos finos con un diámetro inferior a 0,10 mm.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Emisiones de COV elevadas.

**Información operativa:** Esta técnica permite la fabricación de motores y transformadores eficientes energéticamente. No obstante, se trata de un beneficio obtenido en global y no específicamente en la planta en que se produce el hilo.

Esta técnica se aplica habitualmente en la fabricación de hilo para bobina, lo que da lugar a una capa uniforme de lubricante, tal como se requiere.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se aplica habitualmente en la fabricación de hilos de sección circular.



**Aspectos económicos:** Costes de inversión y funcionamiento bajos comparados con las técnicas alternativas.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Casi todas las instalaciones del mundo.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [64, EWWG, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 3.4.4 Emulsiones al agua convencionales

**Descripción:** Las emulsiones al agua se usan habitualmente para enfriar el hilo y para reducir la fricción durante el trefilado. En función del tamaño del hilo en la máquina, el contenido de grasa se halla entre el 0,1 y el 20 %. La vida útil de la emulsión se ha duplicado durante la última década, gracias al filtrado de la misma y la recuperación de las partículas de cobre.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El proceso de trefilado se realiza completamente sin disolventes.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** El aceite mineral no se usa como disolvente, sino para generar la emulsión en agua desionizada, que se usa en un sistema de ciclo cerrado.

**Aplicabilidad:** Se trata de una técnica bien introducida en el sector. Es aplicable en plantas nuevas y existentes.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Todas las instalaciones europeas.

**Bibliografía de referencia:** [64, EWWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 3.4.5 Sustitución de materiales convencionales de base disolvente

Estos apartados describen posibles alternativas a los revestimientos de esmaltado (véase los apartados 3.4.3.1 y 3.4.3.2) y lubricantes (véase el apartado 3.4.3.3) convencionales.

#### 3.4.5.1 Revestimientos de esmaltado de alto contenido en sólidos

**Descripción:** Durante los últimos 20 años, el contenido en sólidos en general se ha incrementado del 30 al 45 % aproximadamente (lo que conlleva una reducción de disolvente del 70 a 55 %) y en un 20 - 30 % para hilos finos de diámetros inferiores a 0,10 mm, con una reducción correspondiente de disolvente del 80 al 70 %, gracias a la aplicación de fieltros. Se podrían realizar progresos adicionales para reducir el uso de disolventes costosos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Una reducción significativa de las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** Un contenido elevado en sólidos requiere un gran aporte de energía adicional para el proceso de fabricación y, por tanto, una mayor entrada de energía para calefacción; sin embargo, se generan más residuos.

**Información operativa:** Un aumento elevado del contenido en sólidos muestra una tendencia a generar una menor calidad de las películas aislantes; véase el apartado 3.4.6.2. También resulta más complicado lograr el grosor correcto de cada capa aislante. La experiencia demuestra que existe una correlación directa entre el contenido en sólidos y la cantidad de restos generada. Por lo tanto, era necesario reducir deliberadamente el contenido en sólidos a causa de la cantidad de material generada como residuo.

**Aplicabilidad:** La técnica es aplicable en plantas nuevas y existentes.

**Aspectos económicos:** Baja rentabilidad económica. Reducción de costes para el disolvente en los esmaltes, pero se recupera menos energía de la incineración de los disolventes en los gases residuales.

**Motivo principal para su aplicación:** Reducción de costes.

**Ejemplos de instalaciones:** Todas las instalaciones aplican sistemas de revestimiento con un contenido en sólidos de aproximadamente el 30 al 45 %.

**Bibliografía de referencia:** [64, EWWG, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 3.4.5.2 Revestimientos de esmaltado al agua

**Descripción:** Se realizaron pruebas con esmaltes acrílicos hace algunos años. No cumplieron con la norma IEC requerida ni con los requisitos cada vez más elevados de rendimiento eléctrico y mecánico exigidos por el cliente. Se necesita una pequeña cantidad de disolvente (hasta un 15 % de alcoholes y aminas) para mantener el rendimiento superficial.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Una reducción significativa de las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** Vertidos al agua y un gran aumento del consumo de energía, necesaria para el secado; no se emplea la recuperación de energía del incinerador.

**Información operativa:** Las primeras experiencias muestran la necesidad de un mayor aporte de material y un mayor tiempo de secado. A causa de los costes elevados y de aspectos tecnológicos, aún no se ha demostrado que esta alternativa sea factible.

**Aplicabilidad:** Actualmente esta técnica no es aplicable.

**Aspectos económicos:** Baja rentabilidad económica. La remodelación es una operación de coste elevado, ya que deben sustituirse todas las tuberías con material de acero inoxidable. Además, debe cambiarse la zona de secado (más larga / más cálida).

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [64, EWWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 3.4.5.3 Revestimientos de esmaltado con curado por UV

**Descripción:** Los revestimientos de esmaltado con curado por UV pueden ser una posible alternativa a los revestimientos de esmaltado convencionales de base disolvente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las emisiones de disolventes del sistema de revestimiento se reducen a cero.

**Efectos cruzados:** Se necesitan lámparas de UV para el secado. Gran consumo de energía.

**Información operativa:** Los materiales existentes no cumplirán las especificaciones necesarias. Se prevén grandes problemas para lograr el grosor correcto y la formación de ampollas provocará un mal rendimiento eléctrico.

A causa de la falta de rendimiento, los elevados costes y problemas tecnológicos y de seguridad, no se ha demostrado que esta técnica sea factible.

**Aplicabilidad:** Hasta ahora este método/proceso no se ha utilizado. Actualmente la UE apoya algunas actividades de desarrollo, pero los resultados no son alentadores hasta el momento.

**Aspectos económicos:** Baja rentabilidad económica. La remodelación es una operación costosa. También se esperan elevados costes de material.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [64, EWWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 3.4.5.4 Revestimientos de esmaltado sin cresoles

**Descripción:** Los esmaltes que contienen cresoles son corrosivos o tóxicos; por ejemplo, el acetoformal de polivinilo está clasificado como tóxico. Los cresoles pueden sustituirse por diglicol o compuestos parecidos.

**Beneficios ambientales obtenidos:**

**Efectos cruzados:** Los revestimientos de esmaltado sin cresoles no son esencialmente mejores para la salud humana, porque pueden causar malos olores y también pueden ser corrosivos y tóxicos.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Debido a la falta de calidad y de rendimiento eléctrico, estos esmaltes aún no son una alternativa factible.

**Aspectos económicos:** Baja rentabilidad económica. Este revestimiento alternativo, de base disolvente sin cresoles, es más caro y produce una menor calidad.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [64, EWWG, 2004, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 3.4.5.5 Revestimientos de esmaltado de poliéster pulverizado

**Descripción:** Existen revestimientos de poliéster pulverizado, pero sólo son aplicables en hilo para bobina del tipo baja temperatura.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las emisiones de disolventes de los sistemas de revestimiento se reducen a cero.

**Efectos cruzados:** Mayor riesgo de explosión.

**Información operativa:** A causa de la falta de rendimiento (baja resistencia térmica, mala adherencia y, por tanto, propiedades mecánicas y eléctricas insuficientes) y de los elevados costes de inversión, no se ha demostrado aún que esta técnica sea factible.

Al aplicar esta técnica ya no se dispone de flexibilidad en la fabricación.

**Aplicabilidad:** Actualmente no se aplica. En la década de 1980 se realizaron pruebas, pero se interrumpió el desarrollo tras una explosión.

**Aspectos económicos:** Baja rentabilidad económica. La remodelación es una operación costosa.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [64, EWWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 3.4.5.6 Lubricantes sin disolventes

**Descripción:** Los lubricantes sin disolventes se pueden aplicar mediante filamentos lubricantes o fieltros. En algunas fábricas se usan dos sistemas alternativos: se aplica lubricante fundido a la superficie del hilo mediante un fieltro embebido de lubricante o cargando el hilo esmaltado acabado con un filamento lubricante que funde gracias al calor residual del hilo. Esta última técnica aplica el lubricante enrollando el filamento dos o tres veces alrededor del hilo esmaltado y desplazándolo en la misma dirección pero a una velocidad menor.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se evitan las emisiones de disolventes procedentes de la lubricación. En el caso de hilos no finos, el filamento puede reducir las emisiones de COV a 3 – 4 g/kg de producto.

**Efectos cruzados:** Se generan residuos de los filamentos usados y, hasta el momento, no hay posibilidades de reciclaje.

**Información operativa:** La capa de lubricante no es una protección para el hilo de cobre aislado, sino una forma bien definida para lograr el rendimiento específico del hilo exigido por el cliente. Los sistemas de aplicación deben garantizar que la pequeña cantidad necesaria de lubricante se aplica de forma homogénea sobre la superficie del hilo. Para consultar los valores habituales, véase el apartado 3.4.3.3. Los sistemas de aplicación de lubricantes sin disolventes no se pueden usar en hilos de diámetro inferior a 0,15 mm, porque la fricción generada entre el hilo y el lubricante es mayor de lo normal, lo que provoca más roturas del hilo. Posteriormente, se generan más residuos al fabricar hilos menores de 0,15 mm.

Los requisitos de calidad del cliente, por lo que respecta al grosor y la uniformidad de la película lubricante, deben tenerse en cuenta al tratar con alternativas sin disolventes. El lubricante lo suelen especificar los clientes. En general, puede afirmarse que requisitos de alta calidad e hilos finos son menos adecuados para lubricantes sin disolventes.

También es necesario supervisar y mantener el sistema de aplicación y existe el peligro de fallos. Comparadas con el sistema convencional, estas alternativas no son lo bastante efectivas ni simples como para ser fiables.

**Aplicabilidad:** La técnica es aplicable en plantas nuevas y existentes. La mayoría de instalaciones disponen de algunas líneas (aunque unas pocas tienen hasta el 20 % de las líneas) con aplicadores de lubricantes sin disolventes. Hasta ahora esta técnica sólo se ha usado para clientes específicos; su aplicación general no es posible a causa de los requisitos de los clientes. La técnica sólo es aplicable en un intervalo reducido de diámetros del hilo, de 0,15 a 1,5 mm (por tanto no es factible para hilos finos).

**Aspectos económicos:** Una ganancia económica reside en el hecho que se omiten los disolventes. Los sistemas alternativos que usan filamentos empapados se han estado desarrollando durante varios años. Estos sistemas requieren grandes costes de inversión para cada línea y presentan unos costes de funcionamiento comparables a la opción con disolventes. Las roturas de los filamentos generan gran cantidad de residuos.

**Motivo principal para su aplicación:** Requisitos de los clientes para usar la alternativa y mejorar el entorno de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [64, EWWG, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 3.4.6 Sustitución de procesos convencionales de revestimiento con disolventes

Estos apartados describen técnicas en las que los sistemas convencionales de aplicación de esmalte se sustituyen por sistemas diferentes (sistemas que usan maquinaria de fabricación diferente).

#### 3.4.6.1 Revestimientos de esmaltado por extrusión

**Descripción:** Esta técnica, con un aislamiento de elevado grosor, se halla en desarrollo y es necesaria en aplicaciones muy especiales. Se aplica para fabricar hilos totalmente aislados con un gran grosor de aislamiento y para evitar efectos de corona. La línea de fabricación es totalmente diferente ya que los materiales son considerablemente diferentes de los de base disolvente. El producto es más parecido a un cable que a un hilo para bobina.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las emisiones de disolventes del sistema de revestimiento se reducen a cero.

**Efectos cruzados:** Se necesita energía adicional para el funcionamiento del extrusor. La reutilización o el reciclaje del material aislante no es posible, lo que provoca un aumento de los residuos.

**Información operativa:** El polímero hace que el hilo se vuelva elástico, lo que da lugar a arrollamientos menos compactos con una menor eficiencia energética.

A causa de la falta de rendimiento, los elevados costes y problemas tecnológicos y de seguridad, aún no se ha demostrado que esta técnica sea factible.

**Aplicabilidad:** Esta técnica no es aplicable para hilos de diámetro inferior a 0,15 mm, ya que éste se rompería a causa de la viscosidad del polímero fundido. Hasta el momento, este proceso no se ha usado en plantas de fabricación de hilo para bobina.

**Aspectos económicos:** Baja rentabilidad económica. El coste del polímero es aproximadamente 10 veces superior al coste del esmalte habitual para hilos.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Unas pocas plantas en diversos lugares del mundo están aplicando esta técnica; sin embargo, no se trata de plantas de fabricación de hilo para bobina.

**Bibliografía de referencia:** [64, EWWG, 2004] [76, TWG, 2004]

#### 3.4.6.2 Revestimientos de esmaltado por fusión en caliente

**Descripción:** Se aplica un material termoendurecible sobre el conductor de cobre. Este sustituto es termoplástico hasta los 100 °C, la resina se mantiene en estado líquido a aproximadamente 80 °C y puede aplicarse con moldes sobre el conductor de cobre.

Se han realizado pruebas, especialmente con diámetros de hilo superiores a 0,355 mm, pero todos los hilos no pueden satisfacer las demandas habituales y cada vez más exigentes de la moderna fabricación de hilo en lo que respecta a la adherencia y flexibilidad, la resistencia al calor, la resistencia al corte, la resistencia térmica, la resistencia a la abrasión y el centrado de la película aislante. Debido al contenido en sólidos de casi el 100 % y el número menor de capas aislantes, no es posible conseguir pequeñas tolerancias del grosor de la película de forma precisa. Menos capas y un mal centrado provocan una disminución de la resistencia dieléctrica de la capa aislante.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Como se trata de un proceso casi sin uso de disolventes, se puede conseguir una reducción significativa de las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** Las fusiones en caliente contienen pequeñas cantidades de sustancias alcohólicas que provocan un olor a combustión por oxidación y craqueo durante el proceso de esmaltado. Para el curado se necesita un gran consumo de energía.

**Información operativa:** La aplicación de sustancias de fusión en caliente requiere temperaturas de entre 80 y 100 °C en las bombas de circulación de la resina, lo que puede dar lugar a algunos problemas para los operarios en la zona de trabajo.

No es posible la recuperación de energía del horno, debido a la falta de disolventes.

**Aplicabilidad:** Con sustancias de fusión en caliente no se puede fabricar toda la gama de productos actuales. No existe solución para una sustitución directa (1:1) de los sistemas aislantes actuales. Se han realizado pruebas desde mediados de la década de 1990 pero sin éxito. Esta técnica no es aplicable para diámetros del hilo inferiores a 0,15 mm, ya que éste se rompería a causa de la viscosidad del polímero fundido. A causa de la falta de rendimiento, los elevados costes y problemas tecnológicos y de seguridad, aún no se ha demostrado que esta técnica sea factible.

**Aspectos económicos:** Baja rentabilidad económica. La maquinaria existente debe cambiarse en su totalidad. Deben desarrollarse nuevos materiales aislantes, probados por el fabricante de hilo y autorizados por los clientes.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [64, EWWG, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 3.4.6.3 Revestimientos de esmaltado epóxicos bicomponente

**Descripción:** El único revestimiento alternativo con dos componentes es un sistema epóxico; sin embargo, para muchos productos el intervalo de temperaturas no es suficiente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las emisiones de disolventes procedentes de los sistemas de revestimiento se reducen a cero. El secado forzado es redundante.

**Efectos cruzados:** Los sistemas epóxicos bicomponente puede presentar mayores problemas para la salud y seguridad de los trabajadores.

**Información operativa:** Se trata de un sistema de aplicación de esmalte completamente diferente (maquinaria de fabricación). También es una técnica de fabricación difícil, con un alto riesgo de dañar la maquinaria.

**Aplicabilidad:** Actualmente no se aplica esta técnica porque, a causa de la falta de rendimiento y los elevados costes, aún no se ha demostrado que sea factible. Además, sólo es aplicable para una pequeña parte de la gama de productos (clase de temperatura), ya que es demasiado rígida.

**Aspectos económicos:** Baja rentabilidad económica. La remodelación es una operación costosa, ya que requiere una maquinaria totalmente diferente.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Ninguna.

**Bibliografía de referencia:** [64, EWWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 3.4.6.4 Revestimientos de esmaltado por electrodeposición

**Descripción:** El material de revestimiento por electrodeposición es diferente de los actualmente usados y necesita una maquinaria de fabricación completamente diferente. El índice térmico de las películas aislantes está limitado a 130 °C. Sin embargo, bastante más del 50 % de las aplicaciones de los hilos exigen una resistencia térmica de hasta 200 °C.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción significativa de las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** Gran consumo de energía.

**Información operativa:** Con la aplicación de esmaltes al agua, el grosor del revestimiento queda automáticamente restringido y no cumple con las demandas cada vez mayores de los clientes en la fabricación del hilo. Además, no se puede aplicar un gran número de capas.

La experiencia muestra una mala adherencia al hilo de cobre, deficientes propiedades mecánicas y deficientes propiedades superficiales, lo que da lugar a un rendimiento eléctrico insuficiente. A causa de la falta de rendimiento, los elevados costes y problemas tecnológicos y de seguridad, aún no se ha demostrado que esta técnica sea factible.

**Aplicabilidad:** Esta técnica sólo se usa para recubrimientos muy finos.



**Aspectos económicos:** Baja rentabilidad económica. La introducción de un sistema de aplicación de este tipo exige unos elevados costes de inversión y, además, la velocidad de fabricación es muy baja en este proceso continuo.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [64, EWWG, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 3.4.6.5 Revestimientos autolubricantes

**Descripción:** La capa externa del sistema de revestimiento también contiene lubricante (una cera especial).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se evitan las emisiones de disolventes de una etapa de lubricación separada.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Experiencias actuales poco importantes muestran que este revestimiento autolubricante necesita la aplicación adicional de un lubricante diferente para evitar la fricción durante las operaciones de bobinado.

**Aplicabilidad:** Hasta el momento esta técnica sólo la han usado clientes específicos y se halla en desarrollo en otros lugares. Su aplicación general no es posible a causa de los requisitos de los clientes. Para hilos finos, el coeficiente de fricción que se puede lograr es peor que en el caso de sistemas de base disolvente. Podría ser una solución para los problemas de emisión de disolventes en los próximos cinco años. No obstante, esta alternativa no es aplicable en la fabricación de hilos planos.

**Aspectos económicos:** Es probable que su impacto sea nulo, ya que el coste del esmalte es mayor pero se elimina el coste del lubricante de disolventes.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplimiento de la DED.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [64, EWWG, 2004] [76, TWG, 2004]

### 3.4.7 Tratamiento de gases residuales

#### 3.4.7.1 Gases residuales del esmaltado

**Descripción:** El aire usado para el secado (proceso de curado o evaporación) del revestimiento esmaltado del hilo se extrae (véase el apartado 20.11.2) y se envía a un equipo de oxidación catalítica (véase el apartado 20.11.4.6). El aire caliente tratado se devuelve al horno de esmaltado. La destrucción de disolventes proporciona aproximadamente el 50 % de la energía necesaria para el proceso de esmaltado. Una parte de este aire limpio se extrae continuamente hacia la atmósfera.

La temperatura de combustión se halla habitualmente en el intervalo de 500 a 750 °C.

Se ahorra más energía si el aire caliente extraído se utiliza para la calefacción, con regeneradores térmicos, de:

- el aire entrante cargado de la sala en la entrada del horno de curado,
- el horno de recocido del hilo bruto,
- el generador de vapor.

Los gases residuales procedentes de la técnica de depuración conectada a los hornos de esmaltado para reducir COV, pueden contener concentraciones altas de NO<sub>x</sub> (véase el apartado 3.3.3.1). Aún así, no se aplican técnicas de depuración, ya que actualmente no se consideran viables técnica o económicamente en este sector.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El equipo de oxidación catalítica consigue una eficiencia de eliminación del 97 %. Habitualmente los niveles de emisión alcanzados en la fabricación de hilo para bobina son de 5 g COV/kg de producto para hilos con un diámetro medio inferior a 0,10 mm, y de 10 g COV/kg de producto para hilos con un diámetro medio superior a 0,10 mm. La destrucción de disolventes proporciona aproximadamente un 50 % de la energía necesaria. EL consumo de energía también se reduce porque debe calentarse menos aire fresco.

**Efectos cruzados:** Emisiones de NO<sub>x</sub>, CO y CO<sub>2</sub>.

**Información operativa:** La reducción del flujo de gases residuales está limitada por la necesidad de evitar emisiones fugitivas de los dos extremos abiertos de los hornos de esmaltado y de prevenir el riesgo de incendio y de explosiones. Se garantiza un nivel razonable de seguridad si el aire contaminado contiene una cantidad suficiente de aire limpio o circulado para evitar el LIE (límite inferior de explosión).

**Aplicabilidad:** La técnica es aplicable en plantas nuevas y existentes. Se aplica habitualmente como parte integrada del horno. Las piezas individuales de la maquinaria no pueden sustituirse y, por tanto, no es posible la remodelación del horno.

**Aspectos económicos:** El tratamiento continuo con catalizadores del aire de proceso circulante en los hornos de curado ahorra energía eléctrica (alrededor de un 50 %) mediante la oxidación del disolvente.

**Motivo principal para su aplicación:** Ahorro de energía y reducción de los olores de los gases residuales y de las emisiones de COV.

**Ejemplos de instalaciones:** Todas.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [64, EWWG, 2004] [65, UKDEFRA, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 3.4.7.2 Lubricación

**Descripción:** Las emisiones fugitivas procedentes de la lubricación son una fuente importante de emisiones de COV en la industria de fabricación de hilo para bobina. Sin embargo, la extracción y tratamiento de estas emisiones no es factible técnica o económicamente (véanse los apartados «Información operativa» y «Aspectos económicos» a continuación). Para reducir estas emisiones fugitivas, durante los últimos 10 - 15 años, se han modificado una gran cantidad de líneas para sustituir los lubricantes convencionales de base disolvente por materiales sin disolventes (véase el apartado 3.4.5.6).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de COV en los casos en que materiales sin disolventes han sustituido alternativas que contenían disolventes.

**Efectos cruzados:** Mantenimiento de las emisiones de COV en los sistemas convencionales.

**Información operativa:** Para secar el hilo con el aire de la sala, éste debe desplazarse horizontalmente varios metros. Es una zona muy grande para usar un sistema de extracción. El proceso de secado del lubricante no debe realizarse pasando a través del horno de esmaltado, ya que el contenido de cera del lubricante se quemaría a causa de las altas temperaturas. Además no resulta factible conducir los gases residuales directamente hacia el horno de esmaltado, que funciona en un circuito de aire casi cerrado, a causa de la gran cantidad de aire frío. La disposición del horno debería modificarse completamente (nuevas máquinas) para asumir este volumen de aire y reducir sólo una cantidad limitada de emisiones fugitivas. Por ejemplo, la reducción de sólo el 60 % de las emisiones fugitivas con una ventilación de algunos cientos de m<sup>3</sup>/h con concentraciones relativamente bajas de COV (50 – 100 ppm).

**Aplicabilidad:** La extracción de disolventes del proceso de lubricación no se aplica habitualmente. Se ha probado en Suecia e Italia sin resultados satisfactorios.

**Aspectos económicos:** La extracción de las emisiones fugitivas del proceso de aplicación de lubricante es muy caro cuando se modifican los hornos y es muy costoso utilizar una instalación de tratamiento centralizada para eliminar o incinerar los disolventes. Informes recientes para la incineración térmica y para un sistema de tuberías dan unos costes de instalación de 300 000 - 350 000 EUR para toda la fábrica y, adicionalmente, unos costes de funcionamiento de 40 000 - 50 000 EUR por año.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [64, EWWG, 2004] [66, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

## 4 FABRICACIÓN DE ABRASIVOS

[12, UBA Alemania, 2002, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 4.1 Información general sobre la industria de abrasivos

#### 4.1.1 Ámbito de aplicación

El desbastado es uno de los procesos de fabricación más antiguos. Una característica básica del desbastado es el efecto de numerosos materiales cortantes no orientados sobre la pieza de trabajo. Los materiales abrasivos actuales son el corindón sintético o el carburo de silicio y, a menudo, nitruro de boro cúbico o diamante.

Se puede procesar una gran variedad de materiales, como metales férricos y no férricos, vidrio, cerámica, piedra natural, hormigón, plásticos y madera. El campo de aplicación del desbastado es muy amplio e incluye actividades como el desbastado burdo de hierro fundido o el desbastado de alta precisión de agujas tubulares para uso médico. Numerosos productos en la fabricación de herramientas, construcción de vehículos o aeronaves, centrales eléctricas o herrajes sólo obtienen su acabado final y superficie de alta calidad mediante el desbastado.

#### 4.1.2 Fabricación y ventas

Actualmente, en Alemania más de 100 empresas fabrican todo tipo de abrasivos y unas 70 empresas están representadas por la asociación alemana de fabricantes de abrasivos (VDS – Verband Deutscher Schleifmittelwerke).

Según los datos de la VDS, la industria alemana de abrasivos tiene un papel de liderazgo en Europa. La Tabla 4.1 ofrece unos datos generales sobre su importancia económica.

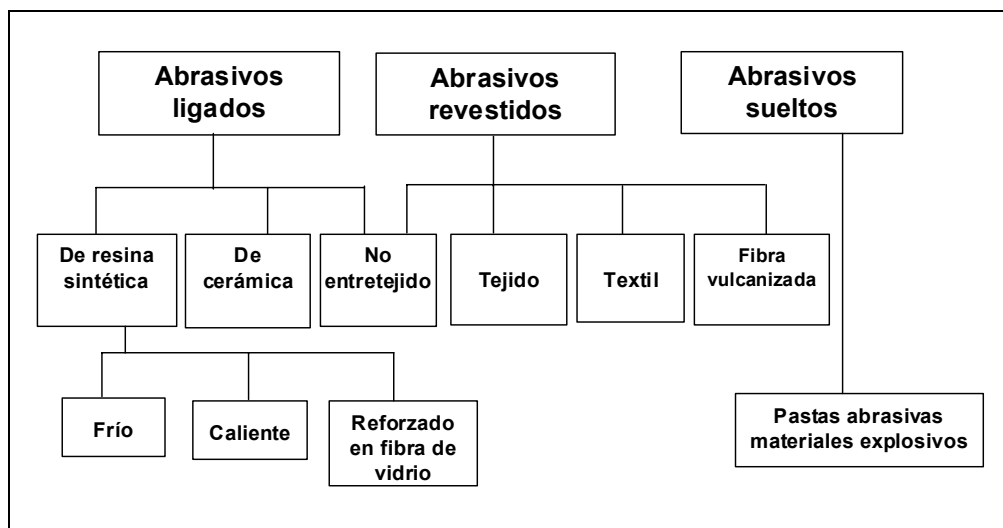
	Millones de EUR
<b>Fabricación de abrasivos ligados</b>	~ <b>305</b>
Importaciones	~ 82
Exportaciones	~ 170
<b>Fabricación de abrasivos revestidos</b>	~ <b>385</b>
Importaciones	~ 205
Exportaciones	~ 310

Tabla 4.1: Fabricación de abrasivos en 1999 en Alemania  
[12, UBA Alemania, 2002]

#### 4.1.3 Caracterización de un producto como «abrasivo» y demandas de calidad

En la fabricación de abrasivos se puede diferenciar básicamente entre los abrasivos ligados de muelas y ruedas abrasivas y los abrasivos revestidos de telas y papeles abrasivos. Existen abrasivos sueltos, que no están unidos a ningún sustrato (como las pastas de pulido).

La Figura 4.1 muestra un esquema simplificado del desarrollo y clasificación de los diferentes tipos de abrasivos.



**Figura 4.1: Esquema general de los diferentes tipos de abrasivos**  
[12, UBA Alemania, 2002]

En la fabricación de abrasivos ligados y sueltos se usan parcialmente disolventes orgánicos. Se puede asumir que las instalaciones alemanas no representan una actividad en el sentido del punto 6.7 del anexo I de la directiva IPPC. En consecuencia, los procesos de fabricación asociados a estas actividades no se considerarán en los párrafos siguientes.

La actividad de fabricación de abrasivos revestidos puede estar sometida a la directiva IPPC, a causa del uso de cantidades importantes de disolventes orgánicos, y a los umbrales establecidos en la misma. Los abrasivos revestidos son un material básico para muchas desbastadoras con elementos como cuchillas, planchas o discos, o formadas a partir de estos elementos (p. ej. películas de separación, ruedas abrasivas, cintas). Según el uso previsto y el material básico, se pueden diferenciar diversos sistemas de unión.

Los abrasivos no tejidos se hallan en una posición especial entre los abrasivos revestidos y los abrasivos ligados, ya que pueden usarse tanto como un cuerpo abrasivo como en forma de elemento abrasivo. Están formados por fibras de poliamida sobre la cual se fija el material abrasivo mediante una sustancia de unión. Los procesos de fabricación son parecidos a los de abrasivos revestidos.

Los abrasivos revestidos están formados por:

- un sustrato, como papel, tejido acabado, fibra vulcanizada, película;
- un material de unión, como sistemas de encolado, resinas fenólicas, resinas epóxicas, poliuretano o resinas de urea;
- granos abrasivos, como sílex, carburo de silicio, corindón, alúmina de circonio o, más raramente usado, diamante y CBN (nitruro de boro cúbico).

#### 4.1.3.1 El sustrato

El término «abrasivos revestidos» hace referencia a la importancia del sustrato. En función del uso previsto y de la tensión a la que está sometido un abrasivo flexible, el sustrato deberá tener propiedades específicas. Para el desbastado manual o el lijado, se requiere una flexibilidad especial y una gran resistencia al pandeo. Para desbastados de alta calidad con cintas abrasivas, discos abrasivos y manguitos cilíndricos se necesitan propiedades mecánicas excelentes, como resistencia a la hinchazón, tenacidad, resistencia a la abrasión o a esfuerzos alternantes.

Para cumplir todos estos requisitos, se usan en particular los siguientes grupos de materiales de sustrato:

- papel,
- telas,
- combinaciones de papel y tela,
- fibra vulcanizada.

La Tabla 4.2 muestra un ejemplo de clasificación de los sustratos usados:

	Clase de peso (g/m <sup>2</sup> )
Papel A	≤ 85
Papel B	86 – 110
Papel C	111 – 135
Papel D	136 – 220
Papel E	221 – 270
Papel F	271 – 350
Papel G	351 – 500
Papel H	> 500
Papel A resistente al agua	≤ 115
Papel C resistente al agua	> 115
Algodón pesado/Peso X	370 – 400
Algodón flexible/Tejido J	270 – 290
Algodón muy flexible/Tejido J-flex	200 – 220
Poliéster pesado/Tejido X	475 – 505
Poliéster muy pesado/Tejido Y	630 – 665

**Tabla 4.2: Materiales de sustrato seleccionados para abrasivos [12, UBA Alemania, 2002]**

### Papel

Los papeles usados en la fabricación de abrasivos revestidos están formados por fibras extremadamente firmes y tenaces. Se procesan en calidades, pesos, tamaños y anchuras diversas, según su uso previsto. Se pueden distinguir los siguientes tipos:

- flexible,
- papel monocapa con una resistencia a la tracción homogénea en cualquier dirección del esfuerzo,
- papel pesado cilíndrico multicapa, con una estabilidad especialmente alta en cualquier dirección de arrollamiento (dirección larga).

Todos los tipos de sustratos (del A al F de la Tabla 4.2) se ajustan para desbastado en seco. Los papeles A y C resistentes al agua (látex o barniz) son adecuados para desbastado húmedo.

Los abrasivos sobre papeles A, B y C se usan en desbastado no manual y en desbastadoras de funcionamiento manual (p. ej. un lápiz esmerilado). Los papeles D y E son sustratos necesarios para las desbastadoras fijas o de papelerías más exigentes.

### Sustrato de tela

El sustrato de tela se usa para abrasivos revestidos que se procesan en cintas anchas o se usan en desbastado por bandas, superficial o por pulsos; se unen a telas como resultado del gran esfuerzo mecánico al que están sometidos. Estas denominadas «telas técnicas» están hechas de algodón en rama (tejido o cosido) y se puede diferenciar entre tejido X pesado y tejido J ligero. Esta diferenciación se debe a la capa de hilo y se relaciona con el número de fibras usadas como trama y urdimbre. El tejido X pesado tiene un recuento de hilos comparativamente bajo respecto al tejido J ligero.

Antes de tratarse con granos abrasivos, la tela debe someterse a un tratamiento especial. En primer lugar, la tela en bruto se reduce y se moldea y posteriormente se encoge hasta lograr su densidad final. La tela, en su cara de empuje, se acaba con adhesivos, resinas sintéticas o plásticos o sustancias similares y, finalmente, se aplasta.

### **Fibra vulcanizada**

Numerosos procesos de fabricación industrial requieren abrasivos especiales de alto rendimiento con una gran resistencia al desgaste. En estos casos se usa fibra vulcanizada como sustrato. La fibra vulcanizada es un material de fibras multicapa muy duro. En el transcurso de su fabricación, se conectan numerosas bobinas de papel no tejido mediante un aplastamiento con adhesivo de contacto. La fibra vulcanizada puede fabricarse en cualquier grosor; en la industria de abrasivos los más usuales son 0,8, 0,6 y 0,4 mm. El material más grueso se usa para tareas en que se necesita una gran resistencia al desgaste, mientras que el más fino, para obtener una mayor flexibilidad. Los abrasivos aplicados mecánicamente en un sustrato de fibra vulcanizada tienen una resistencia a los esfuerzos extremadamente alta. Se aplican en casi todos los sectores industriales, como la automoción, maquinaria, embarcaciones o aparatos diversos.

### **4.1.3.2 Material de unión**

La eficiencia de los abrasivos revestidos depende, en gran medida, de la unión (adhesión del grano) de los granos abrasivos. En consecuencia, el material de unión tiene un papel importante. Para lograr una buena adhesión del grano y otras propiedades necesarias, los materiales de unión se aplican sucesivamente en varias capas.

Los materiales de unión más importantes son los siguientes:

- cola de cuero,
- resina sintética,
- barniz.

Por lo que respecta a los adhesivos usados, se diferencian los siguientes sistemas de unión:

- Unión encolada (sin disolventes). La unión está formada por cola de cuero y el sustrato de papel o tela. Estos abrasivos revestidos se usan para bajas resistencias al corte o si el uso duradero del material no es importante (p. ej. para el tratamiento de materiales lubricantes).
- Unión de resina parcialmente sintética (resina sobre cuero, sin disolventes). El sistema de unión del abrasivo está formado por una capa base de cola de cuero y una capa de apresto de resina sintética. Los papeles o telas abrasivos se pueden usar de forma universal, especialmente para operaciones de desbastado medio. Gracias a la capa base elástica de cola de cuero y a la capa de apresto resistente de resinas sintéticas, la calidad obtenida es muy adecuada para el tratamiento superficial de las piezas de trabajo conformadas.
- Unión de resina sintética (sin disolventes cuando es factible). Los abrasivos para gran capacidad de desbastado se unen con resinas sintéticas. Los granos abrasivos se unen excepcionalmente bien al sustrato mediante la unión de resina comparativamente fuerte. Son resistentes a fuerzas de corte muy elevadas y se pueden obtener grandes rendimientos.
- Unión de barniz, resistente al agua (de base disolvente). Muchas piezas de trabajo y métodos de aplicación específicos requieren agentes refrigerantes o aclarantes al agua. Por lo tanto, los métodos anteriores no pueden utilizarse porque el agente refrigerante disolvería el material de unión o el acabado. En estos casos, se necesitan calidades de tejido que sean totalmente resistentes al agua. Como material de unión se usan resinas sintéticas especiales. Estos abrasivos resistentes al agua se usan en el desbastado húmedo de acero, vidrio, cerámica, piedra natural o artificial y plásticos. Por ejemplo, al desbastar imprimadores, rellenos y lacas simples o pigmentadas, suelen producirse residuos de desbastado pulverulentos o que causan obstrucciones, y que cargan o satinan el abrasivo. En consecuencia, en el desbastado húmedo es necesario trabajar con papeles abrasivos resistentes al agua. Estos papeles tienen un sustrato de papel flexible, impregnado con látex



o lacas para hacerlo resistente al agua. La capa base y de apresto están hechas de resinas y lacas especiales. Los papeles abrasivos resistentes al agua no sólo son resistentes al agua, sino también a la carga y el satinado.

#### 4.1.3.3 Granos abrasivos

##### Óxido de aluminio

La Tabla 4.3 muestra valores habituales de alúmina aplicada como grano abrasivo inerte.

	Corindón (%)	Alúmina fundida semiespecial (%)	Alúmina rosada fundida especial (%)	Alúmina roja fundida especial (%)	Alúmina blanca fundida especial (%)	Corindón cerámico	Corindón de zirconio (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95,83	97,69	99,52	97,50	99,50	99,6	60,0
ZrO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	39,0
SiO <sub>2</sub>	0,60	0,38	-	0,02	0,05	0,07	0,30
TiO <sub>2</sub>	3,12	1,45	-	-	0,02	0,2	0,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,15	0,05	0,05	0,05	0,02	0,25
Na <sub>2</sub> O	-	-	0,18	0,3	0,30	0,01	0,03
CaO	0,05	0,03	-	-	0,05	0,01	0,09
MgO	0,20	0,15	-	-	0,01	0,015	0,02
CrO <sub>2</sub>			0,25	2,0			
Otros	0,10	0,15	-	0,13	0,02	0,075	0,06
Color	Marrón oscuro	Marrón claro	Rosado	Rojo rubí	Blanco	Blanco	Gris claro

**Tabla 4.3: Alúmina aplicada como grano abrasivo inerte (valores habituales)**  
[12, UBA Alemania, 2002]

##### Carburo de silicio

La Tabla 4.4 muestra valores habituales de carburo de silicio aplicado como grano abrasivo.

	SiC negro (%)	SiC verde (%)
SiC	98,26	99,66
Carbono libre (C)	0,19	0,29
Fe	0,10	0,02
Si	0,19	0,03
Otros	1,26	-

**Tabla 4.4: Carburo de silicio aplicado como grano abrasivo (valores habituales)**  
[12, UBA Alemania, 2002]

La Tabla 4.5 muestra el uso de disolventes asociado a los diferentes productos.

Base	Producto	Pieza conformada	Aplicación	Sistema de unión	Disolvente
Papel A	Papel de desbastado en seco	Hojas, bobinas	Desbastado de madera y lacas (pintura)	Cola de cuero, unión de resina sintética	No
Papel B	Papel de desbastado en seco	Hojas, bobinas	Desbastado de madera y lacas (pintura)	Cola de cuero, unión de resina sintética	No
Papel C	Papel de desbastado en seco	Hojas, bobinas, planchas	Desbastado de metal, madera y lacas (máquina)	Unión de resina parcial o totalmente sintética	No
Papel D	Papel de desbastado en seco	Hojas, bobinas, planchas	Desbastado de metal, madera y lacas (máquina)	Unión de resina parcial o totalmente sintética	No
Papel E	Papel de desbastado en seco	Hojas, bobinas, planchas	Desbastado de metal, madera y lacas (máquina)	Unión de resina parcial o totalmente sintética	No
Papel F	Papel de desbastado en seco	Hojas, bobinas, planchas	Desbastado de metal, madera y lacas (máquina)	Unión de resina parcial o totalmente sintética	No
Papel A resistente al agua	Papel de desbastado húmedo	Hojas	Desbastado habitual de laca (manual)	Unión de resina sintética	Sí
Papel C resistente al agua	Papel de desbastado húmedo	Hojas, planchas	Desbastado habitual de laca (manual) Desbastado a máquina	Unión de resina sintética	Sí
Tela de algodón X	Desbastado en seco / húmedo	Hojas, bobinas, planchas	Desbastado de madera, vidrio y metal (máquina)	Unión de resina sintética	Parcialmente
Tela de algodón J	Desbastado en seco	Hojas, bobinas, planchas	Desbastado de madera, vidrio y metal (máquina)	Unión de resina sintética	Parcialmente
Tela flexible J	Desbastado en seco	Hojas, bobinas, planchas	Desbastado de madera, vidrio y metal (máquina)	Unión de resina sintética	Parcialmente
Tela de poliéster X	Desbastado en seco / húmedo	Hojas, bobinas, planchas	Desbastado de madera, vidrio y metal (máquina)	Unión de resina sintética	Parcialmente
Tela de poliéster Y	Desbastado en seco / húmedo	Hojas, bobinas, planchas	Desbastado de madera, vidrio y metal (máquina)	Unión de resina sintética	Parcialmente

Tabla 4.5: Uso de disolventes en la fabricación de abrasivos según el producto [12, UBA Alemania, 2002]

#### 4.1.4 Requerimientos de calidad

El criterio más importante de calidad es el mantenimiento del tamaño de grano estandarizado. También son importantes su resistencia, dureza, bajo contenido de polvo, falta de componentes de cuarzo o elementos fibrosos y la estructura del grano. Los requisitos de calidad procedentes de los clientes son:

- intervalo de flexibilidad,
- propiedades no alergénicas para el desbastado húmedo a mano,
- cantidad de granos aplicados al abrasivo en granos muy finos.

A causa de estos requisitos, actualmente es necesario el uso de disolventes en el caso de los abrasivos para desbastado húmedo.

## 4.2 Técnicas y procesos aplicados en la fabricación de abrasivos

### 4.2.1 Descripción general del proceso

Los abrasivos revestidos se fabrican de la siguiente forma:

- revestimiento de un sustrato con materiales de unión,
- revestimiento con el grano, eléctrico o mecánico, tal como se especifica en el apartado 4.1.3,
- presecado,
- revestimiento repetido con materiales de unión,
- secado.

Las diferencias en los procedimientos se hallan en el tipo de hornos de secado (secador de banda colgante o secador sin tensión), en el procedimiento de aplicación y en el tratamiento de los gases residuales (tratamiento biológico, combustión térmica o sin tratamiento).

Los revestimientos con disolventes se usan más frecuentemente en la fabricación de bobinas jumbo para productos autoadhesivos o cintas abrasivas sinfín.

Los abrasivos revestidos con calidad constante se fabrican en plantas de producción con elevados niveles de producción; tales plantas suelen consistir en las unidades siguientes:

- componente de la capa base (revoque),
- presecador,
- componente de la capa de apresto (aprestador),
- secador,
- bobinador.

En la primera etapa, se imprime el reverso del sustrato, en el denominado revoque, con la información necesaria (como etiquetas de marca y de calidad). A continuación, se aplica la capa base en el anverso del sustrato y posteriormente se recubre con granos abrasivos. En la segunda parte de la planta (el presecador), aire caliente seca o endurece la capa base. En la tercera unidad de fabricación (el aprestador), el sustrato, recubierto con granos abrasivos, recibe una capa de apresto. En la cuarta unidad se halla el secador de aire caliente, por el cual pasa el material abrasivo acabado durante un tiempo determinado. Finalmente, el material abandona la planta secado y curado y se arrolla en grandes bobinas (bobinas jumbo).

Todo el procedimiento está controlado por numerosas unidades de medición térmicas y electrónicas, que garantizan los límites de tolerancia específicos. Entre otras cosas se ocupan del revestimiento de granos del sustrato.

### 4.2.2 Etapas del proceso en detalle

La Figura 4.2 muestra un esquema general de una planta habitual.

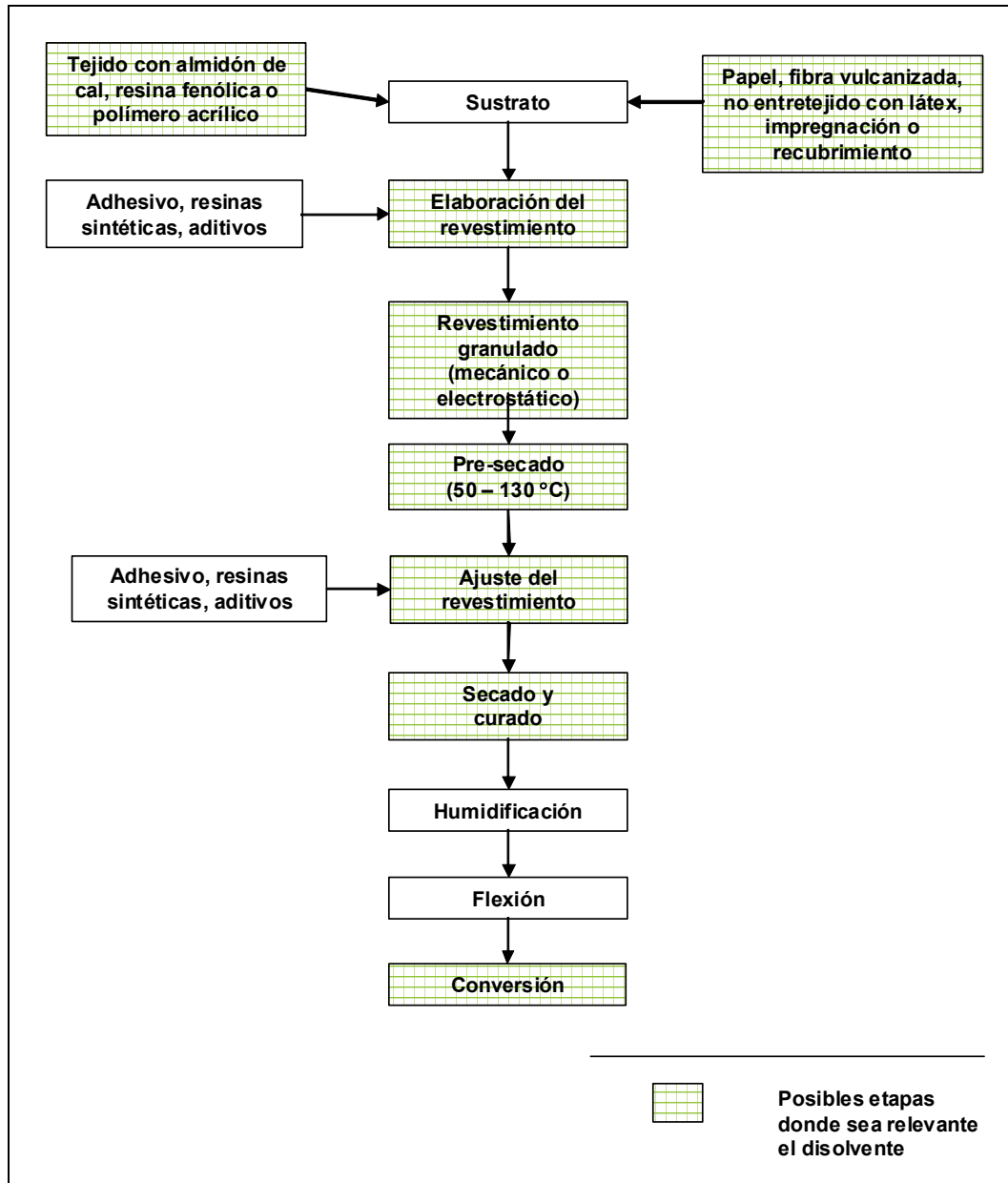


Figura 4.2: Flujo de proceso esquemático para abrasivos revestidos [12, UBA Alemania, 2002]

#### 4.2.2.1 Pretratamiento de los sustratos

El pretratamiento es un proceso opcional en las plantas de fabricación de abrasivos.

##### Papel

Según la aplicación posterior del papel, el pretratamiento es diferente. Por ejemplo, el sustrato de papeles abrasivos resistentes al agua se impregna con resinas alquílicas de cadena larga. Una

alternativa sin disolventes puede ser una dispersión de látex a veces en combinación con resinas fenólicas hidrosolubles (para una mejor resistencia térmica).

### **Telas**

Como sustrato se usan las siguientes telas:

- algodón,
- fibra sintética,
- mezcla (algodón y sintética).

La modificación de la sustancia adhesiva para las telas depende de la flexibilidad (mecánica) necesaria en el producto. Las resinas fenólicas, el caucho o dispersiones de productos sintéticos son los materiales habituales para tal fin.

### **Fibra vulcanizada**

La fibra vulcanizada no suele pretratarse.

#### **4.2.2.2 Revestimiento del sustrato con sustancias adhesivas**

Los sustratos se recubren con la sustancia adhesiva en una máquina recubridora, por ejemplo mediante un rodillo esparcidor (aplicación de la capa base).

Según el perfil de aplicación del abrasivo, se usan diferentes sustancias adhesivas. Además de productos naturales, como la cola de piel y el almidón o las resinas (resinas epóxicas, de urea, alquídicas y de poliuretano), se suelen aplicar resinas fenólicas. Las ventajas de las resinas fenólicas respecto a otras sustancias adhesivas son una mejor adherencia, una menor sensibilidad a la humedad y una mayor resistencia térmica. A menudo se prefieren las resinas fenólicas acuosas a los productos ligeramente más flexibles con contenido en disolventes, a causa de su manipulación más simple.

El proceso de secado y de endurecimiento se realiza en el presecador de banda colgante. El sustrato se desplaza en grandes bucles sobre soportes a través de las diversas zonas de temperatura del secador o endurecedor, y se calienta con aire caliente circulante. De esta forma, se garantiza el tiempo de residencia específico correspondiente a la sustancia adhesiva.

En caso necesario la bobina se estira en el extremo del secador. Para el embebido y fijación finales (capa de apresto) se pueden aplicar varias capas adhesivas.

El endurecimiento final de las resinas fenólicas se realiza a temperaturas del orden de 100 a 140 °C, según la adhesión y el grano abrasivo. Este procedimiento se lleva a cabo en un canal de secado (como en el presecado) o tras el bobinado en el horno de endurecimiento.

#### **4.2.2.3 Revestimiento del sustrato con grano**

##### **Revestimiento electrostático de grano**

Se hace pasar el sustrato a través de un campo electrostático, con el lado de la capa base situado cara abajo. Al mismo tiempo, se hace circular el grano abrasivo en una cinta transportadora a una cierta distancia por debajo del sustrato recubierto. Cuando los granos abrasivos pasan por el campo electrostático se cargan eléctricamente y son atraídos por el sustrato situado encima. Los granos alcanzan el sustrato y se acumulan en la capa base. Durante este proceso los granos se orientan con su extremo más afilado verticalmente respecto al sustrato; como consecuencia, el abrasivo presenta excelentes características de corte.

### **Revestimiento mecánico de grano**

Antes del revestimiento electrostático los abrasivos revestidos se recubrían con el denominado «revestimiento de grano por gravedad». Este procedimiento aún se usa en algunos campos específicos. El grano abrasivo cae sobre una tolva y luego, por caída libre, cae sobre el sustrato con la capa base. La mayoría de granos se adhieren a la capa de adhesión; el resto cae en un embudo de recogida cuando se cambia la dirección de la bobina de sustrato. Desde el embudo el grano abrasivo puede reciclarse y volverse a usar.

### **Otros revestimientos**

Para aplicaciones especiales en que se necesitan tamaños de grano finos, los abrasivos se recubren con un tercer procedimiento: la levigación. El grano, el polvo pulidor o el material de relleno se añade directamente a la sustancia adhesiva. En un aprestador, el conjunto bien mezclado se hace pasar sobre bobinas inversas y se aplica al sustrato. En este caso no es necesario aplicar una capa base.

#### **4.2.2.4 Flexionado**

Tras el bobinador, los rollos de tejido, papel o fibra abrasiva (jumbos) deben tratarse para garantizar la calidad de los productos en función de su uso posterior. Para ello, el revestimiento rígido con grano y sustancias adhesivas debe hacerse flexible tras el endurecimiento y acondicionamiento. Según el tipo de abrasivo usado, existen diversos métodos particulares para la flexión, que se pueden diferenciar en flexionado a 90° y flexionado transversal. En el caso del flexionado a 90°, el lado no pulverizado del abrasivo se estira sobre un rodillo de flexionado.

EL grado de flexionado depende del radio del rodillo. La operación se realiza según el propósito y propiedades específicas de cada abrasivo. Cuando la capa de la sustancia adhesiva y el grano se quiebran a causa de una flexión elevada, la capacidad abrasiva del producto se reduce.

#### **4.2.3 Componentes de instalaciones y diferenciación necesaria**

Los procesos descritos se llevan a cabo habitualmente en instalaciones con los componentes que se presentan en la Tabla 4.6:

<b>Desenrollado</b>	Se usan plataformas de desenrollado con una anchura de trabajo de 900 a 1650 mm y una velocidad de 10 a 50 m/min.
<b>Impresión</b>	Normalmente se usan dos o tres cilindros de impresión.
<b>Revestimiento de las bobinas (alternativa: pulverización)</b>	Se realiza mediante dos rodillos de impresión con tanque de cuchara o, alternativamente, con pulverización a chorro.
<b>Campo de revestimiento de grano (electrostático o mecánico)</b>	Se usa un campo de revestimiento de grano con un condensador de placas paralelas (con una tensión de 30 kV o superior) o una tolva de revestimiento de grano (apertura de la tolva sobre el sustrato).
<b>Secador (secador de bucle o sin tensión)</b>	Temperatura de 35 a 110 °C (en el secador de bucle la banda recubierta pasa a través de un bucle; en el secador sin tensión la banda se transporta plana y sin contacto a través del secador).
<b>Humidificación</b>	Normalmente se realiza en el extremo del secador en una zona de vapor.
<b>Bobinado</b>	Se lleva a cabo mediante un bobinador de pliegue.
<b>Secado final</b>	Se usa un secador de menores dimensiones, normalmente con una capacidad de una sola bobina jumbo.
<b>Tratamiento del aire de escape</b>	Aplicación de separadores de polvo y postcombustión térmica o regenerativa a 700 °C (o superior) con o sin recuperación de energía (según las circunstancias concretas de la instalación y la demanda de energía o calor).
<b>Tratamiento del agua</b>	Planta de tratamiento biológico de agua o biorreactor.
<b>Flexionado</b>	Máquinas de flexionado consistentes en varas de desenrollado y de flexión (la banda se desplaza con el reverso formando un pequeño ángulo sobre la vara de flexión para que el producto se vuelva flexible), enrollado.
<b>Conversión</b>	El encolado de cintas abrasivas en cintas sinfín superpuestas se prepara en máquinas para cortarlas en secciones antes de encolarlas a presión y calor en unidades prensoras. Se puede usar pegamento de poliuretano con disolventes. Los dispositivos de corte y punzonado producen láminas, discos y bobinas.

**Tabla 4.6: Componentes de una instalación y diferenciación**  
[12, UBA Alemania, 2002]

### **Diferenciación de sistemas respecto a la protección frente a explosiones**

Normalmente es necesario instalar equipos de protección frente a explosiones alrededor de las unidades aplicadoras y el recorrido abierto de las bobinas. Las unidades aplicadoras y el recorrido están equipados con unidades de succión en buen estado de funcionamiento. El control se realiza con medidas adecuadas a las condiciones específicas de la instalación.

En los casos necesarios, se protege frente a explosiones todo el equipo eléctrico, según estas directrices. Todos los dispositivos motrices están situados fuera de la zona de bobinado. Ésta sólo se calienta indirectamente.

La velocidad máxima de la línea de producción se controla al 50 % del LIE de la sustancia con el punto de inflamación más bajo.

Para conseguir una presión negativa y garantizar el 50 % del LIE, el secador funciona continuamente con una cierta cantidad de aire de escape.

Los flujos de gases residuales se controlan, se recogen y se llevan a la instalación de tratamiento de gases residuales. La sala de revestimiento de grano está equipada con una unidad extractora y también se controla.

Las máquinas recubridoras, junto con las instalaciones de revestimiento electrostático, están protegidas mediante sistemas extintores.



El presecador y el secador principal están completamente protegidos por sistemas extintores internos (tuberías ascendentes secas).

### 4.3 Valores actuales de consumo y emisión en la fabricación de abrasivos

#### 4.3.1 Balances de masa

En las Tabla 4.7, Tabla 4.8 y Tabla 4.9 se muestran los balances de masas de tres plantas existentes. La Tabla 4.7 muestra el balance de masa de una planta de fabricación de abrasivos con una mezcla habitual de productos de diferentes tipos de adhesivos:

- cola de piel (sin disolventes),
- resina parcialmente sintética (sin disolventes),
- resina sintética (casi sin disolventes).

El balance se ha determinado a partir de valores reales con valores específicos asociados a 10 kilotoneladas de producto final por año. La capacidad de esta planta corresponde aproximadamente a esta cantidad. Los valores de salida son valores medios por media hora.

Entrada		Salida	
<b>Materias primas <sup>(1)</sup></b>			
Papel / tela	4701 t/a	Producto	10 000 t/a
Grano abrasivo	3214 t/a	Residuos para combustión	77 t/a
Sustancia adhesiva, incluyendo fenoles y otras resinas sintéticas	2436 t/a	Agua para vertido	37 t/a
		Residuos peligrosos	116 t/a
<b>Disolventes <sup>(2)</sup></b>			
Agua	827 t/a	Agua	827 t/a
Disolventes orgánicos <sup>(3)</sup>	275 t/a	Emisiones fugitivas de COV	38 t/a
		COT tras postcombustión térmica	< 20 mg/m <sup>3</sup>
		NO <sub>x</sub> tras postcombustión térmica	< 100 mg/m <sup>3</sup>
		CO tras postcombustión térmica	< 100 mg/m <sup>3</sup>
		Oxígeno relativo de una postcombustión térmica o regenerativa	18 – 21 %
<b>Energía (en kWh/a)</b>			
Corriente eléctrica	3 007 243		
Gas	21 871 076		
Agua caliente	16 379 075		
Notas: [76, TWG, 2004]			
<sup>(1)</sup> La entrada de materias primas suma 10 351 t y la salida sólo 10 230 t (el balance de masa no es cerrado)			
<sup>(2)</sup> Situación parecida a (1) con el disolvente orgánico (entrada 1102 t, salida 865 t)			
<sup>(3)</sup> Las diferencias en los balances de masas son debidas a la combustión de disolventes y otros aditivos en el sistema de tratamiento de gases residuales [128, TWG, 2005]			

**Tabla 4.7: Balance de masa en la fabricación de abrasivos en la planta 1 [12, UBA Alemania, 2002]**

La Tabla 4.8 muestra el balance de masa de la planta 2, en la que sólo se ensambla tela mediante conservación. La tela fabricada se usa como sustrato para abrasivos revestidos. Se impregna algodón ligero y pesado y también telas de poliéster pesado. Los valores mostrados son valores exclusivamente de la impregnación de las telas. El balance de masa se ha determinado a partir de valores reales con valores específicos asociados a 10 kilotoneladas de producto final por año. La capacidad de esta planta es de unas 5 kilotoneladas de producto final por año. La fabricación de abrasivos correspondiente se realiza en la planta 3, que se describe en la Tabla 4.9.

Entrada		Salida	
<b>Materias primas <sup>(1)</sup></b>			
Tela en bruto	8101 t/a	Tela impregnada	10 000 t/a
Correspondiente a m <sup>2</sup> /a	24 261 025	Correspondiente a m <sup>2</sup> /a	24 261 025
Resinas fenólicas	1002 t/a	Residuos peligrosos	185 t/a
Mallas	2104 t/a	Agua para vertido	133 t/a
Cola de piel / almidón	585 t/a	Residuos para posterior tratamiento	484 t/a
Aditivos	670 t/a	Residuos de papel	117 t/a
<b>Disolventes <sup>(2)</sup></b>			
Disolventes orgánicos <sup>(3)</sup>	125 t/a	Emisiones fugitivas de COV	12 t/a
		COT tras postcombustión térmica	< 20 mg/m <sup>3</sup>
		NO <sub>x</sub> tras postcombustión térmica	< 100 mg/m <sup>3</sup>
		CO tras postcombustión térmica	< 100 mg/m <sup>3</sup>
		Polvo	< 10 mg/m <sup>3</sup>
		Oxígeno relativo de una postcombustión térmica o regenerativa	18 – 21 %
<b>Agentes accesorios</b>			
Agua (m <sup>3</sup> /a)	101 630	Aguas residuales	
		Fabricación	46 750 m <sup>3</sup> /a
		Enfriado	8794 m <sup>3</sup> /a
		Vapor	21 752 m <sup>3</sup> /a
		Sanitaria	7692 m <sup>3</sup> /a
		Limpieza	16 639 m <sup>3</sup> /a
<b>Energía (en kWh/a)</b>			
Energía	46 258 325		
Notas: [76, TWG, 2004]			
<sup>(1)</sup> La entrada de materias primas suma 12 462 t y la salida sólo 10 919 t (el balance de masa no es cerrado)			
<sup>(2)</sup> Situación parecida a (1) con el disolvente orgánico (entrada 125 t, salida 12 t).			
<sup>(3)</sup> Las diferencias en los balances de masas son debidas a la combustión de disolventes y otros aditivos en el sistema de tratamiento de gases residuales [128, TWG, 2005]			

**Tabla 4.8: Balance de masa en una planta de impregnación para la fabricación de abrasivos en la planta 2 [12, UBA Alemania, 2002]**

La Tabla 4.9 muestra el balance de masa de la planta 3, que es una instalación de fabricación de abrasivos revestidos. La fabricación implica diversas máquinas, pero se realiza sin pretratamiento de los sustratos, y se producen papeles para desbastado a mano y para desbastado en seco, abrasivos de papel resistente al agua y de tela, con calidades de tela ligera, media y pesada y productos abrasivos no tejidos. El balance se ha determinado sobre valores reales con valores específicos asociados a 5 000 000 m<sup>2</sup>/a de producto final. La capacidad de esta planta es ligeramente superior a esta cantidad. Los valores de salida son valores medios en media hora.

Entrada <sup>(1)</sup>		Salida <sup>(1)</sup>	
<b>Materias primas</b>			
Sustrato impregnado	5 000 000 m <sup>2</sup> /a	Producto	5 000 000 m <sup>2</sup> /a
Grano abrasivo	992 t/a		
<b>Disolventes</b>			
Disolventes orgánicos <sup>(2)</sup>	259 t/a	Emisiones fugitivas de COV	30,1 t/a
		COT tras postcombustión térmica	< 20 mg/m <sup>3</sup>
		NO <sub>x</sub> tras postcombustión térmica	< 100 mg/m <sup>3</sup>
		CO tras postcombustión térmica	< 100 mg/m <sup>3</sup>
		Polvo	< 10 mg/m <sup>3</sup>
		Oxígeno relativo de una postcombustión térmica o regenerativa	18 – 21 %
Resinas fenólicas y de otros tipos	520 t/a		
Mallas	22,2 t/a		
<b>Agentes accesorios</b>			
Agua	32 063 m <sup>3</sup> /a		
<b>Energía</b>			
Gas y electricidad	34 831 581 kWh/a		
Notas: [76, TWG, 2004]			
<sup>(1)</sup> El balance de masa no es cerrado			
<sup>(2)</sup> Las diferencias en los balances de masas son debidas a la combustión de disolventes y otros aditivos en el sistema de tratamiento de gases residuales [128, TWG, 2005]			

**Tabla 4.9: Balance de masa en la fabricación de abrasivos en la planta 3 [12, UBA Alemania, 2002]**

### 4.3.2 Consumo

Véase el apartado 4.3.1 para la información sobre el consumo de materias primas, disolventes, agua y energía.

### 4.3.3 Emisiones

#### 4.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

##### Información general sobre las industrias que usan adhesivos

En la DED, la fabricación de abrasivos se agrupa con otras industrias que utilizan adhesivos. Las otras industrias relevantes son:

- consideradas en este documento: fabricación de cintas adhesivas, abrasivos, sector del transporte (turismos, vehículos comerciales, ferrocarriles y aeronaves) y la industria de muebles y materiales de madera;
- no consideradas en este documento: láminas compuestas, casas prefabricadas, fabricación de calzado y artículos de cuero.

La fabricación de abrasivos no se puede separar de los datos siguientes, pero proporciona una cierta información básica. En la UE-25 en el año 2000 (según el modelo RAINS) las emisiones de COVNM fueron de 257,6 kt, lo que representa un 2,4% del total de emisiones de COVNM. La actividad total fue de 680 kt de adhesivos utilizadas y el factor de emisión medio de unos 378,8 g COVNM/kg de adhesivo, lo que significa que las emisiones de este sector ya se tratan\* parcialmente en la UE-25 (el factor de emisiones no tratadas\* es de 780 g/kg). El EGTEI estima que la reducción alcanzable entre todas las industrias que usan disolventes puede ser del 76 al 98 %; sin embargo, no se sabe hasta qué punto esta cifra es representativa del sector de la fabricación de abrasivos.

(\* En este contexto tratado/no tratado significa no sólo el tratamiento de gases residuales, sino también otras medidas para reducir las emisiones de COV).

### Datos específicos para la fabricación de abrasivos

En el apartado 4.3.1 se dan ejemplos de emisiones en tres plantas de Alemania.

Tras el tratamiento de los gases residuales, los valores de emisión alcanzados son  $< 20$  mg de carbono orgánico/m<sup>3</sup>, 100 mg CO/m<sup>3</sup> y 100 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup>. También se cumplen los límites máximos para fenol y formaldehído (20 mg/m<sup>3</sup>).

#### 4.3.3.2 Emisiones al agua

Las aguas residuales se generan en la limpieza de piezas de máquinas, que básicamente contienen fenol y fluoruros. Normalmente se realizan los siguientes tratamientos de aguas residuales antes de verterlas a una planta municipal de tratamiento de aguas residuales:

- neutralización,
- precipitación de fluoruros,
- filtración,
- tratamiento biológico.

Las técnicas citadas se describen en detalle en los BREF [59, EIPPCB, 2006] STM y CWW [67, EIPPCB, 2003].

Se logran los siguientes valores de emisión, o inferiores:

- fenol total: 75 mg/l
- fenol volátil en vapor: 20 mg/l
- fluoruros: 40 mg/l
- sulfatos: 200 mg/l
- hierro: 1 mg/l
- aluminio: 1 mg/l
- cinc: 1 mg/l

#### 4.3.3.3 Residuos

Según la gama de productos, los residuos se generan durante la conversión en forma de cortes (e.g. bordes, punzonado). En algunos casos, una parte se puede separar, recortar y vender.

## 4.4 Técnicas a considerar en la determinación de MTD para la fabricación de abrasivos

En el capítulo 20, se comentan técnicas que también se podrían aplicar a la fabricación de abrasivos. En la Tabla 4.10 se muestran las técnicas generales relevantes para la fabricación de abrasivos. En general, estas técnicas no se repiten en esta sección, a no ser que se disponga de información específica para la industria. En Tabla 20.1 se presenta una descripción del tipo de información considerada para cada técnica.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

**Tabla 4.10: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector**

El resumen del EGTEI para la aplicación industrial de adhesivos (véase el anexo 24.1.1) proporciona algunos datos acerca de los costes y beneficios en un ámbito europeo para algunas técnicas de reducción de emisiones de COV. Sin embargo, el enfoque del EGTEI es necesariamente limitado en su complejidad y sólo se consideran las técnicas clave, sin referencia a otros factores en las MTD, como los efectos cruzados o las características técnicas de las instalaciones y productos particulares [134, EGTEI, 2005].

#### 4.4.1 Sustancias adhesivas convencionales de base disolvente

**Descripción:** Las sustancias adhesivas de base disolvente se usan cuando las piezas de trabajo y los métodos de aplicación requieren un enfriamiento por agua, por ejemplo en el desbastado húmedo de acero, vidrio, cerámica, piedra natural o artificial y plásticos. Las cualidades de resistencia al agua del papel abrasivo sólo pueden lograrse usando sustancias adhesivas de base disolvente.

La resina fenólica es la resina más comúnmente usada. Otras son las resinas epóxicas, el poliuretano y las resinas de urea. No se ha facilitado información sobre el contenido de disolventes orgánicos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Es una práctica habitual tratar los gases residuales que contienen disolventes.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se aplica habitualmente. Las sustancias adhesivas de base disolvente son necesarios en la fabricación de abrasivos para desbastado húmedo.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [76, TWG, 2004]

## 4.4.2 Sustitución de sustancias adhesivas convencionales de base disolvente

### 4.4.2.1 Sustancias adhesivas sin disolventes

**Descripción:** Las sustancias adhesivas sin disolventes son la cola de piel y el almidón y las resinas parcialmente sintéticas. En el caso de telas, pueden considerarse para cualidades específicas del producto. Sin embargo, las resinas se aplican rápidamente, ya que tienen una mejor adherencia, una menor sensibilidad a la humedad y una mayor resistencia térmica. Muchas veces se prefieren las resinas fenólicas al agua a productos ligeramente más flexibles de base disolvente, a causa de su mayor facilidad de manipulación.

Las cualidades de resistencia al agua del papel abrasivo sólo pueden lograrse usando sustancias adhesivas de base disolvente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se evitan las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Las sustancias adhesivas de base disolvente son necesarios en la fabricación de abrasivos para desbastado húmedo. Se usan habitualmente en la fabricación de papeles abrasivos para desbastado en seco.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [76, TWG, 2004]

## 4.4.3 Secado

### 4.4.3.1 Secado por convección

Para una descripción general véase el apartado 20.8.1.1. Los secadores de bucle o sin tensión se usan habitualmente a temperaturas de 35 - 110 °C. En el secador de bucle las bobinas recubiertas pasan a través de bucles. En el secador sin tensión la bobina se desplaza plana y sin contacto a través del secador.

[12, UBA Alemania, 2002]

### 4.4.3.2 Secado electromagnético

Para una descripción general véase el apartado 20.8.1.4. El secado electromagnético, es decir, el secado de alta frecuencia (HF), se usa habitualmente para revestimientos al agua. [12, UBA Alemania, 2002]

### 4.4.4 Tratamiento de gases residuales

#### 4.4.4.1 Aumento de la concentración interna de disolvente

Para una descripción general véase el apartado 20.11.3.1. Se aplica habitualmente para aumentar la eficiencia de reducción de disolvente del sistema de tratamiento de gases residuales. La velocidad máxima de la línea de producción se controla al 50 % del LIE de la sustancia con el punto de inflamación más bajo; para ello la velocidad se bloquea electrónicamente. Para conseguir presión negativa y garantizar el 50 % del LIE, el secador funciona constantemente con una cierta cantidad de aire de escape. [12, UBA Alemania, 2002]

#### 4.4.4.2 Contención y recogida de gases residuales

Para una descripción general véase el apartado 20.11.2. Los gases residuales de los lugares en que las bobinas se desplazan abiertas, de las unidades que aplican la sustancia adhesiva y del secador se recogen y se llevan al sistema de tratamiento de gases residuales. Las emisiones fugitivas de disolventes se reducen a un intervalo del 9,6 - 13,8 % de la entrada total de disolventes. [12, UBA Alemania, 2002] [128, TWG, 2005]

#### 4.4.4.3 Sistemas de filtrado en seco

Para una descripción general véase el apartado 20.11.3.6. Se usan diversos tipos de filtros de bolsas. Los valores de emisión obtenidos dependen de las características del polvo, estructura del filtro y del propio filtro. Se puede lograr una concentración de polvo estático inferior a 10 mg/m<sup>3</sup>; sin embargo, suele ser de 20 mg/m<sup>3</sup>. [12, UBA Alemania, 2002]

#### 4.4.4.4 Oxidación térmica

Para una descripción general véase el apartado 20.11.4.2. Con volúmenes de aire de escape de hasta 66 000 Nm<sup>3</sup>/h, las instalaciones logran valores de emisión inferiores a 20 mg COV/m<sup>3</sup> (valor medio semihorario). [12, UBA Alemania, 2002]

#### 4.4.4.5 Oxidación térmica regenerativa

Para una descripción general véanse los apartados 20.11.4.4 y 20.11.4.5. Se aplica habitualmente para tratar gases residuales de los secadores, de los lugares en que las bobinas se desplazan abiertas y de las unidades que aplican la sustancia adhesiva.

Durante la fabricación, la unidad de oxidación regenerativa puede trabajar normalmente en condiciones autotérmicas (por encima de 2 – 3 g/m<sup>3</sup> de disolvente orgánico en el gas). Con volúmenes de aire residual de hasta 66 000 Nm<sup>3</sup>/h, las instalaciones logran valores de emisión



inferiores a  $20 \text{ mg C/m}^3$ , a  $100 \text{ mg CO/m}^3$  y a  $100 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$  (valores semihorarios). Se consiguen valores para el fenol y el formaldehído inferiores a  $20 \text{ mg/m}^3$ .  
[12, UBA Alemania, 2002]

#### **4.4.4.6 Tratamiento biológico**

Para una descripción general véase el apartado 20.11.8. Esta técnica se aplica en algunos casos a los gases residuales de los hornos de secado.  
[12, UBA Alemania, 2002]

#### **4.4.5 Tratamiento de aguas residuales**

Véase el apartado 4.3.3.2.



## 5 FABRICACIÓN DE CINTAS ADHESIVAS

[14, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005] [184, AFERA, 2005]

### 5.1 Información general sobre la fabricación de cintas adhesivas

Las cintas adhesivas se usan en muchas industrias diferentes, como el embalaje, la fabricación de vehículos, los equipos eléctricos, la construcción, la industria del mueble y la papelería, así como en el mercado del bricolaje. Cada industria tiene un gran espectro de requisitos diferentes para la aplicación del producto y de propiedades que debe cumplir. En la industria del automóvil, por ejemplo, las cintas adhesivas se usan para unir piezas sobre las superficies externas de la carrocería, como protección frente a la abrasión, para el calafateado de pequeñas aperturas, para el arrollamiento de cables, para el enmascarado durante la pintura y en funciones de apoyo durante el montaje.

En función del uso, deben cumplirse requisitos muy diferentes por lo que respecta a las propiedades del producto, como fuerza adhesiva, resistencia térmica, rigidez mecánica, resistencia a la tracción, adhesión tangencial, etc. Las emisiones de COV en la fabricación de cintas adhesivas proceden de la aplicación de sistemas adhesivos de base disolvente y de la aplicación de material auxiliar que contiene disolventes, como agentes antiadhesivos e imprimadores.

A causa de la amplia gama de productos y técnicas de fabricación, las instalaciones suelen especializarse en determinados tipos de productos. Algunas se especializan en el uso de sistemas adhesivos de base disolvente; en estas instalaciones se usan cantidades significativas de COV como disolventes en los sistemas adhesivos, en materiales auxiliares como agentes antiadhesivos e imprimadores y en limpiadores. En la mayoría de casos la cantidad de disolventes usados supera el umbral de 200 t/a.

En el año 2003, 45 instalaciones europeas fabricaron unos 3300 millones de m<sup>2</sup> de estas cintas adhesivas de base disolvente. Ello representa una proporción de un 40 % aproximadamente de la producción total europea de cintas adhesivas.

La otra parte del mercado europeo de cintas adhesivas lo cubren grupos de productos destinados a otros fines o con otras propiedades. Se fabrican en instalaciones que usan adhesivos a base de fusiones en caliente, dispersiones de base acuosa y adhesivos de reticulación por UV. Estas instalaciones utilizan cantidades muy pequeñas o incluso nulas de COV (normalmente para tareas de limpieza).

#### 5.1.1 Aplicaciones de adhesivos sensibles a la presión

La selección del sistema adhesivo de base disolvente depende de la aplicación técnica de las cintas adhesivas. La Tabla 5.1 muestra un esquema general de diferentes aplicaciones de cintas adhesivas y de los adhesivos usados más frecuentemente.

Uso de la cinta	Aplicación	Adhesivo sensible a la presión de base disolvente
Embalaje	Etiquetas adhesivas, cintas adhesivas para embalaje	Adhesivos de caucho, (SB)
Industria automovilística	Cintas adhesivas de transferencia para bandas decorativas y de protección lateral, paneles aislantes, ayuda de montaje para tapacubos y piezas de los faldones, cintas adhesivas para cableado de conexión	Adhesivos de caucho, esteres de ácido acrílico y acrilatos
Industria de la construcción	Cintas adhesivas de plástico espumado para el sellado de ventanas, calafateado de uniones y juntas de dilatación, cintas adhesivas para alfombras, etc.	Dispersiones de acrilatos
Medicina	Cintas médicas, yesos adhesivos	Acrilatos puros, poliácridatos
Industria del mueble	Cintas adhesivas de transferencia para espejos, etc.	Adhesivos de acrilatos

**Tabla 5.1: Aplicaciones de adhesivos sensibles a la presión de base disolvente para cintas adhesivas [14, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]**

## 5.2 Procesos y técnicas aplicados en la fabricación de cintas adhesivas

### 5.2.1 Estructura de las cintas adhesivas

Las cintas adhesivas de base disolvente están constituidas por un sustrato, un agente de acoplamiento, un adhesivo sensible a la presión y agentes antiadhesivos. Los sustratos usados son: papel (muy usado), telas, películas de cloruro de polivinilo, poliéster, poliamida y aluminio. Los productos se pueden clasificar como cintas adhesivas de transferencia (cintas adhesivas de doble cara), cintas adhesivas para embalaje y cintas adhesivas para revestimientos.

Para la fabricación de cintas adhesivas de una cara, se aplica un adhesivo sensible a la presión sobre un sustrato. La adhesión de la capa adhesiva sobre el sustrato se mejora mediante una preparación superficial física o con la aplicación de imprimadores. Para la fabricación de cintas adhesivas de doble cara se aplica adhesivo sensible a la presión por ambos lados del sustrato. Sobre una de las capas adhesivas se aplica un agente antiadhesivo para evitar el contacto entre las capas adhesivas.

### 5.2.2 Materiales para la fabricación de cintas adhesivas

Los adhesivos sensibles a la presión son compuestos orgánicos con una gran resistencia que presentan una elevada fuerza de adhesión con diferentes superficies al mismo tiempo. A diferencia de otros sistemas adhesivos, la película adhesiva plástica también es activa en condiciones secas. El adhesivo muestra un comportamiento visco-elástico y se puede considerar un fluido de gran viscosidad. En la Tabla 5.2 se muestra una clasificación de los adhesivos sensibles a la presión.

Tipo de adhesivo	Adhesivo de caucho	Adhesivo de acrilato	Otros adhesivos sensibles a la presión
<b>Adhesivos que usan disolventes en la fabricación</b>			
Disolución en disolventes orgánicos	Caucho natural (NR), copolímero de butadieno-estireno (SBR), copolímero en bloque de estireno-isopreno-estireno (SIS)	Acrilato puro, poliacrilato	Poliuretano, neopreno
<b>Adhesivos que no usan disolventes en la fabricación</b>			
Dispersión en agua	Copolímero de bloque de estireno-butadieno-estireno (SBS), látex de butadieno-estireno, carboxilado (CSBR)	Acrilato puro, poliacrilato	Acetato polivinílico, acrilato, acetato de etilenvinilo (EVA)
Fusión en caliente	Copolímero en bloque de estireno-isopreno-estireno (SIS), copolímero de butadieno-estireno (SBR), copolímero en bloque de estireno-butadieno-estireno (SBS)	Poliacrilato	Sin aplicación
Sistemas con un 100 % de contenido en sólidos, curado por radiación o como sistemas de dos partes	Caucho natural (NR), copolímero de butadieno-estireno (SBR), copolímero en bloque de estireno-isopreno-estireno (SIS)	Acrilato puro, poliacrilato	Poliuretano, poliéster, poliuretano de dos partes

**Tabla 5.2: Adhesivos sensibles a la presión para la fabricación de cintas adhesivas [14, DFIU e IFARE, 2002]**

### Adhesivos de caucho y resinas

Los adhesivos de caucho que se procesan técnicamente son el caucho natural (NR) y los adhesivos de caucho sintético como el butadieno-estireno (SBR) o el estireno-isopreno-estireno (SIS).

Para la fabricación de sistemas de caucho natural, se disuelve el caucho en disolventes orgánicos junto con resinas que afectan a la cohesión y a la adhesión (los denominados «agentes adherentes»). También se añaden otros aditivos, como agentes que evitan el proceso de envejecimiento. Estos adhesivos se usan básicamente para yesos, pero también para cintas adhesivas de doble cara, cintas adhesivas para embalaje y cintas adhesivas para revestimientos.

### Adhesivos de acrilatos

Las cintas adhesivas se recubren con adhesivos de acrilatos especialmente para un uso duradero o en exteriores. Los adhesivos de acrilatos dominan el campo del ensamblaje gracias a su gran resistencia térmica y química, así como su mayor cohesión en comparación con los adhesivos de caucho. Los adhesivos de base disolvente se disuelven en disolventes orgánicos (p. ej. benceno, acetato de etilo o tolueno). Los adhesivos de acrilatos de base disolvente presentan una mayor cohesión que los adhesivos al agua.

### Otros adhesivos sensibles a la presión

En la fabricación de cintas adhesivas para aplicaciones especiales también se usan elastómeros termoplásticos, poliuretanos y neopreno.

### Disolventes

Los disolventes para adhesivos sensibles a la presión son disolventes aromáticos y alifáticos con un punto de ebullición situado entre 60 y 120 °C, así como mezclas de estos compuestos. Las proporciones de disolventes en adhesivos listos para usar se hallan entre el 60 y el 75 %. En

algunos casos se usan sistemas de alto contenido en materia sólida con proporciones de sólidos por encima del 60 %.

### **Cintas adhesivas sin disolventes**

(Tenga en cuenta los comentarios del apartado 5.1 acerca de instalaciones que usan procesos específicos).

Los cauchos sintéticos se aplican como fusiones en caliente sin disolventes. Para la fabricación de este tipo de cauchos sintéticos se mezclan resinas y otros materiales auxiliares, por ejemplo en extrusoras continuas y luego se recubren en forma de colada. El comportamiento termoplástico del compuesto es reversible.

Los adhesivos de acrilatos también pueden aplicarse como dispersiones al agua, como sistemas sólidos al 100 % (como compuestos de reticulación por UV).

### **Materiales auxiliares**

Los agentes de acoplamiento permiten un desabobinado y remoldeo de la cinta adhesiva al aumentar la adhesión entre el adhesivo sensible a la presión y el sustrato. El acoplamiento se puede realizar con la aplicación de una capa de imprimador, que se aplica disuelto en disolventes orgánicos. Las técnicas habituales de baja emisión para el tratamiento superficial son la descarga en corona, el flameado y la preparación superficial con plasma a baja presión.

### **Agentes antiadhesivos**

Los agentes antiadhesivos se usan para evitar la adhesión del adhesivo sensible a la presión con la superficie de la cinta adhesiva. Para los adhesivos de acrilatos y cauchos sintéticos se aplican siliconas como agentes antiadhesivos; para los adhesivos de caucho natural también se usan sistemas con grupos estearilo. La mayoría de agentes antiadhesivos se aplican en forma de disolución.

### **Agentes de impregnación**

Los agentes de impregnación se aplican para el refinado superficial de papeles absorbentes alisados, con el objetivo de aumentar la resistencia a la tracción en húmedo y la rigidez mecánica. Para este proceso se usan dispersiones de polímeros con agua basadas en acrilato de copolímero de butadieno-estireno, acrilatos y sistemas acrilato-caucho natural para aplicaciones especiales.

### **Agentes limpiadores**

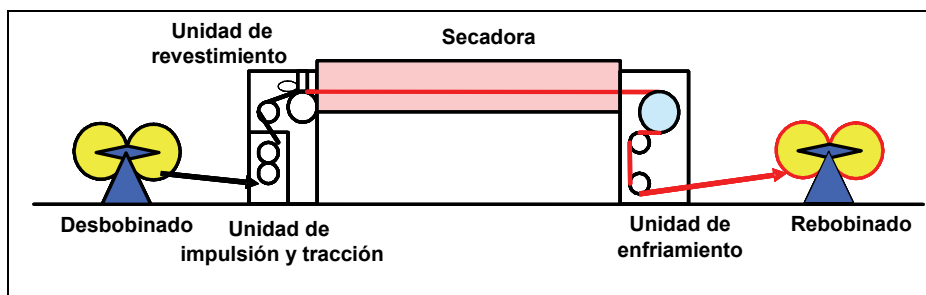
Normalmente se usan los mismos disolventes para diferentes actividades de limpieza en los sistemas adhesivos, tanto durante la fabricación como durante el mantenimiento.

## **5.2.3 Procesos de fabricación de cintas adhesivas**

[128, TWG, 2005] [184, AFERA, 2005]

El proceso de fabricación se puede dividir en tres etapas principales:

- revestimiento: tratamiento superficial del sustrato y revestimiento del sustrato laminar con el adhesivo;
- secado (reticulado) del adhesivo;
- bobinado.



**Figura 5.1: Disposición esquemática de una línea de fabricación de cintas adhesivas**  
[184, AFERA, 2005]

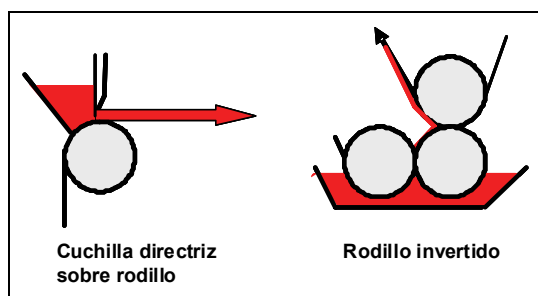
Además, en (casi) todas las instalaciones de base disolvente, se instalan los siguientes procesos:

- almacenamiento de los componentes del adhesivo,
- mezcla del adhesivo,
- tratamiento de gases residuales (del gas del secador),
- corte de la cinta rebobinada.

Este apartado describe las etapas de fabricación de cintas adhesivas que pueden tener un impacto ambiental.

### Revestimiento

La aplicación de un adhesivo de base disolvente sensible a la presión se puede realizar mediante diversas técnicas de aplicación. Habitualmente se usan sistemas de rasquetas o sistemas de revestimiento de rodillo invertido, como se muestra en la Figura 5.2.



**Figura 5.2: Diferentes tipos de unidades aplicadoras de adhesivos**  
[184, AFERA, 2005]

El material adhesivo se puede aplicar directamente sobre el sustrato. Una alternativa es la técnica de transferencia, en la que el adhesivo sensible a la presión se seca sobre el material antiadhesivo y se reticula. Posteriormente, la película adhesiva se transfiere al sustrato mediante laminación, por lo que el sustrato debe protegerse de posibles daños durante el proceso de secado. La laminación se puede realizar recubriendo directamente en un revestimiento antiadhesivo de transferencia y laminando con un sustrato como se muestra en la Figura 5.3.



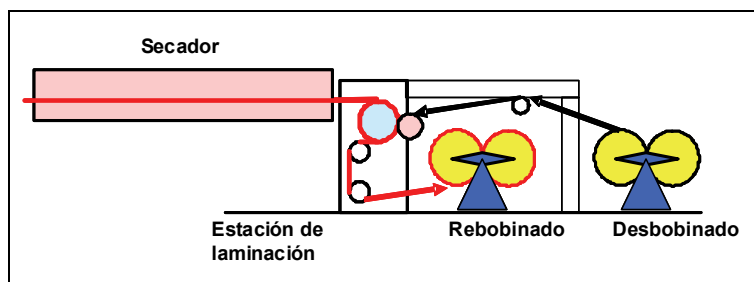


Figura 5.3: Laminadora  
[184, AFERA, 2005]

A menudo la formulación de los adhesivos se realiza cerca del proceso de aplicación. Para los diversos tipos de adhesivos se usan diferentes instalaciones de mezcla:

- El caucho granulado, las resinas y otros aditivos se colocan en un triturador lleno de disolvente. Se trata de un proceso por lotes lento para adhesivos de gran viscosidad.
- El caucho granulado, las resinas y otros aditivos se colocan en un mezclador de alta velocidad lleno de disolvente. El mezclador tiene diferentes cuchillas de mezcla. Se trata de un proceso por lotes corto para adhesivos de menor viscosidad.
- El adhesivo acrílico se realiza por lotes en puestos de polimerización. La reacción se basa en un catalizador dentro del mezclador y se controla por temperatura y presión.

Las emisiones fugitivas de COV en estas primeras etapas de fabricación pueden surgir de los siguientes procesos o unidades:

- almacenamiento de disolventes o preproductos que contienen disolventes,
- formulación de los adhesivos en las unidades de mezcla,
- transporte de los adhesivos a la máquina aplicadora,
- la unidad aplicadora del imprimador,
- la unidad aplicadora del adhesivo.

Algunas emisiones fugitivas de estas fuentes se capturan y se llevan a una unidad de tratamiento de gases residuales.

Los adhesivos mezclados y usados y la limpieza de las instalaciones de mezcla generan residuos.

En estos procesos no suelen generarse aguas residuales.

### Secado

Los adhesivos de base disolvente se secan térmicamente en secadores por convección y en secadores por infrarrojos. Todo reticulado puede realizarse químicamente o por radiación ultravioleta para mejorar las propiedades técnicas. El aire de los secadores por convección se calienta con gas, combustibles líquidos o vapor a través de intercambiadores de calor.

Los equipos de secado principal para sistemas de base disolvente se diferencian por el flujo de aire y el transporte de material:

- en un secador de flujo tangencial, el material se transporta con rodillos;
- en un secador de una cara con boquillas sobre rodillos, el material se transporta con los rodillos;
- en un secador de correa, el material se transporte en una correa;
- en un secador por flotación en corriente de aire, el material se transporta con boquillas especialmente diseñadas;

- en un secador de banda colgante se cuelgan largos lazos sobre postes que se mueven lentamente a través de una sala estanca.

Los COV que se evaporan de la capa adhesiva durante el secado se capturan junto con parte del aire residual del secador. Por cuestiones de seguridad, se mantiene una concentración máxima de disolvente en el aire residual, calculada según EN 1539. El nivel de trabajo seguro que se mantiene es el 50 % del límite inferior de explosión. Una reducción de la concentración de disolvente en el aire del secador se controla mediante el caudal de aire. Si se usan secadores de gas inerte estancos, se pueden alcanzar cargas de disolvente superiores. La carga depende de los disolventes usados y de la temperatura de secado.

El aire residual de los secadores suele limpiarse recuperando los disolventes. Este proceso se realiza mediante condensación en la etapa de presecado (emisiones fugitivas capturadas de las unidades de mezcla y de aplicación) y mediante adsorción sobre carbón activado en la etapa de secado. Los disolventes se recapturan mediante desorción del vapor y atrapado.

No se generan residuos en los procesos de secado y de tratamiento de gases residuales. En el proceso de desorción durante el tratamiento de gases residuales se producen cantidades pequeñas de aguas residuales.

### **Bobinado**

Antes de rebobinar, la cinta debe enfriarse en una unidad de enfriamiento con rodillos de enfriamiento. El enfriamiento se realiza con agua de refrigeración.

Tras el enfriamiento la cinta se bobina en grandes rollos lista para transportarla al proceso de corte.

Las proporciones de disolventes que quedan en las cintas adhesivas de doble cara acabadas y fabricadas con adhesivos de base disolvente representan entre un 0,1 y un 2 %, en función del disolvente usado. Los disolventes que permanecen en los productos se pierden lentamente por procesos de difusión o permanecen en la capa adhesiva actuando como plastificantes.

En esta etapa del proceso de fabricación se pueden generar residuos a partir de cargas defectuosas y de restos de corte. La cantidad de residuos suele estar por debajo del 10 % de la entrada de material.

No se generan aguas residuales.

## **5.3 Valores actuales de consumo y emisión en la fabricación de cintas adhesivas**

[128, TWG, 2005] [184, AFERA, 2005]

### **Información general sobre industrias que usan adhesivos**

En la DED, la fabricación de cintas adhesivas se agrupa con otras industrias que usan adhesivos. Otras industrias relevantes son:

- consideradas en este documento: fabricación de cintas adhesivas, abrasivos, sector del transporte (turismos, vehículos comerciales, ferrocarriles y aeronaves) y material de madera de la industria del mueble;
- no consideradas en este documento: láminas compuestas, casas prefabricadas, fabricación de calzado y artículos de cuero.

La fabricación de cintas adhesivas no se puede separar de los datos siguientes, pero proporciona una cierta información básica. En la UE-25 en el año 2000 (según el modelo RAINS) las emisiones de COVNM fueron de 257,6 kt, lo que representa un 2,4% del total de emisiones de COVNM. La actividad total fue de 680 kt de adhesivos utilizadas y el factor de emisión medio

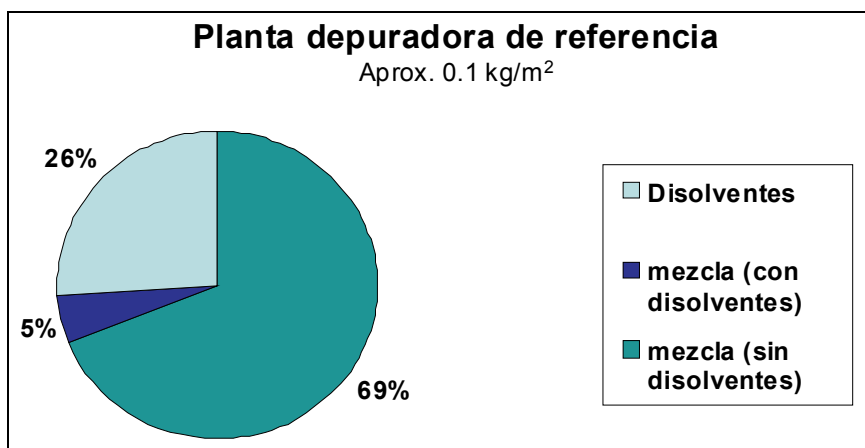
de unos 378,8 g COVNM/kg de adhesivo, lo que significa que las emisiones de este sector ya se tratan\* parcialmente en la UE-25 (el factor de emisiones no tratadas\* es de 780 g/kg). El EGTEI estima que la reducción alcanzable entre todas las industrias que usan disolventes puede ser del 76 al 98 %; sin embargo, no se sabe hasta qué punto esta cifra es representativa del sector de la fabricación de abrasivos. (\* En este contexto tratado/no tratado significa no sólo el tratamiento de gases residuales, sino también otras medidas para reducir las emisiones de COV).

**Datos específicos para la fabricación de cintas adhesivas**

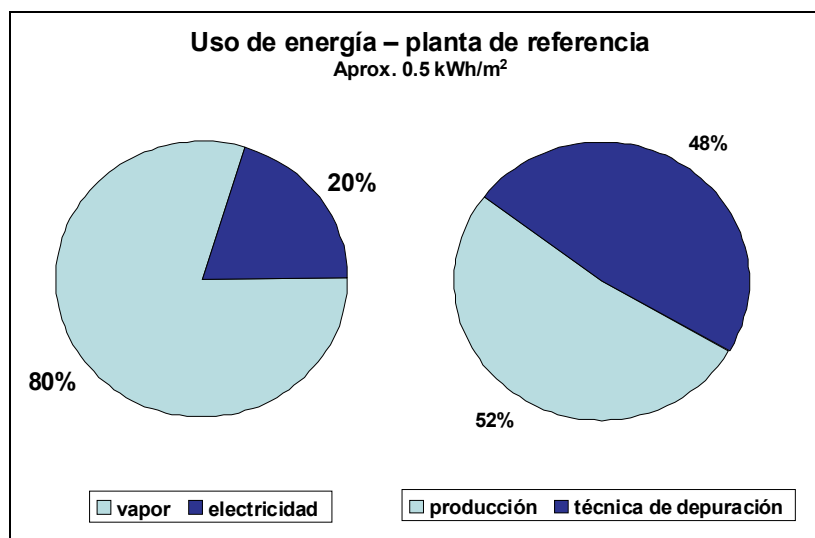
Las tablas y figuras siguientes muestran los datos básicos de consumo y un balance de masa para una moderna planta de referencia que fabrica cintas adhesivas de base disolvente de alta calidad para usos industriales muy específicos.

Tiempo de producción	20 turnos por semana
Productos	Cerca de 50 millones de m <sup>2</sup> /a con un 75 % de alto peso de revestimiento

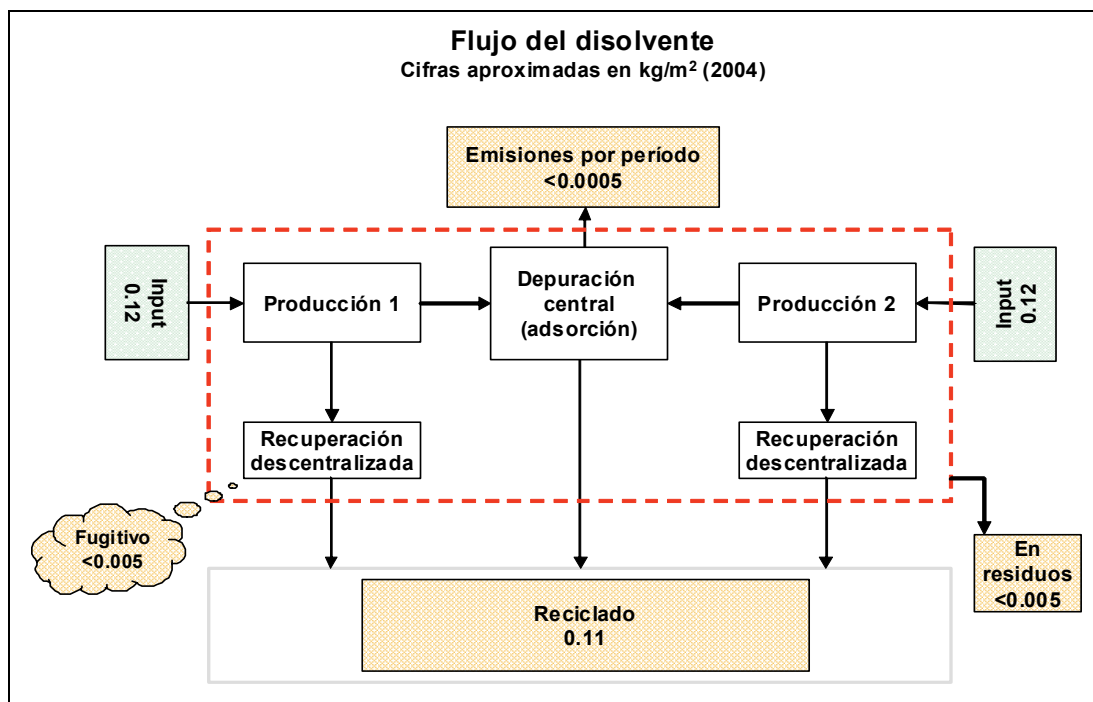
**Tabla 5.3: Condiciones de producción de una planta de fabricación de cinta adhesiva de base disolvente**



**Figura 5.4: Generación de residuos (2004)**  
[184, AFERA, 2005]



**Figura 5.5: Consumo de energía (2004)**  
[184, AFERA, 2005]



**Figura 5.6: Flujo de disolventes (2004)**  
[184, AFERA, 2005]

La cantidad de residuos se reduce mediante:

- optimización del proceso a través de un análisis de riesgos (el proceso AMFE: análisis modal de fallos y de efectos) que evite problemas de calidad;
- control continuo del proceso para evitar productos que no cumplan los criterios establecidos;
- optimización de la mezcla adhesiva para evitar materiales en exceso con una duración de almacenamiento limitada;
- un sistema de recuperación de disolventes eficiente.

Se puede obtener una reducción del consumo de energía mediante:

- el uso de intercambiadores de calor en los secadores;
- un aislamiento optimizado de los secadores.

Los valores específicos de consumo y emisión dependen considerablemente del tipo de cinta fabricada (tipo de disolvente, sustrato, peso de revestimiento) y disminuyen con:

- un menor número de productos diferentes durante el período de fabricación (campañas más largas);
- una menor proporción de cintas de doble cara en la producción.

La Tabla 5.4 muestra cifras específicas de consumo de la planta de referencia, comparadas con los datos medios procedentes de otras producciones de base disolvente.

	Disolvente usado kg/m <sup>2</sup>	Energía usada kWh/m <sup>2</sup>	Residuos generados kg/m <sup>2</sup>
<b>Datos medios</b> (min – max) (prod. normal)	0,04 (0,02 - 0,12)	0,5 (0,25 - 1,1)	0,03 (0,005 - 0,1)
<b>Planta de referencia</b> (prod. especial)	0,12	0,5	0,10

Nota: Esta tabla muestra claramente el mayor consumo específico de la fabricación especializada (como en la planta de referencia) respecto al valor medio de productos fabricados en otras plantas que usan disolventes.

Tabla 5.4: Comparación de referencia del disolvente y la energía usados y los residuos generados

### 5.3.1 Balance de emisiones de COV

El balance de COV para la planta de referencia descrita se muestra en la Figura 5.7 a continuación.

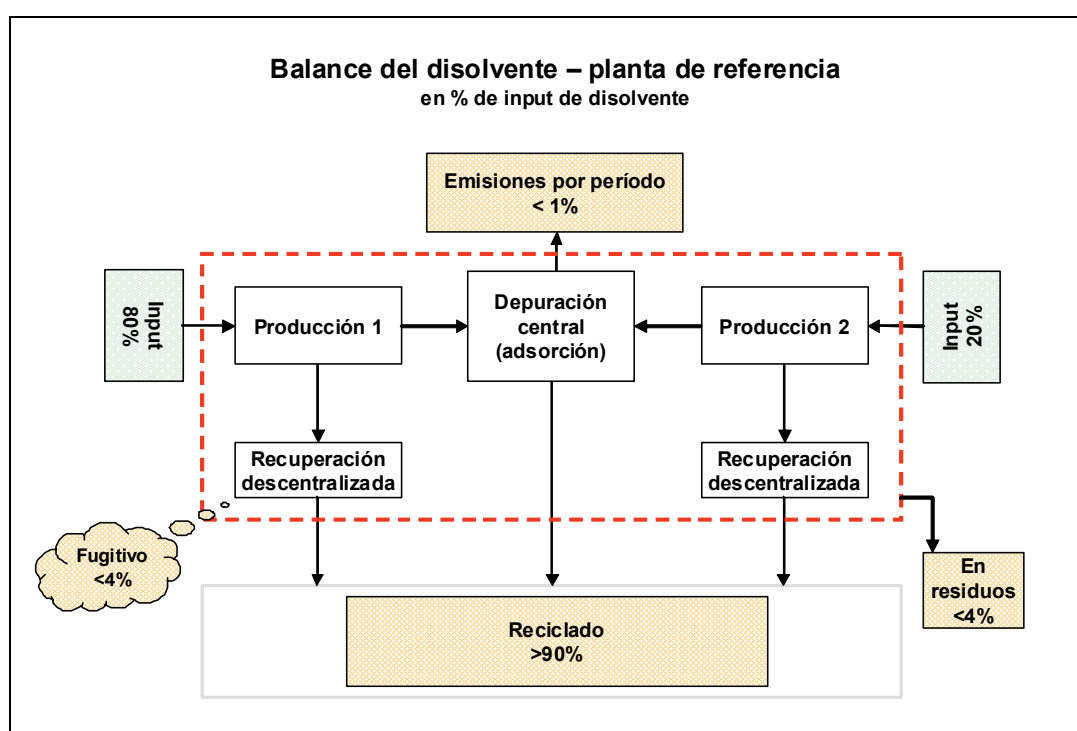


Figura 5.7: Balance de COV de la planta de referencia [184, AFERA, 2005]

Tal como puede observarse en este balance de COV, los límites de emisión de este tipo de instalaciones son bajos y pueden lograrse valores de emisión del 5 % en peso o menores. Aspectos importantes para obtener buenos valores de emisión son:

- uso de técnicas sin disolventes para fabricación de productos adecuados (actualmente gamas de calidad menor de cintas de embalaje y cintas adhesivas estándar y cintas de doble cara);
- captura de las emisiones procedentes del almacenamiento de disolventes y de la mezcla de adhesivos;
- confinamiento de toda la máquina de revestimiento y dirección de todas las emisiones de todas las fuentes fugitivas hacia el tratamiento de gases residuales. Éste puede ser uno de los siguientes, o una combinación de los mismos:
  - condensación, tras una fase de presecado (véanse los apartados 5.4.5.1 y 20.11.5.3 y también el 5.4.4.1 y el 20.8.1.2),
  - absorción con una recuperación > 90 % y emisiones < 1 % (véanse los apartados 5.4.5.2, 20.11.6.1 y 20.13.7.1),

- oxidación con recuperación de energía (véanse los apartados 5.4.5.2, 20.11.6.1 y 20.13.7.1),
- captura adicional específica de emisiones de COV directamente de las unidades de revestimiento (véase el apartado 20.11.4);
- disminución del número de productos diferentes durante el período de fabricación (campañas más largas) lo que evita la necesidad de la limpieza intermedia.

## 5.4 Técnicas a considerar en la determinación de MTD para la fabricación de cintas adhesivas

En el capítulo 20 se comentan técnicas que también se podrían aplicar a la industria de cintas adhesivas. En la Tabla 5.5 se muestran las técnicas generales relevantes para la fabricación de cintas adhesivas. En general, estas técnicas no se repiten en este apartado, a no ser que se disponga de información específica para la industria. En Tabla 20.1 se presenta una descripción del tipo de información que se considera para cada técnica.

La hoja resumen del EGTEI para la aplicación industrial de adhesivos (véase el anexo 24.1.1) proporciona algunos datos acerca de los costes y beneficios en un ámbito europeo para algunas técnicas de reducción de emisiones de COV. Sin embargo, el enfoque del EGTEI es necesariamente limitado en su complejidad y sólo se consideran las técnicas clave, sin referencia a otros factores en las MTD, como los efectos cruzados o las características técnicas de las instalaciones y productos particulares.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Recuperación en el emplazamiento del carbón activo y de otros adsorbentes utilizados	20.13.7.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 5.5: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector

### 5.4.1 Adhesivos convencionales de base disolvente

**Descripción:** Los adhesivos de base disolvente deben aplicarse para conseguir propiedades específicas, por ejemplo para obtener una gran resistencia a la tensión. Actualmente no se dispone de adhesivos sin disolventes que presenten propiedades equivalentes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Aplicable en plantas e instalaciones nuevas y existentes.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente usado.

**Bibliografía de referencia:** [14, DFIU e IFARE, 2002]

### 5.4.2 Sustitución de adhesivos convencionales de base disolvente

Es importante señalar que se trata de opciones sólo para la fabricación de una gama limitada de cintas adhesivas y para plantas nuevas o renovadas, ya que estas sustituciones requieren un cambio completo de los equipos. [128, TWG, 2005]

#### 5.4.2.1 Adhesivos de fusión en caliente

**Descripción:** Los adhesivos de fusión en caliente no contienen disolventes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se eliminan las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La técnica es aplicable en plantas e instalaciones nuevas y existentes. En la fabricación de cintas adhesivas, los termofusibles son adecuados para la gama de baja calidad de cintas adhesivas de embalaje y cintas adhesivas estándar, así como para cintas de doble cara.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [14, DFIU e IFARE, 2002]

#### 5.4.2.2 Adhesivos al agua

**Descripción:** Los adhesivos al agua no contienen disolventes orgánicos.



**Beneficios ambientales obtenidos:** Se eliminan las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** Se requiere más energía en el secado.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La técnica es aplicable en plantas e instalaciones nuevas y existentes. En la fabricación de cintas adhesivas, los adhesivos al agua son adecuados para la gama de baja calidad de cintas adhesivas de embalaje y cintas adhesivas estándar, así como para cintas de doble cara.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [14, DFIU e IFARE, 2002]

### 5.4.2.3 Adhesivos de curado por UV

**Descripción:** Los adhesivos de curado por UV no contienen disolventes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se eliminan las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La técnica es aplicable en plantas e instalaciones nuevas y existentes. En la fabricación de cintas adhesivas los adhesivos de curado por UV son adecuados para la gama de baja calidad de cintas adhesivas de embalaje, cintas de transferencia y cintas adhesivas estándar.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [14, DFIU e IFARE, 2002]

## 5.4.3 Sustitución de la fabricación de adhesivos convencionales de base disolvente

### 5.4.3.1 Fabricación sin disolventes de cintas adhesivas

**Descripción:** En una planta europea se amplió un nuevo proceso de fabricación de cintas adhesivas técnicas para conseguir una línea de producción completa. El nuevo proceso se basa en tecnología de termofusión que se adopta para las necesidades muy específicas de los productos de base disolvente existentes para usos industriales. Ello ha sido posible mediante modificaciones del producto, fusiones de productos y un apoyo intensivo del producto y de las aplicaciones para los clientes, para garantizar la aceptación de los nuevos productos y su adecuación al uso previsto.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En comparación con los procesos de base disolvente, las emisiones de disolventes, el uso de disolventes y el agua de procesamiento se reducen a cero. El consumo primario de energía se reduce al 33 %.

**Efectos cruzados:** Esta técnica implica la reticulación de polímeros, que genera ozono. Las emisiones de ozono se destruyen en un eliminador (con catalizador) que logra valores de emisión de 0,05 ppm.

**Información operativa:** Se puede fabricar una gama de productos con aplicación de un adhesivo de 30 – 110 g/m<sup>2</sup>. Los procesos automatizados integrados sin operación manual permiten una gran eficiencia de materiales. La Tabla 5.6 muestra una comparación en una planta entre un proceso con caucho natural que usa disolventes y un proceso con caucho natural sin disolventes. Las cifras reales variarán en función del producto fabricado.

Energía	Procesos de base disolvente	Procesos sin disolventes
Vapor (t) para regenerar el carbón activado (kWh) correspondiente al uso de fuel-oil (t)	25 145 14,75 millones aprox. 1700	0 0 0
Electricidad (kWh) correspondiente al uso de fuel-oil (t)	6,71 millones aprox. 1650	4,5 millones aprox. 1100
Uso de agua de procesamiento (m <sup>3</sup> )	aprox. 25 000	0
Uso de energía total (kWh)	21,46 millones	4,5 millones
Equivalente total del uso de fuel-oil (t)	aprox. 3350	aprox. 1100
Nota: El consumo de energía está asociado a una producción de 100 millones de m <sup>2</sup>		

**Tabla 5.6: Comparación entre un proceso de caucho natural con disolventes y uno sin disolventes**

**Aplicabilidad:** No todos los productos existentes pueden fabricarse en esta instalación nueva. Es necesario redefinir las especificaciones del producto junto con el cliente si se prevé un cambio en esta técnica.

La aplicación de esta técnica nueva requiere cambios fundamentales en todas las partes de una instalación. Sólo es una opción factible para instalaciones nuevas o para aquellas que realizan renovaciones extensas.

Para obtener las ventajas de eficiencia descritas se requiere una gama de producción homogénea.

**Aspectos económicos:** La inversión de capital para la instalación nueva fue de 13,4 millones de EUR. El ahorro de energía se cifra en un 66 % aproximadamente. No hay gastos para el tratamiento de gases residuales, el control ni otras cuestiones de cumplimiento con tratamiento de emisiones, ya que no son necesarios.

El funcionamiento rentable de esta tecnología sólo puede lograrse en instalaciones de grandes dimensiones.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplimiento de la DED 1999/13/CE. Adopción de una nueva tecnología para responder a las demandas del mercado actuales y futuras.

**Ejemplos de instalaciones:** Tesa AG, Hamburgo, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005] [184, AFERA, 2005]

## 5.4.4 Secado

### 5.4.4.1 Secado por convección con gas inerte

Para una descripción general, véase el apartado 20.8.1.2. Esta técnica se aplica habitualmente como etapa de presecado en la fabricación de cintas adhesivas.  
[14, DFIU e IFARE, 2002]

#### **5.4.4.2 Curado por radiación infrarroja**

Para una descripción general, véase el apartado 20.8.2.1. Este secado se usa habitualmente en la fabricación de cintas adhesivas y es adecuado para dispersiones y para adhesivos de base disolvente si se necesita protección frente a explosiones.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [14, DFIU e IFARE, 2002]

#### **5.4.4.3 Curado por radiación ultravioleta**

Para una descripción general, véase el apartado 20.8.2.3. El curado por UV se usa cada vez más en la fabricación de cintas adhesivas. Se usa especialmente en los adhesivos termofusibles de acrilatos más recientes. También se usa para adhesivos de curado por radiación en que la reticulación final y el ajuste de las cohesión y fuerza adhesiva requeridas se inician mediante radiación ultravioleta.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [14, DFIU e IFARE, 2002]

#### **5.4.4.4 Curado por haz de electrones (HE)**

Para una descripción general, véase el apartado 20.8.2.4. El curado por HE se aplica cada vez más en la fabricación de cintas adhesivas, aunque menos que el curado por UV (véase el apartado 5.4.4.3) debido a los mayores costes de inversión. Además, a diferencia del curado por UV, no son posibles cambios en las propiedades del sustrato.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [14, DFIU e IFARE, 2002]

### **5.4.5 Tratamiento de los gases residuales**

#### **5.4.5.1 Condensación (refrigeración)**

Para una descripción general, véase el apartado 20.11.5.3. Los disolventes utilizados pueden recuperarse mediante condensación en un intercambiador de calor recuperativo y enfriamiento (de 5 a -30 °C) con un compresor refrigerante. En la fabricación de cintas adhesivas, se aplica la condensación tras una etapa de presecado con un secador de boquillas de gas inerte (véanse los apartados 5.4.4.1 y 20.8.1.2) y antes del proceso de secado principal. A esta etapa le sigue una etapa de adsorción para los gases residuales.

[14, DFIU e IFARE, 2002]

#### **5.4.5.2 Adsorción en carbón activado y recuperación en la instalación**

Para una descripción general, véanse los apartados 20.11.6.1 y 20.13.7.1. Los gases residuales cargados con disolventes pasan a través de adsorbentes, habitualmente formados por diversos tanques conectados en paralelo, llenos de carbón activado. Si un adsorbente se satura, los gases residuales se dirigen al adsorbente adyacente. Para la regeneración, los disolventes adsorbidos se desorben gracias a un aumento de temperatura iniciado por el aporte de vapor. A continuación la mezcla agua-disolvente formada se condensa y se separa mediante separación de fases. En el gas limpio se logran concentraciones de emisión de 70 - 90 mg/m<sup>3</sup>.

[14, DFIU e IFARE, 2002]



## 6 REVESTIMIENTO DE VEHÍCULOS

[13, DFIU e IFARE, 2002, 68, ACEA, 2004] [117, ACEA, 2005] [128, TWG, 2005]

### 6.1 Información general sobre la industria del automóvil

#### 6.1.1 Cifras de producción y ventas

Este capítulo trata del revestimiento a gran escala de turismos, de la categoría M1 (según la Directiva 70/156/CEE), y las medidas de protección ambiental integradas que se usan. Algunos vehículos de categoría N1 (camionetas) que se fabrican en las mismas instalaciones, pueden basarse en turismos y usar técnicas de fabricación similares.

La industria del automóvil es una de las principales industrias manufactureras de Europa. En el año 2005 toda Europa (incluyendo Rusia) produjo 20,8 millones de vehículos de motor, lo que hace de Europa el mayor productor mundial, con un 39,6 % del total mundial. Europa occidental (UE-15 + EFTA) produjo 16,5 millones de vehículos el 2005, lo que representa el 32 % de la producción mundial. 1,2 millones de personas, aproximadamente, trabajan directamente en la fabricación de vehículos y 0,8 millones en la fabricación de componentes para vehículos (que contribuyen a las industrias de los capítulos 13 y 16), lo que representa el 7 % de la industria manufacturera de la UE-15 (2003). La industria europea contribuye con 33 500 millones de EUR a la balanza comercial de la Unión Europea.

Europa Occidental produjo 14,3 millones de turismos, de los cuales 12,9 millones provienen de miembros de la ACEA<sup>4</sup>, con un volumen de negocios en Europa de 452 000 millones de EUR. En toda Europa hay 154 plantas de fabricación de automóviles (miembros de la ACEA: 106). En la UE-25 18 países disponen de plantas de producción de vehículos. Los mayores productores europeos se muestran en la tabla Tabla 6.1. A pesar de esta situación globalmente dinámica, la industria es muy competitiva, con un exceso de capacidad en Europa, de forma que la producción se desplaza hacia Europa oriental (incluyendo los nuevos Estados miembros de la UE) y hacia Asia. En algunos países se están cerrando plantas o bien están reduciendo su producción (véase la Tabla 6.1 y las notas correspondientes) [152, ACEA, 2006].

Capacidad de montaje de vehículos en miles de unidades		2004	Estimación para 2009
1	Alemania	6190	6398
2	Francia	4356	4500
3	España <sup>2</sup>	3329	3318
4	Reino Unido <sup>2</sup>	2632	2613
5	Rusia	1874	2113
6	Italia	1803	1802
7	Bélgica	1133	1222
8	Turquía	1003	1105
9	Polonia <sup>1</sup>	847	654
10	República Checa <sup>1</sup>	534	854
Notas:			
(1) Cambios para 2009: Polonia sale de la lista de 10 mayores productores; la República Checa pasa al 9º puesto y Eslovaquia al 10º con 811 000 unidades.			
(2) Desde que se elaboró esta tabla, en el Reino Unido cerró una gran planta en 2005 y otra cerrará en 2007; otras reducirán turnos. En España una planta reducirá su producción hacia el 2007.			

**Tabla 6.1: Mayores productores europeos de vehículos**  
(*Automotive News Europe*, 19 nov. 2004)

Los ciclos de inversión son un factor clave para los fabricantes de vehículos. Está claro que el momento óptimo para realizar inversiones ambientales es durante la renovación del equipo

<sup>4</sup> ACEA: Asociación de Constructores Europeos de Automóviles.

dentro del ciclo de inversión normal. En general, no se puede realizar una inversión importante en una instalación existente, excepto cuando surgen oportunidades para modificaciones importantes de las instalaciones del taller de pintura. Estas oportunidades tienden a aparecer tras el tiempo de vida útil habitual del taller (entre 20 y 40 años) o cuando hay un salto en los volúmenes de producción, a menudo asociado con el lanzamiento de un nuevo producto.

Las oportunidades de inversión para las instalaciones existentes son limitadas, ya que la inversión de capital necesaria es extremadamente alta, entre 100 millones y 500 millones de EUR para un taller de pintura completo o, si restricciones como el tiempo y el espacio lo permiten, para una cabina de pulverización, entre 15 millones y 35 millones de EUR. Estas inversiones se suelen depreciar en 20 años.

El momento de la inversión dependerá de varios factores, como:

- nuevo programa de modelos,
- edad de los equipos y el diseño existentes,
- disponibilidad de tiempo o espacio para la renovación,
- magnitud de la inversión,
- inversiones previas.

La edad media de un vehículo en Europa es de 8 años, con un kilometraje de 15 000 km por año. La duración de la carrocería es un problema importante y las mejoras en el revestimiento de carrocerías y componentes en los últimos 20 años ha tenido un papel importante en la mayor duración de la vida útil de los vehículos de unos 5 años a los 8 actuales, lo que mejora la sostenibilidad.

La fabricación de vehículos representa una parte significativa de sus consumos y emisiones durante su ciclo de vida. El consumo de energía puede ser del 5 al 15 % (según diferentes fuentes). Las emisiones de disolventes eran de unos 300 gm/m<sup>2</sup> e la década de 1979 y se han ido reduciendo de forma constante gracias a las técnicas que se comentan en este capítulo.

## 6.2 Procesos y técnicas aplicados en la industria del automóvil

### 6.2.1 Requisitos de calidad

Las carrocerías recubiertas de vehículos y, por tanto, las pinturas, deben satisfacer los requerimientos siguientes:

- protección a largo término frente a corrosión, agresiones químicas (p. ej. defecaciones de aves, lluvia ácida), áridos, luz solar, abrasión en estaciones de lavado de automóviles, etc.
- propiedades ópticas superficiales ideales: brillo, profundidad de color, sin turbidez y sin defectos, de forma que se obtenga homogeneidad y consistencia en la coloración y en la formación de efectos (como los acabados metalizados, etc.).

Estos requerimientos de alto nivel sólo se puede lograr, como mínimo, con tres capas de pintura, a menudo cuatro o incluso hasta cinco, cada una de las cuales complementa a las demás. Estas capas se aplican en piezas de la carrocería planchadas y montadas a partir de acero pretratado, para aumentar la resistencia a la corrosión a largo término. [59, EIPPCB, 2006] En Europa, se ha generalizado la siguiente estructura de capas de pintura:

- se aplican pretratamientos sobre plásticos y piezas de carrocería montadas a partir de metales (p. ej. el acero se pretrata con fosfatos para aumentar su resistencia a la corrosión a largo plazo);
- capa de imprimación por electrorrevestimiento catódico;
- protección de los bajos de carrocería / sellado de juntas;
- imprimación;

- capa final (puede ser la capa base y capa transparente);
- conservación de cavidades y, si es necesario, conservación para el transporte.

En primer lugar, el pretratamiento elimina suciedad y grasa de las carrocerías ya planchadas y aplica un tratamiento de fosfato anticorrosión, que también ayuda a la posterior adhesión de la pintura. El electrorrevestimiento catódico proporciona protección frente a la corrosión para las zonas interiores y exteriores, incluyendo todas las cavidades, zonas solapadas y conexiones. El imprimador proporciona propiedades ópticas (enmascaramiento de la superficie subyacente, gradiente), protección frente a áridos y regula la fuerza de adherencia. Las capas finales pueden ser sistemas monocapa o bicapa (capa base y capa transparente), p. ej. con colores metalizados, efectos de pintura (brillo perlado) y a veces con pintura monocolor. La capa final proporciona propiedades ópticas (brillo, color, luminancia) y ofrece una protección esencial frente al ataque ambiental químico y físico (radiación solar, lluvia, productos químicos, combustibles, agentes de limpieza, esfuerzos mecánicos). [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005].

### 6.2.2 Revestimiento en serie

A pesar de que los procesos de revestimiento en serie son diferentes en cada fábrica (incluso de un mismo fabricante), se pueden enumerar algunas propiedades comunes. Las etapas principales son el prelavado, la fosfatación, la pasivación, la imprimación por inmersión catódica, la protección de bajos y sellado de juntas, la aplicación de imprimador, el secado del imprimador, la aplicación de la capa final y, en general, de una capa transparente (una o dos capas), el secado de la capa final, la conservación de cavidades y, si es necesario, la conservación para el transporte y reparación de posibles daños en la pintura antes del montaje. En general, en toda Europa, se aplican capas finales de dos capas con una capa base y una capa transparente, en lugar de capas finales monocapa. En la Figura 6.1 se muestra un proceso genérico.

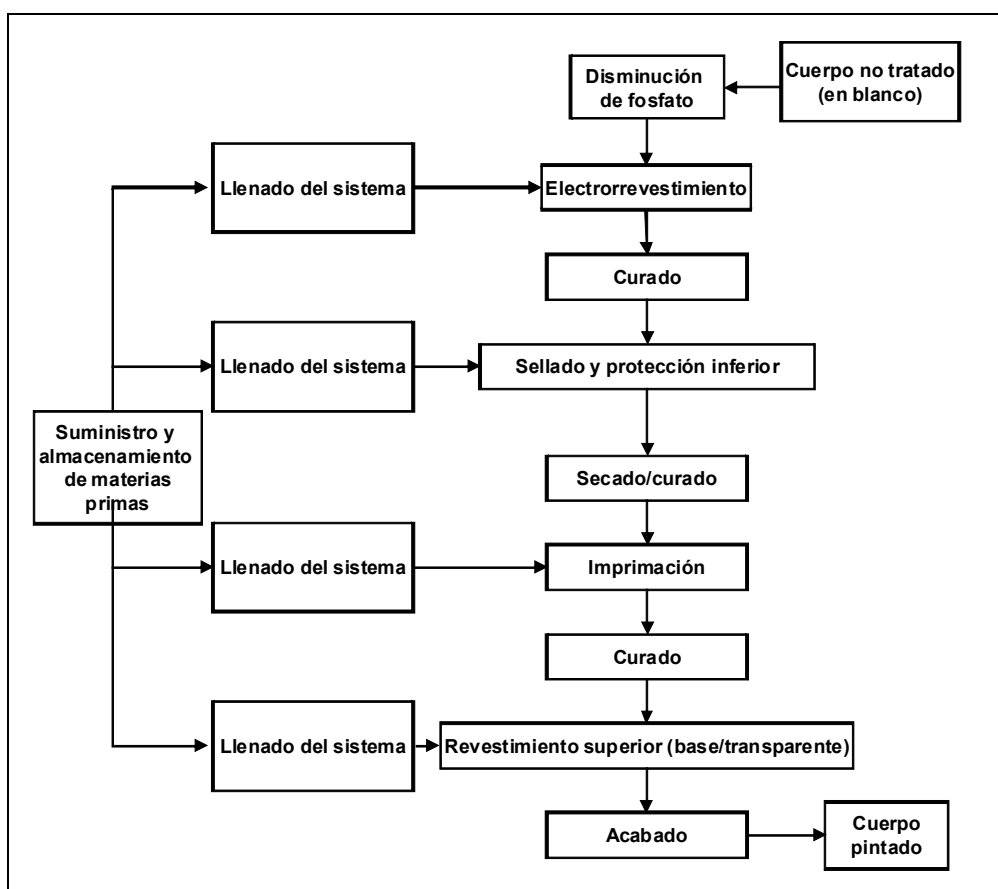


Figura 6.1: Esquema genérico de un proceso de pintura de carrocerías [68, ACEA, 2004]



### 6.2.3 Materiales de revestimiento aplicados

Estos materiales se describen junto con los procesos de revestimiento en los apartados 6.2.4, 6.4.1 y 20.7.

### 6.2.4 Procesos de revestimiento

#### 6.2.4.1 Técnicas de aplicación de revestimientos

La pintura en serie de carrocerías en bruto (*body in white*, BIW)<sup>5</sup> incluye el electrorrevestimiento (inmersión catódica), sellado, imprimación, aplicación de la capa final y procesos de encerado. Los procesos de imprimación y de la capa final usan técnicas de aplicación por pulverización (básicamente electrostáticas para las superficies externas), que se realizan en cabinas de pulverización específicamente diseñadas con una proporción de polvo en el aire, temperatura y humedad controladas. Las cabinas para la capa final suelen estar construidas con zonas de vaporización instantánea para optimizar el rendimiento del proceso de pintura. El primer punto de vaporización se sitúa entre la aplicación de la capa base y de la capa transparente (en el caso de pinturas al agua este proceso suele acelerarse mediante aire caliente o radiadores de infrarrojos: vaporización instantánea forzada) y el segundo tras la aplicación de la capa transparente y antes de entrar en el horno de secado. La pulverización de pintura se trata con una mezcla de aire de escape de la cabina y agua (o una disolución alternativa) en un lavador de Venturi situado bajo la rejilla de la cabina. [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005]

En la pulverización, las técnicas más importantes de nebulización son [76, TWG, 2004]:

- pulverización por aire comprimido (efectos como metalizados e interiores),
- pulverización electrostática con alta velocidad de rotación,
- pulverización con robots,
- pulverización electrostática con aire comprimido,
- pulverización en caliente,
- nebulización rotacional,
- pulverización sin aire.

#### 6.2.4.2 Descripción de las etapas del proceso

Gracias a una intensa investigación y desarrollo (en curso) en la industria del automóvil, en toda Europa se usan diversas técnicas de revestimiento avanzadas, que se describen en los párrafos siguientes [76, TWG, 2004].

##### 6.2.4.2.1 Pretratamiento

Las técnicas de pretratamiento para el desengrasado, el fosfatado y otros revestimientos de conversión, con sus aclarados y otras técnicas asociadas, se comentan en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006].

En la primera etapa, las carrocerías en bruto se desengrasan y posteriormente se aclaran concienzudamente. El desengrasado elimina aceites, grasas, jabones, partículas de suciedad, residuos de lijado y otras sustancias y contaminantes. Se lleva a cabo a una temperatura de unos 50 – 60 °C con agentes limpiadores alcalinos acuosos, que también pueden contener fosfatos y surfactantes.

---

<sup>5</sup> BIW es el término estándar en la industria y se refiere a la estructura metálica en bruto del vehículo antes de desengrasarla, sumergirla y pintarla.

A continuación se realiza el fosfatado, que crea una subestructura para protección frente a la corrosión y para aportar estabilidad adhesiva al sistema de pintura. Se consigue una capa de fosfato de un grosor de unos 1,5  $\mu\text{m}$  mediante pulverización o inmersión en una disolución al agua. Puede contener otros metales, como los sistemas trimetálicos ampliamente usados que contienen cinc, manganeso y níquel, así como calcio, ácido fosfórico y oxidantes como nitritos, nitratos, cloratos, peróxido de hidrógeno y nitrato de hidroxilamina como acelerante. Tras otro proceso de aclarado, la capa de fosfato puede pasar por un proceso adicional de pasivación (por ejemplo con una disolución de Cr (VI) o Cr (III)). Se realiza un nuevo aclarado, que finaliza con agua desmineralizada. La carrocería fosfatada se suele secar a una temperatura de 50 – 60 °C y se transfiere inmediatamente a la zona de electrorrevestimiento (véase el apartado 6.2.4.2.2).

Las aguas residuales se pueden tratar en plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales (puede hallarse más información en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006]).

Los fangos formados en las disoluciones de procesamiento requieren su eliminación como parte del mantenimiento de las disoluciones y se tratan como residuos [76, TWG, 2004].

#### **6.2.4.2.2 Electrorrevestimiento**

Esta técnica se conoce con diversos nombres: e-revestimiento, inmersión catódica, pintura por electroforesis, etc. Actualmente el electrorrevestimiento se usa de forma casi universal en toda Europa como revestimiento de imprimación en turismos, debido a los elevados requerimientos de protección frente a corrosión. La pintura al agua se aplica por inmersión y habitualmente contiene alrededor de un 14 – 22 % en peso de sólidos y un 2 – 6 % en peso de disolvente, mientras que los pigmentos no contienen plomo. Los sólidos acostumbran a ser un polímero de látex en dispersión en una base de ácido acético (llamado ultrafiltrado, véase más adelante) y se aplican en un proceso similar al electrochapado.

Las partículas de pintura que no se han depositado eléctricamente se eliminan mediante un aclarado con el ultrafiltrado. Para minimizar las pérdidas de pintura, se usan diversos sistemas de aclarado (aclarado en cascada) y los sólidos y el líquido se regeneran mediante ultrafiltración. La parte de alto contenido en sólidos se devuelve al baño de inmersión, con lo que se consigue un ciclo cerrado para los sólidos (se puede hallar más información en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006]). La técnica de electrorrevestimiento requiere un proceso de curado, por ejemplo a 150 - 180 °C. Los materiales de cocido a baja temperatura se hallan en fase de desarrollo. Excepto para la eliminación de pequeñas imperfecciones, la capa de imprimación no se pule posteriormente.

Las aguas residuales se pueden tratar en plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales [76, TWG, 2004] (puede hallarse más información en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006]).

#### **6.2.4.2.3 Sellado de juntas y protección de bajos**

Antes de aplicar el imprimador deben sellarse las juntas y los pliegues. Este proceso se lleva a cabo parcialmente a mano y parcialmente con robots, y habitualmente se usan diversos materiales de PVC que se aplican con pistolas especiales. Además, el revestimiento de protección de bajos subsiguiente se basa en plastisol de PVC (100 – 1200  $\mu\text{m}$ ) o en poliuretano. En general se aplica mediante robots con técnicas sin aire. También se aplica parcialmente una protección adicional contra áridos en zonas críticas mediante un chorro de pulverización sin aire. En algunas instalaciones se aplican materiales para protección de bajos y contra áridos, así como para sellado de juntas y cavidades, en etapas posteriores de la producción, a veces tras el acabado de la capa final en la sección de montaje final.

En una planta de Alemania, la aplicación de protección de bajos se realiza con robots y, parcialmente en carrocerías giradas. Esta técnica sólo se puede usar con una estructura de bajos

adecuada y largueros longitudinales estables. Las ventajas son una reducción de la niebla de pulverización gracias a una menor presión de pulverización y un revestimiento uniforme y reproducible. Además, la tecnología presenta ventajas ergonómicas para las operaciones manuales subsiguientes (Volkswagen AG, Wolfsburg).

En algunos casos, los materiales de sellado y protección de bajos se secan o curan antes del procesamiento posterior. Sin embargo, el curado se realiza cada vez más en los hornos de imprimación, lo que ahorra energía.

Antes de la aplicación del imprimador, se limpia la carrocería con un limpiador que atrae el polvo, inyectando aire ionizado o, cada vez más, con rodillos de plumas de emú, ya que las partículas siguen teniendo un efecto perjudicial sobre la posterior capa final.

### 6.2.4.2.4 Aplicación del imprimador

El imprimador tiene las funciones siguientes:

- igualar pequeñas irregularidades de la superficie subyacente y preparar la aplicación de la capa final;
- garantizar la estabilidad de adhesión y lograr el grosor de la capa necesario para obtener la calidad deseada;
- proteger frente a áridos y piedras;
- protección UV para las capas subyacentes por electroinmersión.

Además de los imprimadores convencionales con disolventes, también se usan imprimadores al agua. En este sector, los revestimientos superficiales exteriores suelen aplicarse electrostáticamente mediante nebulizadores de alta velocidad de rotación; si es necesario, el imprimador se aplica manualmente en algunas zonas (p. ej. en secciones internas). Tras el paso por una corta zona de vaporización instantánea para eliminación de disolvente, las carrocerías imprimadas llegan al secador del relleno (hasta 140 – 160 °C; debe ser menor que la temperatura de electrorevestimiento).

Se puede lograr una reducción del consumo de la capa base posterior ajustando el color de imprimación al de la capa base. En algunos casos, la capa base puede eliminarse completamente para las aplicaciones en zonas internas.

Durante un par de años, se usaron imprimadores en polvo en Estados Unidos y en Austria (DaimlerChrysler, Graz). No obstante, las experiencias a largo plazo han mostrado que de esta forma no se lograba la calidad superficial necesaria (entre otras cosas, esto es debido al gran grosor de la capa) y se consumía gran cantidad de material. Aún así, una planta europea usa actualmente imprimadores en polvo con éxito en cinco y seis colores. Los revestimientos en polvo en suspensión en agua (suspensiones pulverulentas) que se procesan como la pintura líquida siguen en proceso de desarrollo; actualmente se usan en las capas finales (véase el apartado 6.4) [76, TWG, 2004].

### 6.2.4.2.5 Limpieza

Antes de aplicar la capa final, es absolutamente necesaria una limpieza completa. Para ello se usan habitualmente los procesos siguientes: aire ionizado, sopladores, desprendimiento de polvo con plumas, limpieza completa de la carrocería incluyendo los procesos de secado y enfriamiento. [76, TWG, 2004]

#### 6.2.4.2.6 Tipos de revestimientos superiores y su aplicación

Los revestimientos superiores pueden estar formados por 1, 2 o más capas.

##### Capas finales monocapa

Actualmente este procedimiento de revestimiento superior sólo se usa en casos especiales con colores únicos e, incluso en estos casos, por cuestiones de durabilidad y de la calidad óptica superficial, se usan cada vez más revestimientos de 2 o más capas. Para el revestimiento de vehículos comerciales ligeros siguen siendo habituales los revestimientos monocapa, porque los clientes piden colores especiales.

Los revestimientos superiores monocapa van desde los sistemas termoendurecidos monocomponente alquílicos, de poliéster o de acrilato, hasta pinturas de elevado entrecruzamiento mono o bicomponente, a menudo con entrecruzamiento de isocianato. Estos sistemas existen tanto en forma de diluibles en agua como en forma de pinturas de base disolvente. Como pigmentos se usan exclusivamente compuestos muy resistentes a la luz y a las condiciones meteorológicas.

El material de la capa final se aplica generalmente mediante nebulizadores electrostáticos automáticos de alta velocidad de rotación, los que permite cambios rápidos de color, en pocos segundos. La pulverización previa o posterior de zonas de difícil acceso se realiza manualmente (neumáticamente). El grosor necesario de la capa de revestimiento seca (revestimiento monocapa) de 35 - 50  $\mu\text{m}$  se logra en una o dos etapas, si es necesario con breves períodos intermedios de vaporización instantánea. Posteriormente, el revestimiento se termoendurece a unos 130 - 140 °C (según el agente adhesivo) en el secador de la capa final.

##### Capas finales bicapa o tricapa

En revestimientos superiores bicapa se aplica una capa base de coloración que, posteriormente, se cubre con una capa transparente. En consecuencia, los colores únicos resultan más atractivos, ya que ganan profundidad óptica y, además, el revestimiento es notablemente más duradero. Los revestimientos de efectos y metalizados se aplican en dos etapas; primero mediante conos electrostáticos de alta velocidad de rotación y, en segundo lugar, neumática o electroneumáticamente.

La capa base se aplica con un grosor de sólo 12 a 35  $\mu\text{m}$ . El grosor efectivo depende de la eficiencia de cobertura del coloreado. Se pueden usar diferentes colores de imprimación para aumentar la capacidad de revestimiento. Las capas base de colores perlados que contienen mica u otros pigmentos de efectos especiales no suelen recubrir y, por tanto, necesita una capa base adicional como superficie subyacente; ésta es habitualmente una capa base blanca, mientras que si se quiere conseguir un énfasis en los efectos de interferencia, también se usan capas base oscuras (revestimiento superior tricapa). En este documento sólo se comentan brevemente otras técnicas de efectos más novedosas, como la coloración de capas base o capas transparentes con colores solubles o el uso de capas base con flúor (que repelen mejor la suciedad) .

A diferencia de los imprimadores y la capa base, no hay alternativas al agua ampliamente usadas para las capas transparentes convencionales. Las proporciones de disolventes de estas capas son de un 53 a un 57 %. Las versiones con alto contenido en materia sólida tienen un contenido de COV del 37 - 42 %. Muchos fabricantes usan capas transparentes bicomponente de base disolvente con un mayor contenido de compuestos no volátiles, del 60 - 75 % (con un alto contenido en materia sólida). Esta capa es de un color blanco lechoso al inicio, se aclara durante el secado y luego aparece el color final. Actualmente se hallan en desarrollo agentes adhesivos modificados y sistemas de curado, así como tecnologías de mezcla de nuevos componentes, que permitirían el uso de capas transparente bicomponente para reducir las emisiones originadas por las capas transparentes convencionales.

En primer lugar, las superficies internas de puertas, el compartimento del motor, las puertas posteriores y, si es necesario, los interiores, se pintan manualmente o mediante robots. Después

de las capas base monocolor, las capas transparentes y las capas base de efectos (en el último caso sólo el primer proceso de pulverización) se pueden aplicar básicamente con dispositivos electrostáticos de alta velocidad de rotación o con pistolas neumáticas. Al usar un dispositivo electrostático para aplicar revestimientos metalizados y perlados, se necesita un revestimiento adicional aplicado neumáticamente.

Cuando se usa una capa base al agua, se necesita una etapa de secado intermedia. En el caso de capas base convencionales basta con un breve período de secado por circulación de aire (la técnica denominada «húmedo sobre húmedo»).

Las capas de colores (básicamente capas base) requieren cambios de color. Un módulo de colores no es suficiente para dos vehículos, como promedio. Incluso cuando se usan las mejores técnicas de recuperación, el purgado o aclarado de conos y pistolas contribuye significativamente a las emisiones cuando se usan pinturas de base disolvente. Para capas al agua, los líquidos de purgado suelen contener un 90 % de agua [76, TWG, 2004].

### 6.2.4.2.7 Secado y curado

El secado acelera la vaporización de los disolventes de la capa de pintura aplicada e incluye el curado de la misma mediante reacciones químicas. Se pueden diferenciar tres tipos de secado:

- Secado físico: el material de revestimiento se aplica en estado líquido y se solidifica formando un revestimiento sólido por la evaporación de los disolventes.
- Curado químico: la película, que normalmente ya está solidificada tras el secado físico, se reticula mediante reacciones químicas, que tienen lugar a temperaturas más altas y, por tanto, necesitan un aporte térmico específico. El calor adicional puede acelerar la reacción dentro de ciertos límites.
- Curado de secado por reacción: se mezclan dos o más componentes reactivos en proporciones preestablecidas antes o durante la aplicación, y se forma una película química por reacción química. Los sistemas pueden ser de base disolvente o sin disolventes. Normalmente la reacción se inicia a temperatura ambiente y puede acelerarse con aporte de calor.

En la práctica se usan secadores por convección, por radiación o una combinación de ambos, según las exigencias de calidad del revestimiento. Las carrocerías, calentadas durante el proceso de secado, en general deben enfriarse antes del procesamiento subsiguiente. En consecuencia se enfrían con aire en zonas de refrigeración.

### 6.2.4.2.8 Conservación de cavidades

La conservación de cavidades consiste en la aplicación de una película de cera sellada en las cavidades (que existen por cuestiones constructivas) de los largueros y las puertas de la carrocería, para protección frente a la corrosión. Este proceso se puede realizar según las dos técnicas siguientes:

- Pulverización: para toda cavidad existe al menos un orificio de aplicación (40 – 50 de estos orificios en una carrocería). Se consigue una dosificación reproducible preprogramando el volumen aplicado. La técnica de pulverización normalmente utiliza un material con un contenido de cera del 60 - 70 %, que puede ser en emulsión acuosa. La pulverización se realiza a temperatura ambiente y posteriormente, en un horno, se licúa la cera para que penetre en todas las zonas.
- Relleno por exceso de cera caliente sin disolventes: Las cavidades se rellenan de cera caliente (parafina a 120 °C) mediante toberas de relleno colocadas automáticamente. Las cavidades se llenan según las especificaciones. Tras el proceso de relleno, la cera en exceso fluye por las aperturas de escape y vuelve al depósito de relleno, donde se reutiliza en la

circulación del aporte de cera. Antes del relleno la carrocería se calienta (de 50 a 80 °C) para conseguir una capa lo más fina posible. Esta técnica funciona sin disolventes.

#### **6.2.4.2.9 Reprocesado**

A pesar de todas las elaboradas medidas para evitar problemas con el polvo, no se pueden evitar completamente defectos en el revestimiento (polvo seco en los revestimientos, daños mecánicos, sustancias que interfieren en la IPPC. etc.). Los defectos se rectifican inmediatamente con un lijado de la zona afectada y se les aplica, total o parcialmente, una capa final, según la extensión del defecto.

#### **6.2.4.2.10 Conservación para el transporte**

Para la protección del vehículo durante su transporte, se usan varios métodos. La mayoría de fabricantes aplican una capa protectora de cera, que puede ser de base disolvente o al agua. El contenido de disolvente (alrededor de un 70 %) depende, en general, de la protección frente a la corrosión necesaria y, hasta cierto punto, de la edad de las instalaciones de aplicación disponibles. Éstas no son parte integrante de la línea de pintura y pueden estar situadas tras el montaje final del vehículo. Si se usan ceras al agua se necesita un secado forzado. Cada vez más se usan películas para protección durante el transporte o incluso se omite cualquier tipo de conservación durante el mismo [76, TWG, 2004].

### **6.3 Valores actuales de consumo y emisión en la industria de automóviles**

En general, los datos de los fabricantes de vehículos por lo que respecta a cifras de emisión de COV en masa, procedentes de talleres de pintura individuales, son comparables en toda Europa, ya que están estandarizados de acuerdo con la DED. Sin embargo, los datos de fuentes como proveedores de materiales o equipos, o procedentes de fuera de la UE, pueden no ser comparables debido a diferencias técnicas (p. ej. cambio de color, disolventes de limpieza, etc.). Otros valores de consumo y emisión no son directamente comparables a causa de la interpretación divergente de los que es una instalación IPPC entre los diferentes Estados miembros. Aún así, el enfoque integrado IPPC es muy importante y el impacto de cada técnica sobre otras emisiones y las emisiones a otros medios también deben considerarse detalladamente.

#### **6.3.1 Balance de masa**

No hay datos disponibles.

#### **6.3.2 Consumo**

##### **6.3.2.1 Materiales**

La Tabla 6.2 muestra el consumo de pintura en gramos por m<sup>2</sup> pintado de superficie de la carrocería; la emisión de COV y la superficie se miden según las técnicas descritas en el anexo 24.5. El consumo depende de los diferentes sistemas de aplicación y de pintura, etc. Debe señalarse que estas cifras se muestran a título informativo y no deben considerarse una «lista de pedido» para seleccionar un sistema de pintura sólo sobre la base del consumo y la eficiencia. El proceso de pintura en cada instalación es muy complejo y consta de muchas etapas totalmente integradas: cada etapa influye sobre las otras y según las técnicas de aplicación deben



considerarse cifras diferentes. En consecuencia, las decisiones sobre las mejores opciones no pueden tomarse basándose en la selección de cada etapa individual.

Material de pintura <sup>(4)</sup>	Consumo específico de material (g pintura/m <sup>2</sup> ) <sup>(1)(6)</sup> <i>excepto</i> <sup>(3)</sup>
Electrorrevestimiento: al agua, 5 % en peso de disolventes orgánicos, contenido en mat. sol. 14 - 18 %	70 – 80
Imprimador: de base disolvente, 45 % en peso de disolventes orgánicos, aplicación por pulverización electrostática	10 – 15
Imprimador: al agua, 8 % en peso de disolventes orgánicos, contenido en mat. sol. 50 – 55 %, aplicación por pulverización electrostática	10 – 20
Recubr. superior monocapa: de base disolvente, 45 % en peso de disolventes orgánicos, aplicación por pulverización electrostática	35 – 60
Capa base: de base disolvente, 75 % en peso de disolventes orgánicos, <sup>(5)</sup> aplicación por pulverización electrostática (60 %) y aplicación por pulverización con aire comprimido (40 %)	45 – 55 <sup>(2)</sup>
Capa base: al agua, 13 % en peso de disolventes orgánicos, contenido en mat. sol. 17 - 35 %, aplicación por pulverización electrostática (60 %) y aplicación por pulverización con aire comprimido (40 %) <sup>(5)</sup>	45 – 60 <sup>(2)</sup>
Capa transparente: de base disolvente, 45 % en peso de disolventes orgánicos, aplicación por pulverización electrostática	20 – 30
Capa transparente: al agua, 14 % en peso de disolventes orgánicos, contenido en mat. sol. 42 - 49 %, aplicación por pulverización electrostática	35 – 45
Capa transparente: polvo en suspensión, aprox. 1 % en peso de disolventes orgánicos, contenido en mat. sol. 38 %, aplicación por pulverización electrostática	42 – 46
Capa transparente: en polvo, sin disolventes, aplicación por pulverización electrostática	100 – 110
Protección de bajos y sellado de juntas	6 – 12 kg/carrocería <sup>(3)</sup>
Protección para el transporte y entrega	6
<sup>(1)</sup> Área electrorrevestida tal como se define en la DED. Esta unidad es válida para todos los sistemas de pintura citados, excepto para protección de bajos y sellado de juntas; para este caso no se puede aportar ninguna unidad asociada al área. <sup>(2)</sup> Para capas base con un contenido en materia sólida del 20 – 25 % en peso durante el procesamiento. <sup>(3)</sup> kg/carrocería, no g/m <sup>2</sup> . <sup>(4)</sup> Las aplicaciones electrostáticas suelen tener velocidades mayores, mientras que las neumáticas las presentan menores. <sup>(5)</sup> Los porcentajes hacen referencia a la proporción del grosor de la película conseguido por la capa base aplicada: 60 % con conos electrostáticos de alta velocidad de rotación (p. ej. 9 µm) frente a un 40 % con aplicación neumática (p. ej. 6 µm). Las reparaciones con pulverización neumática muestran diferencias visibles de los acabados metálicos aplicados con revestimiento electrostático, de forma que el revestimiento en serie con pulverización neumática facilita las reparaciones durante la vida útil del vehículo. <sup>(6)</sup> Medido según las técnicas descritas en detalle en el anexo 24.5.	

**Tabla 6.2: Consumo específico de pintura con diversos sistemas de pintura [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]**

### 6.3.2.2 Agua

Las principales áreas que usan agua son:

- pretratamiento (desengrasado),
- revestimientos de conversión (fosfatado y pasivación),
- electrorrevestimiento,
- limpieza del aire de salida de la cabina de pulverización.

El uso principal del agua es el aclarado de materiales antes del siguiente proceso; una pequeña cantidad se usa para la compensación de la evaporación y para hacer nuevas disoluciones. Las técnicas de gestión y ahorro de agua se describen en detalle en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006]. Entre éstas se



hallan el aclarado multietapa, técnicas para minimizar el uso de agua y la recuperación de agua y materias primas, y son igualmente aplicables en el electrorrevestimiento. Los intervalos de consumo asociados con las MTD que se presentan en el BREF STM son: 3 – 20 l/m<sup>2</sup>/etapa de aclarado.

La sección de pintura de una importante empresa alemana ha reducido su consumo de agua en aproximadamente un 70 %, hasta los 3 l/m<sup>2</sup>, gracias al uso de todas las técnicas posibles de ahorro de agua, como ciclos cerrados y sistemas en cascada multietapa en las zonas de aclarado de las instalaciones de pretratamiento y de imprimación por electrorrevestimiento. Ello implicó la instalación de una nueva planta de fosfatación. Suponiendo que esto incluía tres etapas de aclarado (desengrasado, fosfatación y electrorrevestimiento), el intervalo de consumo asociado con las MTD presentadas en el BREF STM sería de 9 - 60 l/m<sup>2</sup>.

Las cabinas de pulverización disponen de una cortina de agua para recoger la niebla de pulverización. Normalmente se trata de un ciclo cerrado de agua que circula en la cabina, con coagulación de pintura. El residuo generado es una materia coagulada fangosa y se generan pocas aguas residuales. Las cabinas necesitan un vaciado ocasional para su limpieza, así como agua para compensar las pérdidas por evaporación.

Se puede usar agua para refrigeración. Esto se comenta en el BREF CV [126, EIPPCB].

### 6.3.2.3 Energía

<b>Consumo típico de energía en talleres de pintura de vehículos</b>	
<b>Capacidad de producción</b>	200 000 vehículos/a
<b>Sistema de revestimiento</b>	Material de relleno y capa base al agua, capa transparente 2K de base disolvente
<b>Consumo de energía del taller de pintura</b>	<b>Intervalo de valores</b>
<b>Consumo total de energía (planta)</b>	380 000 – 580 000 MWh
Consumo de energía del taller de pintura (60 % gas)	160 000 – 240 000 MWh
Consumo del taller en % del consumo total	38 – 52 %
<b>Consumo de energía de los procesos de pintura</b>	
	<b>Intervalo</b>
Pretratamiento	7 – 11 %
Electrorrevestimiento	10 – 15 %
Sellado de juntas / protección de bajos	12 – 18 %
Relleno	12 – 18 %
Capa base	15 – 22 %
Capa transparente	22 – 33 %
Sellado de cavidades	2 – 2 %
Total	80 – 120 %
Fuentes: Ökobilanz Lackierprozess (2003) (Krinke), Pers. Mittl. Hr. Engelmann, oct. 2005, ACEA 2005	

**Tabla 6.3: Consumo típico de energía en talleres de pintura de vehículos [128, TWG, 2005]**

El proceso de pintura es una de las etapas de uso más intensivo de energía y, probablemente, la más significativa ambientalmente en la fabricación de vehículos tras considerar el uso y las emisiones de disolventes. La Tabla 6.3 presenta valores típicos para talleres de pintura de automóviles, que muestra cómo el consumo de energía de los talleres de pintura es de un 38 – 52 % del consumo total de toda la planta de montaje (excluyendo otras actividades de producción que a veces se ubican en la misma planta, como fundiciones, fabricación de bloques motor y fabricación de otros componentes). Los detalles del consumo de energía para una secuencia determinada de procesos y de etapas individuales del proceso dependen del tipo de proceso y de la capacidad individual de la línea de

producción. Por ello, los datos a menudo no son comparables, a veces ni tan solo entre diferentes líneas dentro de una misma instalación. En muchos casos no existen datos o no se han publicado.

### 6.3.3 Emisiones

#### 6.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

En la fabricación de vehículos, los COV representan la fuente de emisión más importante. La actividad emite COVNM que se originan en las cabinas de pulverización, los hornos de secado y la limpieza de los equipos de aplicación. Las emisiones de COVNM de este sector puede variar significativamente entre los diversos países. En el ámbito de la UE-25 para el año 2000 (según el modelo RAINS), las emisiones de COVNM fueron de 74,2 kt, lo que representa el 0,7 % del total de emisiones de COVNM. La actividad total fue de 18 36 7150 vehículos pintados y recubiertos, lo que da un factor de emisión media de unos 4 kg COVNM/vehículo. Esto muestra que las emisiones de este sector ya se tratan parcialmente\* en la UE-25 (el factor de emisión sin tratar\* es específico de cada país, pero puede llegar a valores de 10 kg/vehículo). La cifra equivale a una media para la UE-25 de unos 40 - 67 g COV/m<sup>2</sup>, a comparar con la situación en el caso sin tratar, que es de unos 100 - 167 g COV/m<sup>2</sup> (ambos intervalos dependen del tamaño del modelo). La industria ha realizado una inversión significativa en actividades de reducción de disolventes y, antes de introducir las medidas de reducción (p. ej. en la década de 1970) los valores habituales de emisión se hallaban entre 200 y 300 g/m<sup>2</sup> (medidos según la DED) [117, ACEA, 2005] (\* En este contexto tratado/no tratado significa no sólo el tratamiento de gases residuales, sino también otras medidas para reducir las emisiones de COV). Las emisiones y las superficies se calculan según lo establecido en el anexo 24.5.

La DED estableció un límite de emisión másica de COV en las instalaciones de pintura de vehículos de 60 g/m<sup>2</sup> para instalaciones existentes y de 45 g/m<sup>2</sup> para instalaciones nuevas. El plazo para conseguir el límite de emisión para las plantas existentes es el 31 de octubre de 2007. A principios de 2005, 27 plantas europeas operaban por encima del límite de 60 g/m<sup>2</sup> y disponían de programas de actualización en curso para conseguir el límite dentro del plazo establecido [117, ACEA, 2005].

La mayoría de Estados miembros aplican los límites de la DED, pero algunos usan unos límites de emisión inferiores. Alemania, por ejemplo, tiene una larga tradición de puesta en práctica de legislación sobre COV, que ha exigido a la industria reducir las emisiones, a lo largo de 20 años, de 60 a 35 g/m<sup>2</sup> para pinturas sólidas. Una legislación similar está en vigor en Austria y en la República Checa [128, TWG, 2005].

Normalmente, la aplicación y el secado del imprimador y de la capa final y capa transparente contribuyen en un 80 % aproximadamente a las emisiones de COV que se originan en el sector de pintura de la fabricación de vehículos. El acabado (rectificación) de la capa final, los procedimientos de limpieza así como fuentes adicionales (p. ej. el revestimiento de piezas pequeñas, la aplicación de protección de bajos) son responsables del 20 % restante. Aproximadamente del 70 al 90 % de las emisiones totales de COV generadas durante la aplicación y el secado se originan en la cabina de pintura; el 10 - 30 % restante se originan en el secador. Los porcentajes indicados dependen, en general, de los tipos de disolventes usados, de los sistemas de pintura y del factor de eficiencia de aplicación de la técnica. El aire residual del secador, cargado con COV, se lleva a un sistema de limpieza térmica de gases residuales.

Las cifras de este apartado se refieren a la superficie electrorrecubierta de la carrocería (véase el anexo 24.5), con una superficie total de unos 65 - 95 m<sup>2</sup> (turismos familiares de tamaño pequeño y medio), en los que el imprimador, la capa base y la capa final se aplican a unos 10 - 15 m<sup>2</sup> de superficie pintura. Las emisiones medias específicas actuales de compuestos orgánicos volátiles en la industria de automóviles alemana es de unos 35 - 45 g/m<sup>2</sup> de superficie electrorrecubierta. Esta cifra corresponde a un consumo medio de disolventes de 2,5 a 4 kg por vehículo (en función del modelo y de los requisitos individuales). Austria estima las emisiones de COV en

21 – 27 g/m<sup>2</sup> y de unos 1,8 kg por vehículo con NO<sub>x</sub> de 40 - 80 mg/Nm<sup>3</sup>, CO de 25 - 80 mg/Nm<sup>3</sup> y partículas (TPB) < 3 mg/Nm<sup>3</sup>. Igualmente, para la industria del automóvil europea, se consiguen valores de emisión entre 35 y 45 g/m<sup>2</sup>, especialmente en plantas de Suecia y de los Países Bajos, así como en algunas plantas de Bélgica, el Reino Unido, Francia, Italia, Portugal y la República Checa. No obstante, este nivel no se ha logrado en muchas plantas de Europa, en las que las emisiones de COV llegan a valores de entre 60 y 120 g/m<sup>2</sup>. La Figura 6. muestra los intervalos de emisiones de COV en 65 talleres de pintura de Europa.

En dos importantes empresas (una de Suecia y la otra de Alemania), las emisiones son sustancialmente menores, de 10 g/m<sup>2</sup> o inferiores. Se trata de plantas nuevas (o recientes) que usan una combinación de instalaciones totalmente nuevas o una renovación completa, técnicas verdes novedosas o tecnologías que proporcionan acabados que no cumplen los requisitos de calidad de otros fabricantes por lo que respecta a acabado, duración, resistencia química, etc. [128, TWG, 2005].

Además de las emisiones de COV, también deben considerarse las partículas de pintura (que posiblemente contengan metales pesados). Las emisiones de partículas a causa de la niebla de pulverización suelen estar por debajo de 5 mg/Nm<sup>3</sup>, lo que se garantiza con el uso de separadores en húmedo y en seco dentro de las cabinas de pulverización.

La eficiencia de eliminación de las emisiones de COV depende de las técnicas utilizadas, lo que incluye la eficiencia de aplicación, el contenido de COV en la pintura, la captura de vapor y el tratamiento de los gases residuales; véase el apartado 20.11.4. Tras el tratamiento térmico se logran habitualmente concentraciones de 10 mg C/m<sup>3</sup> en el gas limpio. Se consigue un rendimiento relativamente bueno para la primera mitad de las emisiones de COV, que a menudo se ve reducido para el resto. Las eficiencias de la oxidación térmica son del 90 % para los hornos de secado. Cuando se combina con adsorción con carbón, es del 80 % para la aplicación del imprimador, del 70 % para la capa base y del 75 % para la capa transparente [68, ACEA, 2004, 128, TWG, 2005]. Para el tratamiento de gases residuales en Alemania (incineración), se consiguen valores de emisión inferiores a 10 mg C/Nm<sup>3</sup> y, para NO<sub>x</sub> y CO, de unos 100 mg/m<sup>3</sup>, aunque la temperatura de incineración se redujo de 730 a 700 °C, con la consiguiente reducción en el consumo de energía.

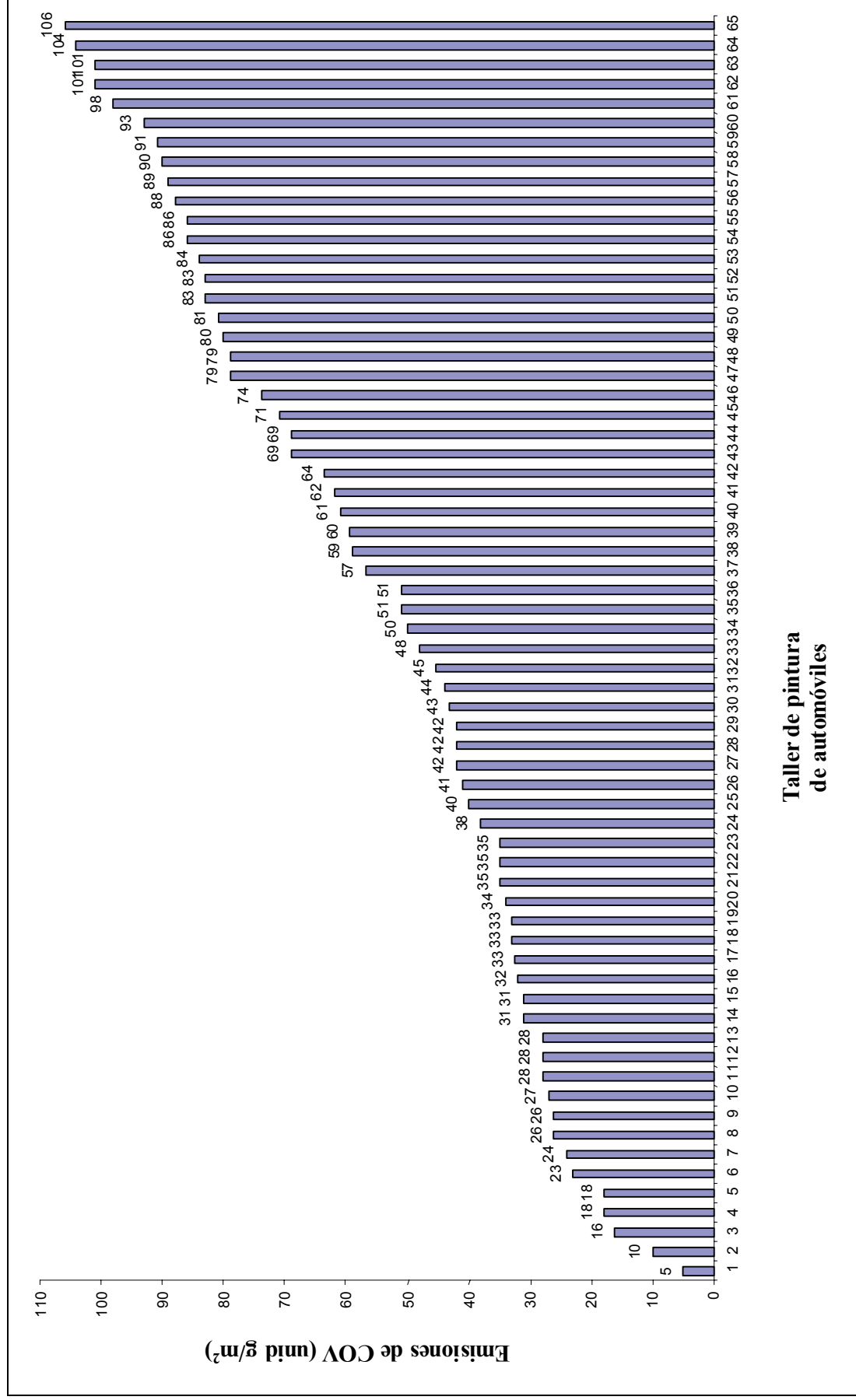


Figura 6.2: Intervalo de emisiones de COV en 65 talleres de pintura de Europa [68, ACEA, 2004]

### 6.3.3.2 Emisiones al agua

#### **Aguas residuales del pretratamiento e imprimación por inmersión**

Las aguas residuales se originan en el pretratamiento de las carrocerías con el desengrasado, el fosfatado y la pasivación, y también en el proceso de imprimación por electrorevestimiento. Las aguas residuales proceden básicamente del aclarado de las carrocerías entre los tratamientos, que elimina los materiales del proceso previo. Los componentes del pretratamiento (desengrasado), revestimientos de conversión y pasivación, así como las técnicas de gestión y ahorro del agua aplicables a todos los procesos, se describen con detalle en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006]. Entre ellas se encuentran el aclarado multietapa, técnicas para minimizar el uso de agua o recuperación de agua y materias primas, y son igualmente aplicables al electrorevestimiento.

El electrorevestimiento puede realizarse con aclarados múltiples (en cascada), con separación y recuperación del contenido en sólidos de la pintura y retorno del líquido (ultrafiltrado) para el aclarado. Aunque se suele tratar de técnicas de ciclo cerrado para los sólidos de la pintura, se puede perder algo de agua de aclarado (con trazas de pintura, disolventes al agua, etc.) y se necesita una limpieza periódica. Actualmente, la pintura por electroinmersión sin plomo se considera una buena práctica. Aún así, aparecen nuevos materiales de riesgo, como los compuestos organoestánicos, con algunos productos sin plomo, y pueden aparecer en el tratamiento de aguas residuales.

Las aguas residuales se tratan en una planta de tratamiento de aguas residuales y luego se vierten hacia una planta municipal de tratamiento de aguas residuales para su tratamiento adicional, descrito en detalle en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006], junto con los valores de emisión asociados a la MTD.

#### **Aguas residuales de los procesos de revestimiento**

En general, se generan otras aguas residuales en la limpieza en húmedo de la niebla de pulverización de pintura, en forma de:

- una mezcla de pintura, agua y residuos de coagulantes,
- una mezcla de pintura, agua y disolventes generada al limpiar las unidades nebulizadoras y los conductos de suministro de pintura,
- una mezcla de pintura y agua generada al limpiar las cabinas de pulverización.

Durante la aplicación de pintura en las cabinas de pulverización, se genera una niebla de pulverización que se captura en lavadores húmedos. Esta captura es necesaria para minimizar las emisiones de pintura como materia particulada. El agua de estos lavadores se recircula en un ciclo cerrado y el fango de pintura se separa y debe eliminarse periódicamente como tarea de mantenimiento. Los mismos métodos se usan tanto para la separación de pinturas de base disolvente como para la de pinturas al agua.

Los disolventes orgánicos contenidos en las pinturas de base disolvente son generalmente muy volátiles y presentan una baja solubilidad en agua. Las pinturas al agua tienen una proporción de disolventes sustancialmente menor que, sin embargo, es completamente soluble en agua. Si estos disolventes tienen una presión de vapor muy baja, se pueden acumular en el agua. Los disolventes para pinturas al agua se acumulan en el agua que circula en la cabina de pulverización sólo hasta el estado de equilibrio (las concentraciones habituales son de un 0,5 % aproximadamente). El agua de aclarado de la cabina de pulverización se mantiene en un ciclo cerrado y se renueva periódicamente, dos veces al año o con menor frecuencia. Además, se generan aguas residuales en la limpieza de los intercambiadores de calor del aire de salida de la cabina de pulverización y en los rotores, así como en la humidificación del aire suministrado a la cabina de pulverización [76, TWG, 2004].

### 6.3.3.3 Residuos

Los residuos sustanciales que se originan en el pretratamiento o en la imprimación por inmersión catódica y en la pintura de las carrocerías son:

- Residuos de disolventes: la fuente primaria de residuos de disolventes son los disolventes recuperados, los disolventes viejos y los restos de disolventes. Los agentes de limpieza usados y contaminados se generan, entre otras cosas, en la limpieza y ajuste de los sistemas de pintura de base disolvente, en la limpieza de las cabinas de pulverización, dispositivos y herramientas y, posiblemente, en la limpieza de los gases residuales de pintura y secado.
- Restos de pintura y pinturas viejas: debido a sus características físicas o químicas alteradas, los restos de pintura y pinturas viejas que ya no se pueden usar deben eliminarse como residuos. Los lotes fuera de especificaciones o excedentes y las pinturas secas son, igualmente, residuos. La separación puede realizarse entre restos de pintura sin curar con contenido de disolvente y lacas viejas o restos de pintura curados sin disolventes. También se incluyen las pinturas al agua y los revestimientos en polvo.
- Fangos de pinturas: durante la pintura por pulverización, la niebla de pulverización no separada se captura en agua y las partículas de laca coagulada se eliminan del agua. Se añaden coagulantes al agua para la separación y para la mejora de los procesos de limpieza; en consecuencia se generan fangos de pintura.
- Agentes de adsorción usados: si se usan métodos de limpieza de los gases residuales, como adsorción sobre carbón, se genera carbón con disolventes que debe eliminarse.
- Fangos de fosfatos que se originan en el pretratamiento.
- Residuos de PVC generados por la aplicación de la protección de bajos.
- Filtros y almohadillas de filtros.
- Trapos de celulosa y trapos de limpieza usados: se generan trapos de celulosa y de limpieza saturados con disolventes en las operaciones de limpieza de los dispositivos de aplicación. Están parcialmente contaminados con pintura.

## 6.4 Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de vehículos

En el capítulo 20 se comentan las técnicas que podrían ser también aplicables en la industria del automóvil para las categorías M1 y N1. En el apartado 20.7 se comentan las técnicas relevantes para la aplicación de pintura, que también son aplicables en el caso de vehículos. En la Tabla 6.4 se muestran las técnicas generales relevantes para vehículos que se describen en que capítulo 20 o en el apartado 20.7. En general, estas técnicas no se repiten en este apartado a no ser que se disponga de información específica para esta industria. En Tabla 20.1 se presenta el tipo de información que se considera para cada técnica.

La hoja resumen del EGTEI para el revestimiento de vehículos (véase el anexo 24.1.1) proporciona algunos datos acerca de los costes y beneficios en un ámbito europeo para algunas técnicas de reducción de emisiones de COV. Sin embargo, el enfoque del EGTEI es necesariamente limitado en su complejidad y sólo se consideran las técnicas clave, sin referencia a otros factores en las MTD, como los efectos cruzados o las características técnicas de las instalaciones y productos particulares [135, EGTEI, 2005].

<b>Técnica</b>	<b>Número de apartado</b>
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

**Tabla 6.4: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector**

### **6.4.1 Sistemas de revestimiento**

El proceso de pintura en la industria de fabricación de vehículos es una operación muy compleja y totalmente integrada formada por muchas etapas interdependientes. Como cada etapa influye sobre todas las otras, las decisiones que se toman acerca de una de ellas pueden influir en todo el proceso o en una parte del mismo. De la misma forma, algunas combinaciones de técnicas pueden ser mutuamente incompatibles. Además, un sistema de aplicación existente puede limitar la elección de revestimientos. En consecuencia, al considerar las técnicas para determinar MTD, no tiene sentido seleccionar cada etapa por separado.

Por ejemplo, en la Tabla 6.5 se presentan diversos ejemplos de combinaciones de técnicas. Estas configuraciones se dan a título informativo y no deben considerarse como las únicas opciones posibles:



Ejemplo	Imprimador	Capa base	Capa transparente
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D</li> <li>• A</li> <li>• Ninguno</li> <li>• Imprimador pulv.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A</li> <li>• En polvo</li> <li>• Polvo en suspensión</li> </ul>
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D</li> </ul>
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D</li> <li>• D con reducción del aire de la cabina</li> <li>• A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A</li> <li>• D</li> <li>• D con reducción del aire de la cabina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D</li> <li>• D con reducción del aire de la cabina</li> </ul>

Leyenda: D = de base disolvente, A = al agua

**Tabla 6.5: Ejemplos de combinaciones de revestimientos para automóviles [117, ACEA, 2005]**

### 6.4.2 Materiales convencionales de base disolvente

**Descripción:** Las pinturas convencionales de base disolvente presentan los siguientes contenidos de disolventes en peso: 35 – 45 % para los imprimadores, 40 – 50 % para las capas finales y 30 – 35 % para capas finales muy sólidas, 70 - 80 % para las capas base y 50 – 55 % para las capas transparentes. El disolvente (básicamente COV) está presente para mejorar la viscosidad y la formación de la película y para reducir la evaporación.

La aplicación implica un sistema cerrado de aporte a una pistola aplicadora. La aplicación puede ser manual o automática (o de ambos tipos) en una cabina pulverizadora específica con corriente de aire descendente y extracción de aire.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En comparación con los sistemas de pintura al agua, los requisitos directos de energía para cada vehículo son un 15 % menores (990 MJ/vehículo respecto a 1100 MJ/vehículo para revestimientos al agua) gracias a la mejor climatización y vaporización acelerada de los sistemas de base disolvente. Sin embargo, esto no incluye el consumo de energía para la reducción del aire de salida de la cabina de pulverización, que es de unos 200 a 400 MJ/vehículo. Véase el apartado 6.3.2.3 y la Tabla 6.3.

**Efectos cruzados:** Como referencia, todos los materiales disolventes sin controles de emisión, hace unos 20 a 30 años, daban lugar a 100 - 300 g/m<sup>2</sup>. Los sistemas modernos logran unas cifras de 43 - 72 g/m<sup>2</sup> para un sistema imprimador/capa base/capa transparente.

Habitualmente, los disolventes presentes en los gases residuales de los hornos se incineran, ya que representan alrededor de un 15 % de las emisiones de COV totales en una instalación que use sistemas de pintura convencionales. En los casos en que es posible, el calor generado se recupera y se usa, por ejemplo, en la calefacción de los secadores. Sin embargo, para lograr unos niveles bajos, los tratamientos térmicos necesitan combustible adicional; véase el apartado 20.11.4.

**Información operativa:** Los tiempos de curado son menores que para los sistemas al agua y, por tanto, se pueden conseguir mayores velocidades en las líneas de producción en áreas más reducidas, debido a los menores tiempos de residencia en los hornos. Los sistemas de base disolvente también pueden operar en mayor intervalo de temperatura y de humedad. No se necesitan equipos de acero inoxidable.

Las modificaciones en las operaciones con disolventes para conseguir menores emisiones de COV se pueden lograr con un menor tiempo de inactividad (en lugar de la renovación necesaria con un cambio de material).

Esta técnica no cumple con los requisitos de emisión más bajos necesarios en algunas zonas de Europa, ni tan sólo consigue un rendimiento mediano, como indica la Figura 6.2.

**Aplicabilidad:** Las pinturas de base disolvente se pueden usar en todas las fases de la operación de pintura (imprimador, capa final sólida, capa base, capa transparente y reparación), así como sobre metales y sobre plásticos. Se pueden aplicar en talleres de pintura nuevos y existentes, en los que el espacio es limitado y en los que cambios en los materiales de pintura no serían técnicamente posibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Las restricciones económicas y técnicas en los talleres de pintura existentes hacen de la tecnología convencional con disolventes una opción prioritaria en determinadas instalaciones.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 6.4.3 Sustitución de materiales de base disolvente

#### 6.4.3.1 Sistemas de pintura al agua

**Descripción:** Véase el apartado 20.7.2.3 para una descripción general de los sistemas de pintura al agua. En el electrorrevestimiento, la aplicación de pinturas dispersables o solubles en agua emplea materiales con un contenido de disolventes del 1 – 6 % y, normalmente, del 1 – 2 % en peso.

Los materiales para el electrorrevestimiento se suministran en un sistema cerrado y se aplican mediante técnicas de inmersión. Para la aplicación del imprimador y de la capa base, las pinturas al agua contienen agentes peliculígenos dispersables o solubles en agua (alquílicos, poliéster, acrilatos, melamina y resinas epóxicas). Los materiales del imprimador y de la capa base se suministran en un sistema cerrado y se aplican con técnicas de pulverización. Los sistemas convencionales al agua contienen las siguientes concentraciones de disolventes en peso: 5 - 10 % para el imprimador y 10 - 15 % para la capa base.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los factores de emisión de COV habituales para las fases al agua del taller de pintura son 1 – 2 g/m<sup>2</sup> para el imprimador, 6 – 8 g/m<sup>2</sup> para la capa base (7 – 9 % para productos con un tiempo de vaporización reducido; véase el apartado 20.7.2.4 y bicomponentes) sin controles de emisión.

**Efectos cruzados:** Los requisitos directos de energía por vehículo son aproximadamente un 13 - 17 % superiores al caso de operación con disolventes, en parte a causa del requerimiento de secar cada capa entre las aplicaciones de revestimientos (vaporización intercapa).

Se pierde la generación de energía a partir de la incineración de algunos disolventes.

Se informa que el consumo de material para los materiales al agua es comparable al de las pinturas de base disolvente, entre un 0 y un 11 % superior para el imprimador y entre un 0 y un 25 % superior para la capa base.

El consumo de agua también es mayor y la separación de fangos en el tratamiento de las aguas residuales resulta más difícil.

**Información operativa:** Los requisitos energéticos son, normalmente, de 1100 MJ por vehículo. Para consultar datos sobre procesos específicos remítase al apartado 6.3.2.3 y a la Tabla 6.3. Influye sobre las operaciones: volumen de producción, condiciones climáticas locales, técnicas de reducción usadas, requisitos de volumen de aire, longitud de las cabinas, criterios de funcionamiento de las cabinas, como la temperatura y las técnicas de aplicación de pintura.

**Aplicabilidad:** Los materiales al agua se pueden usar como electrorrevestimiento, imprimador, capa base y en algunas operaciones de reparación. Pueden utilizarse sobre metal y sobre plásticos. Sin embargo, no se pueden emplear con colores sólidos monocapa y termoendurecidos, ya que necesitarían sellarse con una capa transparente. Se han desarrollado materiales al agua para aplicaciones de capas transparentes, pero no se han usado extensivamente en automóviles a causa de su pobre aspecto y calidad. No obstante, hay que remarcar que las limitaciones en el aspecto y la calidad de las capas finales es independiente del hecho de ser al agua o de base disolvente, sino que depende de la tecnología de resina (alquímica o acrílica) y de la estabilidad del pigmento bajo luz ultravioleta (por ejemplo, las capas finales alquímicas de base disolvente presentan un aspecto deficiente).

Las capas finales de color al agua se han usado comercialmente durante años en vehículos comerciales y cabinas de camiones. En un caso, un turismo ligero se pinta con una capa monocapa al agua sin una capa transparente adicional.

Existen dificultades para adaptar sistemas al agua en talleres de pintura convencionales de base disolvente, debido a restricciones económicas y físicas. La necesidad de hornos mayores con zonas de evaporación instantánea entre capas para cumplir con los requisitos de curado adicionales provoca que los talleres de pintura diseñados e instalados para sistemas de base disolvente no dispongan del espacio necesario para ubicar un sistema al agua. Otro requisito es que las conducciones y sistemas de suministro sean de acero inoxidable. Los costes adicionales asociados con los requisitos operativos, los materiales y la instalación de equipos implica que los sistemas al agua a menudo queden relegados a talleres de pintura nuevos, o a los que ya disponen de los sistemas necesarios. Las cabinas para sistemas al agua deben funcionar con controles de temperatura y humedad más estrictos. Como los tiempos de curado para sistemas al agua son más largos, la velocidad de la línea suele ser menor que en el caso de otros sistemas.

**Aspectos económicos:** Los costes de material para pinturas al agua son un 0 - 20 % superiores que los de pinturas de base disolvente, en función de la economía de escala. En una de las plantas de referencia (véase más adelante), no se observa diferencia alguna en los costes. Los costes asociados de energía son superiores que en el caso de materiales de base disolvente, a causa de los tiempos de secado más prolongados. La tecnología al agua no puede instalarse en talleres de pintura convencionales sin una inversión significativa asociada a los equipos y a la construcción. Por ejemplo, en grandes talleres (con más de 100 000 unidades al año) los costes habituales para una nueva instalación de una cabina pulverizadora estarían entre los 15 millones y los 35 millones de EUR; los costes para cabinas de pulverización al agua podrían ser un 10 - 20 % superiores. Estas cifras no incluyen los costes de construcción, que pueden ser considerables en función de las condiciones locales. Todo ello, combinado con las restricciones técnicas, hace que la tecnología al agua sólo se instale, en general, durante actualizaciones importantes o en talleres de pintura nuevos. Desde 1994, la mayoría de nuevos talleres en los países de la UE se han diseñado para capas base al agua. Se dispone de productos actualizados en forma de capas base con tiempos de vaporización reducidos (véase el apartado 20.7.2.4).

Los costes globales, cuando se consideran los menores costes de reducción, suelen ser menores para revestimientos al agua.

**Motivo principal para su aplicación:** Reducción de las emisiones de COV a la atmósfera.

**Ejemplos de instalaciones:** Volkswagen, Wolfsburg, Alemania; Renault, Flins-sur-Seine, Francia; GM, Eisenach, Alemania; Opel, Eisenach, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [68, ACEA, 2004] [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

### 6.4.3.2 Revestimientos en polvo

**Descripción:** Los revestimientos en polvo son sistemas sin disolventes que requieren procedimientos de aplicación electrostáticos y, por tanto, son especialmente adecuados para carrocerías metálicas. Los revestimientos en polvo suelen estar basados en resinas acrílicas con un ácido o un anhídrido. Se pueden usar en aplicaciones del imprimador o de la capa transparente. Su aplicación se realiza en cabinas de pulverización específicas con corriente de aire descendiente y extracción de aire y puede ser automática o manual. Véase también el apartado 20.7.2.6.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La tecnología de revestimientos en polvo presenta una emisión nula de COV y no necesita agua para la reducción de materia particulada. El uso de polvo recuperado permite una reutilización del material de hasta un 97 %. Los requisitos de energía son menores que en el caso de materiales al agua y comparables al de materiales de base disolvente. El secado mediante una combinación de técnicas de secado por infrarrojos y por circulación de aire reduce el consumo de energía.

**Efectos cruzados:** Se evita el consumo de energía debido a la incineración de disolventes.

**Información operativa:** La técnica de pintura en polvo permite una reducción del reprocesamiento del aire de la cabina, en comparación con las instalaciones convencionales. Se han observado problemas con una coloración amarillenta de la capa transparente en el producto final. El problema principal es que el control del grosor de la película resulta difícil: se crea una capa más gruesa de lo que es necesario (aprox. 65  $\mu\text{m}$ ), lo que provoca un mayor consumo de pintura; sin embargo, cada vez más se pueden conseguir capas más finas (aprox. 55  $\mu\text{m}$ ).

**Aplicabilidad:** La tecnología de revestimientos en polvo es actualmente aplicable para la aplicación de imprimador y de la capa transparente. Actualmente se dispone de imprimadores en polvo y se usan en una planta europea (con hasta cinco o seis imprimadores de color). En Europa, un fabricante de vehículos usa la capa transparente en polvo.

**Aspectos económicos:** Al cambiar de la tecnología con disolventes existente a una tecnología en polvo, se incurre en elevados costes de capital, ya que se trata de una tecnología completamente diferente y requiere una adaptación completa de las instalaciones, los equipos y los materiales. Aún así, se puede observar una reducción en los costes de funcionamiento; las estimaciones actuales prevén una reducción de, por lo menos, un 12 % en costes de energía respecto a tecnologías con materiales al agua o materiales de base disolvente, incluyendo los costes de reducción.

**Motivo principal para su aplicación:** Reducción de las emisiones de COV.

**Ejemplos de instalaciones:** BMW AG en Dingolfing, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [68, ACEA, 2004] [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005].

### 6.4.3.3 Revestimientos de polvo en suspensión

**Descripción:** Los polvos en suspensión son polvos dispersados y estabilizados en agua, que se aplican con equipos convencionales para pintura líquida. Se pueden usar en aplicaciones de capas transparentes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción significativa de las emisiones de COV. Se consiguen importantes ahorros de energía al sustituir la capa transparente bicomponente convencional por la capa transparente de polvo en suspensión con aplicación de húmedo sobre húmedo, con la cual puede saltarse la etapa de secado intermedio.

**Efectos cruzados:** Se evita el consumo de energía debido a la incineración de disolventes.

**Información operativa:** Para cumplir los criterios de calidad, la cabina de pulverización debe operar con controles estrictos de temperatura (20 - 24 °C) y humedad (65 - 75 %). Se puede conseguir una película más fina (45 µm) que con el revestimiento en polvo seco.

La capa transparente de polvo en suspensión, que se ha utilizado en DaimlerChrysler AG desde 1997, casi no contiene disolventes y se aplica mediante una técnica de húmedo sobre húmedo.

**Aplicabilidad:** El polvo en suspensión no se utiliza en procesos industriales generales para revestimiento de vehículos, aunque dos importantes proveedores ofrecen sistemas de polvo en suspensión. El polvo en suspensión requiere la aplicación de una capa de color adaptada para garantizar la compatibilidad en húmedo sobre húmedo. Antes de que el polvo en suspensión pueda termoendurecerse, debe evaporarse el agua de la película y, por tanto, se necesita una evaporación forzada. Esta técnica se usa en dos plantas europeas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Menores emisiones de COV.

**Ejemplos de instalaciones:** DaimlerChrysler AG (Austria) y Rastatt (Alemania).

**Bibliografía de referencia:** [68, ACEA, 2004] [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004].

### 6.4.4 Técnicas y equipos para la aplicación de pintura

Las siguientes técnicas y equipos de aplicación de pintura se usan comercialmente:

- aplicación de pintura por inmersión, véase el apartado 20.7.3.4 y, para más detalles, el apartado 6.4.4.1;
- pulverización convencional a alta y baja presión, véase el apartado 20.7.3.8;
- pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP), véase el apartado 20.7.3.9;
- procesos de pulverización y atomización electrostáticos, véase el apartado 20.7.3.14;
- conos de alta velocidad de rotación electrostáticos, véase el apartado 20.7.3.15;
- pulverización asistida por aire, sin aire y de aire comprimido electrostática, véase el apartado 20.7.3.17;
- revestimientos en polvo – pulverización electrostática, véase el apartado 20.7.3.18.

#### 6.4.4.1 Aplicación de pintura por inmersión

**Descripción:** Las carrocerías pretratadas se cargan eléctricamente mientras pasan a través de un baño de revestimiento por electroinmersión. Los revestimientos suelen ser al agua y se diluyen con agua desionizada. El contenido de disolvente se halla habitualmente en el intervalo 2 - 6 % en peso y, más frecuentemente, es de 1 - 2 % en peso.

El proceso de electrorrevestimiento por inmersión cubre todas las superficies interiores y exteriores del vehículo. El área calculada de electrorrevestimiento se halla normalmente entre 60 y 100 m<sup>2</sup> por vehículo, según el tamaño y el diseño (véase el anexo 24.5). Véase también el apartado 20.7.3.4.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Gracias al bajo contenido en disolventes de este material y al hecho de que el material no se atomiza, como sucede con las operaciones por pulverización, las emisiones de COV son muy bajas. Las emisiones habituales son < 0,2 kg COV/vehículo, lo que equivale a 2 - 4 g COV/m<sup>2</sup>, según el área electrorrecubierta del vehículo a pintar. Con la reducción de gases residuales del horno se pueden lograr emisiones > 1 g COV/m<sup>2</sup>.

Además de un bajo consumo de pintura, se genera una cantidad pequeña de residuos. El revestimiento por inmersión presenta una eficiencia de aplicación muy alta y, a causa del bajo uso de material, genera muy pocos residuos.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** La aplicación se realiza en instalaciones específicas con extracción de aire. Las carrocerías imprimadas deben pasar a través de un horno antes de aplicar revestimientos posteriores.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se puede usar para carrocerías completas y componentes metálicos, incluyendo paneles de difícil acceso. Actualmente, la técnica de inmersión se usa ampliamente, pero sólo para aplicación del imprimador (aplicación cataforética). La calidad óptica del acabado de la laca es muy importante en la fabricación de vehículo y, por tanto, sólo se usan técnicas de pulverización para la aplicación de rellenos y capas finales.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad y protección frente a la corrosión.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [68, ACEA, 2004] [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 6.4.5 Cabinas de pulverización

Se usan habitualmente las técnicas siguientes:

- cabinas de pulverización de separación en húmedo, véase el apartado 20.7.4.1;
- técnicas de emulsión al agua en cabinas de pulverización, véase el apartado 20.7.4.3.

#### 6.4.6 Minimización del consumo de materias primas

Se usan habitualmente las técnicas siguientes:

- pintura por lotes / agrupamiento de colores, véase el apartado 20.6.3.6;
- sistemas de rascado, véase el apartado 20.6.3.7.

##### 6.4.6.1 Recuperación de disolventes usados

**Descripción:** Véase el apartado 20.13.1. Los modernos equipos de suministro de pintura incluyen la recuperación de los disolventes de purga, y son los que se usan habitualmente. La recuperación se realiza haciendo pasar agentes limpiadores por todas las conducciones desde el equipo de aplicación hasta los tanques de almacenamiento.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Normalmente se puede recuperar un 80 - 90 % de disolventes de purga y limpieza para su reutilización, en la instalación o fuera de la misma.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** La instalación de un sistema estándar de recuperación de disolvente cuesta 0,4 millones de EUR por cabina de pulverización.

Se puede conseguir un ahorro gracias al menor consumo de disolventes y a la menor cantidad de residuos peligrosos. En instalaciones grandes, los ahorros pueden compensar aproximadamente la inversión.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Ford, Europa.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [13, DFIU e IFARE, 2002] [62, CITEPA, 2003] [68, ACEA, 2004, 76, TWG, 2004]

### 6.4.7 Técnicas de secado

Se usan habitualmente las técnicas siguientes:

- secado por aire circulante con o sin aire deshumidificado, véase el apartado 20.8.1.1;
- curado por infrarrojos, véase el apartado 20.8.2.1.

### 6.4.8 Tratamiento de gases residuales

Se usan habitualmente las técnicas siguientes:

- Venturi, véase el apartado 20.11.3.5;
- lavadores, véase el apartado 20.11.3.6;
- sistemas de filtrado en seco, véase el apartado 20.11.3.8;
- electrofiltros, véase el apartado 20.11.3.7;
- concentración interna de disolvente como procedimiento previo para el tratamiento de gases residuales, véase el apartado 20.11.3.1;
- concentración externa de disolvente como procedimiento previo para el tratamiento de gases residuales, véase el apartado 20.11.3.2;
- sistema de tratamiento de gases especializado integrado en el secador, véase el apartado 20.11.1.6;
- adsorción: adsorción en lecho fijo, adsorción en lecho fluidificado y adsorción rotatoria (en rueda), véase el apartado 20.11.6;
- oxidación: oxidación recuperativa, catalítica y regenerativa, véase el apartado 20.11.4.

### 6.4.9 Tratamiento de aguas residuales

Se usan habitualmente las técnicas siguientes:

- aclarado en cascada, véase el apartado 20.7.5.1;
- uso de un intercambiador iónico, véase el apartado 20.7.5.2;
- ultra y nanofiltración, véase el apartado 20.12.6.



## **7 REVESTIMIENTO DE CAMIONETAS, CAMIONES Y CABINAS DE CAMIONES**

[13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005] [118, ACEA, 2005] [181, ACEA, 2003]

Los procesos de pintura para el revestimiento de camionetas, camiones y cabinas de camiones muestran desviaciones significativas respecto a la pintura en serie de vehículos, debido al uso de diferentes materiales de revestimiento, procesos, técnicas de aplicación y estructura de las capas. Aunque las cualidades ópticas superficiales son tan importantes como para los vehículos, la protección frente a la corrosión es más importante que en otros sectores.

Este capítulo trata las medidas integradas de protección ambiental que se usan en la pintura de cabinas y carrocerías de camiones de las categorías N2 y N3 (según la Directiva 70/156/CEE). Las cabinas de conducción o cabinas de camiones se definen como cabinas e incluyen carcasas integradas para equipos técnicos.

### **7.1 Información general sobre el revestimiento de camionetas, camiones y cabinas de camiones**

Véase el apartado 6.1 para los detalles generales de tamaño, volumen de negocio, etc. de la industria de fabricación de automóviles. En la UE en 2005, se fabricaron 1 640 769 vehículos comerciales ligeros y 549 468 camiones pesados, lo que generó unos ingresos de casi 70 000 millones de EUR y el sector empleaba directamente 250 000 trabajadores. Hay unas 109 instalaciones que fabrican vehículos comerciales en toda Europa (incluyendo Rusia) [152, ACEA, 2006].

### **7.2 Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de camionetas, camiones y cabinas de camiones**

#### **7.2.1 Cabinas de conducción y vehículos comerciales ligeros**

[185, May, et al., 2006]

De forma similar al revestimiento en serie de turismos, los sistemas de revestimiento pueden variar entre instalaciones. Los fabricantes de vehículos comerciales usan sistemas de revestimiento en serie (con temperaturas de secado de unos 140 °C) o pinturas bicomponente para reparaciones (con temperaturas de secado de 80 °C); a menudo también se usa una combinación de ambos sistemas.

El pretratamiento de las cabinas incluye la limpieza, el desengrasado con aclarado posterior y la fosfatación al cinc con aclarado seguida de pasivación y aclarado con agua desmineralizada. Se aplica un electrorrevestimiento sin plomo por inmersión. Tras dos ciclos de aclarado en ultrafiltrado y con agua desmineralizada, las cabinas se secan en un secador equipado con una unidad de postcombustión. A continuación se realiza la aplicación de la protección de bajos, materiales antirruído y sellado de juntas. La carrocería se prepara para las aplicaciones de pintura con un relleno opcional y una limpieza relativa.

Posteriormente se aplica un relleno en las superficies internas y externas de la cabina y se seca en un secador. El grosor de la capa varía de 25 a 30 µm. Luego se aplica pintura en las superficies internas y externas mediante pulverización manual y automática (neumática y electrostática). El grosor de la capa varía de 25 a 35 µm. Las cabinas de pintura están equipadas con un separador húmedo para reducción de la niebla de pulverización; las cabinas de reparación puede equiparse con un separador seco. A continuación se realiza el secado en un horno.

El grosor de la capa base es de 10 - 20  $\mu\text{m}$ , la de las capas transparentes posteriores es de unos  $40 \pm 5 \mu\text{m}$ ; se aplican capas finales monocapa con grosores de 30 - 40  $\mu\text{m}$ .

La producción actual de cabinas de camiones consta de más de un 90 % de acabado con capa de alto contenido en sólidos y el resto con acabado metálico; para camionetas la producción es más del 85 % con acabado liso y el resto con acabado metálico. Las capas finales únicas y al agua han ganado aceptación y se usan en DaimlerChrysler Düsseldorf, Alemania, y Ludwigsfelde, Alemania, MAN Steyr, Austria y Munich, Alemania, Volvo Umea, Suecia, Fiat Sevel, Italia (1K *high-bake*, alta temperatura de cocido, o 2K *low-bake*, baja temperatura de cocido); es probable que sigan ganando aceptación.

Los sistemas convencionales o aplicados habitualmente para el revestimiento de cabinas son: [8, IFARE y CITEPA, 2002]

- electrorrevestimiento: al agua (8 % en peso de disolvente),
- imprimador: de base disolvente (50 % en peso de disolvente),
- capa final: capa de alto contenido en sólidos de base disolvente (45 % en peso de disolvente); capa base de base disolvente (75 % en peso de disolvente) y capa transparente de base disolvente (45 % en peso de disolvente).

Algunos sistemas alternativos son:

- electrorrevestimiento: al agua (8 % en peso de disolvente),
- imprimador: al agua (15 % en peso de disolvente),
- capa final: capa lisa de alto contenido en sólidos de base disolvente (40 % en peso de disolvente); capa base muy sólida de base disolvente (65 % en peso de disolvente) y capa transparente muy sólida de base disolvente (40 % en peso de disolvente), aplicación electrostática;

y:

- electrorrevestimiento: al agua (8 % en peso de disolvente),
- imprimador: al agua (15 % en peso de disolvente),
- capa final: capa de alto contenido en sólidos al agua (15 % en peso de disolvente) y capa lisa de alto contenido en sólidos de base disolvente (40 % en peso de disolvente, para colores especiales); capa base al agua (15 % en peso de disolventes) y capa transparente muy sólida de base disolvente (40 % en peso de disolvente) ) [152, ACEA, 2006].

### 7.2.2 Revestimiento de carrocerías de camiones

[185, May, et al., 2006]

Las carrocerías se montan a partir de perfiles y piezas (como ejes y tanques de aire) que ya están electrorrevestidos o pintados con un imprimador convencional. Se usa un material al agua con un contenido de disolventes del 5 - 10 % para pinturas en revestimientos por inmersión (electrorrevestimiento). Los imprimadores convencionales se pueden usar con revestimientos en polvo, al agua (10 - 15% de disolventes) y de base disolvente (45 - 55 % de disolventes).

Tras el premontaje de la carrocería, se comprueba la calidad de la superficie y se reparan localmente las imperfecciones con una capa de imprimación. Algunas zonas se enmascaran. Localmente, se lleva a cabo manualmente una cierta limpieza con disolventes o con agua para eliminar la suciedad, grasa y otras materias extrañas. Posteriormente, se aplica una capa final monocapa, de forma que la carrocería se transporta automáticamente a través de la instalación mediante un sistema transportador. Las carrocerías se pintan manualmente a causa de sus diversas medidas y estructuras. En primer lugar, se aplica pintura en los bajos y luego en la parte superior. Para high runners, se usan capas finales (bicomponente) al agua en el 95 % de las

carrocerías. Para obtener colores especiales se usan pinturas acrílicas de base disolvente bicomponente. Los grosores aplicados varían de 40 a más de 60  $\mu\text{m}$ .

El material se aplica con pistolas pulverizadoras HVLP, convencionales, de mezcla de aire o sin aire. La niebla de pulverización se capta con un recolector de polvo húmedo con descarga automatizada del fango de pintura. Para el secado, las carrocerías revestidas se transportan a una zona de evaporación instantánea con una temperatura máxima de 40 °C y baja velocidad de aire. Posteriormente, la pintura se seca en un secador de aire forzado a una temperatura de 85 - 90 °C. Tras el secado, las carrocerías se enfrían hasta la temperatura ambiente y se retira la máscara.

Los sistemas convencionales o aplicados habitualmente para el revestimiento de carrocerías de camiones son:

[152, ACEA, 2006]

- electrorrevestimiento: al agua (5 - 10 % en peso de disolventes),
- imprimador: de base disolvente (45 - 55 % en peso de disolventes), aplicación electrostática,
- capa final: capa de alto contenido en sólidos (45 - 55 % en peso de disolventes), aplicación electrostática.

Algunos sistemas alternativos son:

- electrorrevestimiento: al agua (5 - 10 % en peso de disolventes),
- imprimador de reparación: de base disolvente (45 - 55 % en peso de disolventes),
- capa final: capa de alto contenido en sólidos (45 - 55 % en peso de disolventes);

y:

- electrorrevestimiento: al agua (5 - 10 % en peso de disolventes),
- imprimador de reparación: al agua (8 - 13 % en peso de disolventes),
- capa final: capa de alto contenido en sólidos (45 - 55 % en peso de disolventes);

y:

- electrorrevestimiento: al agua (5 - 10 % en peso de disolventes),
- imprimador: al agua (8 - 13 % en peso de disolventes),
- capa final: capa de alto contenido en sólidos al agua (8 - 13 % en peso de disolventes), aplicación convencional, HVLP, mezcla de aire o sin aire.

### 7.2.3 Pintura de ejes

Véase el capítulo 13. Los ejes de camiones y vehículos comerciales suelen revestirse con pinturas al agua. La mayor parte de los disolventes aplicados se emiten, ya que no se aplican medidas de reducción de las emisiones o solamente el secador está conectado a una unidad de postcombustión.

## 7.3 Valores actuales de consumo y emisión en el revestimiento de camionetas, camiones y cabinas de camiones

### 7.3.1 Balance de masa

No hay datos disponibles.

### 7.3.2 Consumo

#### 7.3.2.1 Materiales

En la Tabla 7.1 se presenta una descripción general de los valores específicos de consumo de pintura en la pintura de cabinas de conducción nuevas. El consumo depende de los diferentes sistemas de pintura, sistemas de aplicación, etc. Debe recordarse que esta tabla se presenta sólo a título informativo y que no debe considerarse una lista de selección para elegir un sistema de pintura sólo sobre la base de la eficiencia de consumo. El proceso de pintura en cada instalación es muy complejo y totalmente integrado, con muchas etapas integradas, de forma que cada una influye sobre las otras y son válidas cifras diferentes en función de las técnicas de aplicación. En consecuencia, las decisiones sobre las mejores opciones no deben tomarse a partir de la selección de cada etapa individual.

Material de pintura	Consumo específico de material (g pintura/m <sup>2</sup> )	
	Cabinas	Camionetas
Electrorrevestimiento: al agua (5 % en peso de disolvente)	128	128
Imprimador: de base disolvente (50 % en peso de disolvente)	20	24
Imprimador: al agua (15 % en peso de disolvente)	20	24
Capa final: capa de alto contenido en sólidos de base disolvente (45 % en peso de disolvente)	134	160
Capa final: capa lisa de alto contenido en sólidos de base disolvente (40 % en peso de disolvente)	117	140
Capa final: capa de alto contenido en sólidos al agua (15 % en peso de disolvente)	134	160
Capa final: capa de alto contenido en sólidos de base disolvente (75 % en peso de disolvente)	122	146
Capa final: capa lisa de alto contenido en sólidos de base disolvente (65 % en peso de disolvente)	116	139
Capa final: capa base al agua (15 % en peso de disolvente)	122	146
Capa final: capa transparente de base disolvente (45 % en peso de disolvente)	72	86
Capa final: capa transparente de alto contenido en sólidos de base disolvente (40 % en peso de disolvente)	63	76

**Tabla 7.1: Valores de consumo específico de pintura en el revestimiento de cabinas de conducción nuevas**  
[185, May, et al., 2006]

#### 7.3.2.2 Agua

Igual que en el revestimiento de coches, el principal uso de agua en la pintura de cabinas de camiones y camionetas se produce en:

- pretratamiento (desengrasado),
- revestimiento de conversión (fosfatado y pasivación),
- electrorrevestimiento.

El uso principal del agua es en las etapas de aclarado; se pierde menos agua por evaporación y se usa para hacer nuevas disoluciones. Las técnicas de gestión y ahorro de agua se describen en detalle en el capítulo 20. Entre ellas se encuentran el aclarado multietapa, técnicas para minimizar el uso de agua o recuperación de agua y materias primas. El consumo de agua en la pintura de cabinas de camiones o camionetas se halla entre 35 y 80 l/m<sup>2</sup> [185, May, et al., 2006].

### 7.3.2.3 Energía

La Tabla 7.2 muestra datos generales del consumo de gas en la pintura de camionetas, carrocerías de camiones y cabinas de conducción.

	<b>Pintura de cabinas y camionetas</b>	<b>Pintura de carrocerías</b>
<b>Consumo de gas</b>	0,7 - 1 Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> de área superficial pintada	0,7 - 1 Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> de área superficial pintada

**Tabla 7.2: Datos generales del consumo de gas para carrocerías, cabinas de conducción y camionetas**  
[185, May, et al., 2006]

## 7.3.3 Emisiones

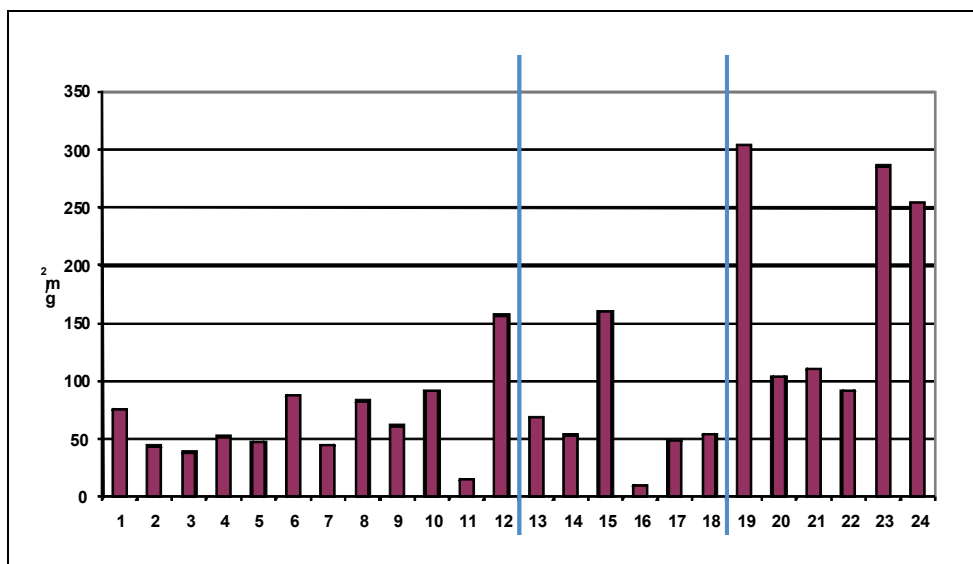
### 7.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

Las emisiones de COV procedentes de la pintura de camionetas, camiones y cabinas de camiones representa el 9,4 % [118, ACEA, 2005] del total de la industria del automóvil y son superiores por metro cuadrado que las procedentes de procesos de revestimiento en la producción de turismos por las razones siguientes:

- Menores volúmenes de producción que en el caso de turismos (habitualmente de 150 000 a 300 000 unidades), de forma que las inversiones para reducir las emisiones de COV son superiores en términos relativos, lo que representa un gran coste por tonelada de COV evitada en comparación con el sector de los turismos (M1).
- Menor automatización a causa de los costes de inversión relativamente altos frente a los volúmenes anuales, la mayor superficie a cubrir y el mayor alcance necesario para acceder a toda el área pintada. Todo ello, junto con unas geometrías complicadas y mayores tamaños, da lugar a una menor eficiencia de transmisión que en el caso de M1 y a unas emisiones más elevadas.
- El mayor tamaño de los vehículos requiere cabinas de pulverización y hornos mayores y, por tanto, mayores volúmenes a tratar por las técnicas de reducción. Esto hace que la reducción sea menos factible económicamente.
- No se suele disponer de las técnicas disponibles para turismos, o vehículos a pintar y de los menores volúmenes de producción.
- El rango de colores es mucho mayor (300 – 800 colores diferentes, requisitos para flotas de empresa):
  - no se dispone de sistemas al agua para vehículos con colores múltiples ni para el número de colores diferentes necesario, o bien no cumplen con las especificaciones del cliente;
  - más aclarados a causa del mayor número de colores;
  - se necesita más purgado porque no se puede usar la pintura por lotes;
  - pequeños lotes de pintura, de uso poco frecuente, de forma que deben eliminarse los restos;
  - algunos colores requieren un mayor revestimiento por cuestiones de convertibilidad y, por tanto, deben usarse imprimadores multicolor o pintura doble;
  - los vehículos multicolor implican más capas y, por tanto, más emisiones.
- Las superficies mayores tienden a presentar más daños y defectos, con lo que se deben realizar más reparaciones.
- El aumento de la demanda de pinturas metalizadas aumenta las emisiones de COV (las pinturas metalizadas son de base disolvente).

- Mayores restricciones en las tecnologías a causa de los diferentes tipos de materiales o añadidos a pintar en una misma línea.
- Más pintura interior (menos superficie cubierta con paneles en comparación con los turismos).

La Figura 7.1 muestra algunos valores de emisión de COV en las plantas europeas de montaje de camionetas, camiones y cabinas de camiones. Las superficies y las emisiones se miden según lo establecido en el anexo 24.5.



**Figura 7.1: Emisiones de COV en diversas plantas europeas de montaje de camionetas, camiones y cabinas de camiones**  
[118, ACEA, 2005]

Las emisiones procedentes de la limpieza se pueden realizar a menos de 20 g/m<sup>2</sup> si se usan buenas prácticas de mantenimiento, limpieza y técnicas de sustitución, como las comentadas en los apartados 20.2.2, 20.9 y 20.10.  
[122, Dupont and May, 2005].

### 7.3.3.2 Emisiones al agua

En el apartado 6.3.3.2 se presenta información sobre las emisiones de los procesos al agua, como los pretratamientos, el electrorevestimiento, sistemas de depurado en húmedo para las cabinas de pulverización, etc. No se presentó información específica acerca de camionetas, camiones y cabinas de camiones.

### 7.3.3.3 Residuos

En el pretratamiento, revestimiento por inmersión electroforética y pintura de carrocerías y cabinas de conducción se generan los residuos siguientes:

- contenedores de pintura,
- fangos de pintura decantados,
- disolventes orgánicos contaminados,
- residuos de pintura,
- papel de enmascarado (sólo en la pintura de carrocerías),
- agua con material de pintura.

## **7.4 Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de camionetas, camiones y cabinas de camiones**

En el capítulo 20 se comentan las técnicas que podrían ser también aplicables para el revestimiento de camiones y vehículos comerciales. En el apartado 20.7 se comentan las técnicas relevantes para la aplicación de pintura, que también son aplicables en el caso del revestimiento de camiones y vehículos comerciales. En la Tabla 7.3 se muestran las técnicas generales relevantes para camiones y vehículos comerciales que se describen en que capítulo 20 o el apartado 20.7. En general, estas técnicas no se repiten en este apartado a no ser que se disponga de información específica para esta industria. En Tabla 20.1 se presenta el tipo de información que se considera para cada técnica.

Las hojas resumen del EGTEI para el revestimiento de camionetas, camiones y cabinas de camiones (véase el anexo 24.1.1) proporcionan algunos datos acerca de los costes y beneficios en un ámbito europeo para algunas técnicas de reducción de emisiones de COV. Sin embargo, el enfoque del EGTEI es necesariamente limitado en su complejidad y sólo se consideran las técnicas clave, sin referencia a otros factores en las MTD, como los efectos cruzados o las características técnicas de las instalaciones y productos particulares. [136, EGTEI, 2005] [137, EGTEI, 2005].

El proceso de pintura en la industria de fabricación de vehículos es una operación muy compleja y totalmente integrada, formada por muchas etapas interdependientes. Como cada etapa influye sobre todas las otras, las decisiones que se toman acerca de una de ellas pueden influir en todo el proceso o en una parte del mismo. De la misma forma, algunas combinaciones de técnicas pueden ser mutuamente incompatibles. Además, un sistema de aplicación existente puede limitar la elección de revestimientos. En consecuencia, al considerar las técnicas para determinar MTD, no tiene sentido seleccionar cada etapa por separado.



Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 7.3: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector

### 7.4.1 Materiales convencionales de base disolvente

**Descripción:** Para una descripción general remítase al apartado 20.7.2.1. Los sistemas de pintura de base disolvente se aplican en cabinas de conducción como:

- relleno: 50 % en peso de disolvente,
- capa final monocapa: 45 % en peso de disolvente,
- capa base: 75 % en peso de disolvente,
- capa transparente: 45 % en peso de disolvente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Este tipo de sistema de revestimiento presenta un intervalo aproximado de emisiones de COV a reducción de 193 a 233 COV/m<sup>2</sup>.

**Información operativa:** En las pinturas metálicas, la capa base y la capa transparente siempre son de base disolvente. El grosor de la capa base es de unos 10 - 20 µm y el de la capa transparente, aplicada posteriormente, es de unos 40 ± 5 µm. Las capas monocapa se aplican con un grosor de 30 - 40 µm.

Para las cabinas, el gas residual de los secadores suele conectarse a una unidad de postcombustión, mientras que el de las cabinas de pulverización no suele tratarse (sólo en una instalación).

Sin embargo, después de la pintura de los ejes, la mayor parte de disolvente aplicado se emite sin haber sido tratado, ya que no se aplican medidas de reducción de emisiones, o bien el secador está conectado a una unidad de postcombustión.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Volvo en Umea (Suecia) combina la incineración con filtrado con zeolitas para la recuperación de disolvente. Las emisiones son inferiores a 1 kg por cabina.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005] [185, May, et al., 2006]

## 7.4.2 Sustitución de materiales de base disolvente

### 7.4.2.1 Sistemas de pintura al agua

**Descripción:** Para una descripción general remítase al apartado 20.7.2.3. Los sistemas de pintura al agua se aplican para:

- electrorrevestimiento: 8 % en peso de disolvente orgánico,
- relleno/imprimador: 15 % en peso de disolvente orgánico,
- capa base: 15 % en peso de disolvente orgánico.

Las emisiones totales de COV para estas capas se hallan en el intervalo de 31 a 36 g COV/m<sup>2</sup> sin capa final y antes de cualquier reducción. Se usan unas 25 capas finales diferentes al agua (bicomponente) en el 95 % de carrocerías, aproximadamente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Dado que las pinturas al agua conllevan eficiencias de aplicación inferiores, debe considerarse un aumento en el consumo de pintura. Se ha informado que:

- el consumo de imprimador para revestimientos al agua es alrededor de un 5 % mayor que para imprimadores convencionales de base disolvente;
- el consumo de capa base para revestimientos al agua es alrededor de un 10 % mayor que para capas base convencionales de base disolvente.

**Información operativa:** La empresa DaimlerChrysler AG de Kassel, Alemania, ha estado usando una instalación que usa pinturas al agua para el revestimiento de ejes desde 1998. Gracias a ellos se ahorran 160 000 litros de disolvente cada año.

**Aplicabilidad:** La sustitución de esmaltes e imprimadores de base disolvente implica el cambio de las cabinas de pulverización y de los pulverizadores automáticos; el gasto asociado depende fuertemente de la disposición de la planta. En muchos casos, como se necesita espacio adicional para que las cabinas sean más largas, debe instalarse una nueva instalación en un edificio de nueva construcción.

**Aspectos económicos:** El coste de sustituir una cabina de pulverización simple y los pulverizadores asociados (es decir, una cabina de pulverización de imprimador) varía entre 13 millones y 25 millones de EUR. La instalación de una nueva planta en un edificio de nueva construcción varía, según el tamaño de la misma, entre 60 millones de EUR, para una planta de 25 000 cabinas/a, y 140 millones de EUR para una planta de 50 000 camionetas/a.

**Motivo principal para su aplicación:** DED.

**Ejemplos de instalaciones:** Capas finales monocapa al agua se aplican en MAN (Múnich, Alemania) y DaimlerChrysler AG (Kassel, Alemania).

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [8, IFARE y CITEPA, 2002] [128, TWG, 2005] [185, May, et al., 2006]

### 7.4.3 Técnicas y equipos de aplicación de pintura

#### 7.4.3.1 Electrorrevestimiento

Para una descripción general remítase al apartado 20.7.3.4. Todos los electrorrevestimientos usados son al agua; su contenido de disolventes orgánicos es habitualmente del 8 % en peso y no contienen plomo. Las carrocerías de camiones se montan a partir de perfiles que ya han pasado por un proceso de electrorrevestimiento por inmersión. Actualmente, la técnica de inmersión se usa ampliamente para la aplicación de electrorrevestimientos. Este revestimiento implica unas elevados costes de inversión y de material.  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

#### 7.4.3.2 Pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP)

Para una descripción general remítase al apartado 20.7.3.9. El imprimador se aplica sobre las superficies interiores y exteriores de la cabina de conducción, mediante pistolas de pulverización HVLP de funcionamiento manual.

En las carrocerías de camiones, el material al agua se aplica con pistolas de pulverización HVLP. Los grosores aplicados varían entre 40 y 60  $\mu\text{m}$ . La niebla de pulverización se intercepta mediante un sistema depurador húmedo con vertido automatizado del fango de pintura hacia el decantador.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

#### 7.4.3.3 Procesos de atomización electrostática

Para una descripción general remítase al apartado 20.7.3.14. Capa final monocapa: 45 % en peso de disolventes orgánicos, con emisiones específicas de COV de 60 - 72 g COV/m<sup>2</sup>; se aplica con pulverización electrostática.

#### 7.4.3.4 Conos electrostáticos de alta velocidad de rotación

Para una descripción general remítase al apartado 20.7.3.15. Tras la aplicación del relleno/imprimador, se aplica una segunda capa sobre las superficies exteriores mediante aplicaciones automáticas de pulverización electrostática con conos de alta velocidad de rotación. El grosor de la capa varía de 25 a 35  $\mu\text{m}$ . La aplicación manual de pintura sólo se realiza para pedidos especiales.

La capa base de base disolvente suele aplicarse mediante pulverización electrostática (50 %) y pulverización estándar (50 %). La capa transparente se aplica mediante pulverización electrostática.

[13, DFIU e IFARE, 2002]

En pinturas metálicas, la capa base y la capa transparente son de base disolvente. La capa base es de unos 10 - 20  $\mu\text{m}$  de grosor, la capa transparente posterior es de unos  $40 \pm 5 \mu\text{m}$  y la capas finales simples son de unos 30 - 40  $\mu\text{m}$ .

#### **7.4.3.5 Cabinas de pulverización con separación en húmedo**

Para una descripción general remítase al apartado 20.7.4.1. Se usan habitualmente. [13, DFIU e IFARE, 2002]

### **7.4.4 Tratamiento de gases residuales**

#### **7.4.4.1 Oxidación**

Para una descripción general remítase al apartado 20.11.4. Tras el aclarado al final del proceso de electrorrevestimiento, las camionetas, camiones, cabinas y carrocerías se secan en un secador que suele disponer de un equipo de oxidación.

Cuando se aplican pinturas de base disolvente, las cabinas de pulverización de secado sobre arena suelen disponer de un equipo de oxidación. No obstante, pueden estar equipadas con un sistema de adsorción por carbón activado combinado con una unidad de oxidación. [13, DFIU e IFARE, 2002] [8, IFARE y CITEPA, 2002]

La inversión para estas medidas de reducción de emisiones depende del tamaño de la planta.

Para un taller de pintura de cabinas de camiones con una producción de 25 000 unidades/a, la inversión para la instalación de unidades de postcombustión en los secadores es de unos 3 millones de EUR, lo que, por vehículo pintado, corresponde a unos 120 EUR. Además, se generan unos costes de energía de aproximadamente 300 000 EUR/a, lo que, por vehículo pintado, corresponde a unos 12 EUR.

Para un taller de pintura de camionetas con una producción de 50 000 unidades/a, la inversión para la instalación de unidades de postcombustión en los secadores es de unos 4 millones de EUR, lo que, por vehículo pintado, corresponde a unos 80 EUR. Además, se generan unos costes de energía de aproximadamente 400 000 EUR/a, lo que, por vehículo pintado, corresponde a unos 8 EUR. [185, May, et al., 2006]

#### **7.4.4.2 Adsorción en carbono activado**

Para una descripción general remítase al apartado 20.11.6. Si se aplican pinturas de base disolvente, el gas residual procedente de las cabinas de pulverización y de los secadores puede pretratarse, por ejemplo, en una rueda de adsorción, seguida de una unidad de postcombustión.

Para un taller de pintura de cabinas de camiones con una producción de 25 000 unidades/a, la inversión para la instalación de un dispositivo regenerativo de adsorción y una unidad de postcombustión para el tratamiento parcial de las emisiones de COV de las cabinas de pulverización es de unos 12 millones de EUR, lo que, por vehículo pintado, corresponde a unos 60 EUR. Además, se generan unos costes de energía de aproximadamente 650 000 EUR/a, lo que, por vehículo pintado, corresponde a unos 26 EUR.

Para un taller de pintura de camionetas con una producción de 50 000 unidades/a, la inversión para la instalación de unidades de postcombustión en los secadores es de unos 15 millones de EUR, lo que, por vehículo pintado, corresponde a unos 30 EUR. Además, se generan unos

costes de energía de aproximadamente 1,2 millones de EUR/a, lo que, por vehículo pintado, corresponde a unos 24 EUR.  
[185, May, et al., 2006]

### **7.4.5 Tratamiento de aguas residuales**

Habitualmente se aplican las técnicas siguientes:

- la ultrafiltración y la nanofiltración se usan habitualmente en los baños de inmersión para electrorrevestimientos, véase el apartado 20.12.6,
- aclarado en cascada, véase el apartado 20.7.5.1,
- uso de intercambiadores iónicos, véase el apartado 20.7.5.2,
- descarga continua de lodos de pintura, véase el apartado 20.7.5.6,
- sistemas de decantación, véase el apartado 20.7.5.7.

## 8 REVESTIMIENTO DE AUTOBUSES

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [118, ACEA, 2005] [186, May, et al., 2006]

### 8.1 Información general sobre el revestimiento de autobuses

Este capítulo trata las medidas integradas de protección ambiental que se usan en la pintura de carrocerías y chasis de autobuses de la categoría M2 y M3 (según la Directiva 70/156/CEE). En el año 2005, se fabricaron 30 514 autobuses y autocares en la UE. Hay unas 46 instalaciones en toda Europa (incluyendo Rusia). La producción de autobuses está incluida en la de camionetas y camiones y, conjuntamente, se consideran vehículos comerciales. En el apartado 6.1 se puede hallar información básica adicional sobre la industria de fabricación de vehículos, y en el apartado 7.1 sobre los vehículos comerciales en particular [152, ACEA, 2006].

### 8.2 Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de autobuses

#### 8.2.1 Pretratamiento

En general, las carrocerías se tratan aplicando procesos convencionales de pretratamiento, como el desengrasado y la fosfatación, antes de realizar la pintura. Tras los procesos de pretratamiento, se aplica la capa base mediante pulverización o inmersión.

#### 8.2.2 Revestimiento base / revestimiento por inmersión

Una planta alemana utiliza el revestimiento por inmersión cataforética para aplicar una capa base en las carrocerías de vehículos. Para eliminar grasas, aceites, residuos de lijado y otras impurezas, las carrocerías se limpian previamente en un proceso acuoso-alcalino (a una temperatura de 60 °C). A continuación se realiza un aclarado.

Para preparar la superficie de cara a la fosfatación subsiguiente, se necesita una activación. La aplicación de la capa de conversión sobre las carrocerías (a una temperatura del orden de 50 - 55 °C) garantiza protección frente a la corrosión y la adherencia de la capa de revestimiento que se aplica posteriormente. Para sellar la capa de fosfatación se pasiva la superficie de la carrocería. Las carrocerías se aclaran varias veces a temperatura ambiente con agua desmineralizada y posteriormente se aplica el revestimiento por inmersión catafórica. El material usado es al agua con un contenido de disolventes orgánicos de un 3 % en peso, aproximadamente. A continuación las carrocerías ya imprimadas se aclaran automáticamente y manualmente con agua desmineralizada y se secan a 175 °C (temperatura del sustrato) en un secador equipado con una unidad de postcombustión, antes de llevarlas a una zona de enfriamiento.

Las emisiones de COV se pueden reducir hasta un 60 % con la aplicación del revestimiento por inmersión catafórica. Este proceso se implementó en 1990. Además del revestimiento por inmersión con materiales al agua, también es habitual la aplicación por pulverización de materiales epóxicos bicomponente de base disolvente. Estos materiales contienen alrededor de un 40 - 50 % de disolventes y se aplican mediante pulverización manual.

#### 8.2.3 Protección de bajos y sellado de juntas

Tras la limpieza de las carrocerías de autobuses, se realiza el sellado de juntas en el interior y en el exterior, así como en la zona de bajos. Sólo tras el sellado se realiza la aplicación de la protección de bajos. El material para ésta es un poliuretano bicomponente o una laca soluble en agua. El sellado de juntas y la protección de bajos se realiza manualmente.

### 8.2.4 Aplicación del imprimador

El imprimador prepara la superficie para el revestimiento de acabado subsiguiente. Con el imprimador se consigue mayor uniformidad y se eliminan las imperfecciones de la capa base, de manera que se garantiza la adherencia y la protección frente a la corrosión. Además, el imprimador también aumenta la resistencia mecánica de la superficie del autobús.

Actualmente, en el revestimiento de autobuses en Alemania sólo se usan imprimadores de base disolvente. La aplicación se realiza manualmente y posteriormente se somete a un proceso de secado. En la planta de DaimlerChrysler en Neu-Ulm (Alemania) el imprimador se aplica automáticamente con conos de alta velocidad de rotación y robots. En este caso, se pueden usar imprimadores de colores para evitar la necesidad de dos capas como capa final para los colores con una baja capacidad de revestimiento.

### 8.2.5 Aplicación de la capa final

Debido al diseño de colores individual en la fabricación de autobuses, se usan diferentes estructuras de capas. Aunque los diversos motivos o etiquetas se aplican en una etapa posterior, todos los autobuses pasan por las mismas etapas de pintura. Se usan revestimientos superiores únicos (capas finales monocapa) o revestimientos superiores de doble capa, con una capa final y una capa transparente. Para los colores de baja capacidad de revestimiento (como el amarillo o el rojo) se aplican dos capas y las capas finales se aplican manualmente; esto no es necesario si se usan imprimadores de colores.

Como no están disponibles todos los colores como pinturas al agua, actualmente se aplican exclusivamente capas finales de base disolvente. Para la aplicación de etiquetas u otros motivos, se usan revestimientos laminados. Aunque éstos reduzcan el consumo de pintura, no se reducen las emisiones de COV, ya que se usan adhesivos que contienen disolventes. Los procesos de pintura de autobuses se realizan manualmente, lo que restringe el uso de revestimientos en polvo.

### 8.2.6 Sellado de cavidades

Para completar la protección frente a la corrosión deben sellarse las superficies con cavidades en la estructura de la carrocería mediante una capa de cera. Como sellador se usa una cera de base disolvente con un contenido de disolventes de un 60 % aproximadamente.

### 8.2.7 Sistemas alternativos y técnicas de reducción

En algunos casos se aplican pinturas al agua en el revestimiento de autobuses (revestimiento por inmersión catódica y protección de bajos). Con una sola excepción, las pinturas al agua no se aplican como capas finales. En una única instalación los autobuses urbanos se revisten completamente con pinturas al agua. El revestimiento en polvo no se usa para el revestimiento en serie de autobuses. La aplicación de medidas primarias de reducción de emisiones aún es muy limitada en la pintura de autobuses (como consecuencia de la aplicación manual, de los pequeños volúmenes de unidades y de los requisitos específicos de los clientes).

Para la reducción de emisiones se aplican medidas a final de línea, como las unidades de postcombustión, para el tratamiento de gases residuales de los secadores; por lo tanto, sólo se recoge y se trata una pequeña parte de las emisiones de COV. No se ha informado de experiencias con medidas de reducción de emisiones más eficientes, como la combinación de adsorción por carbón activo y las unidades de postcombustión para el tratamiento de gases residuales de las cabinas de pintura y los secadores.



### 8.2.8 Ejemplos de instalaciones de revestimiento para autobuses

Ejemplos de instalaciones de revestimiento para autobuses son las plantas de DaimlerChrysler AG en Mannheim y Neu-Ulm, Alemania. La capacidad de producción de estas instalaciones es de casi 2500 y 3000 autobuses por año, respectivamente. En Mannheim, se fabrican carrocerías de autobuses urbanos y de turismo (autocares) y se les aplica una capa base por inmersión catafórica.

Los autobuses de turismo se transportan a la planta de Neu-Ulm tras la aplicación de la capa por inmersión y se limpian con agua caliente y se secan. A continuación se aplica el revestimiento. Las etapas de pintura son similares en ambas instalaciones. En primer lugar se realiza una aplicación por pulverización. Para la protección de los bajos se procesa una resina epóxica bicomponente al agua. Para obtener una superficie uniforme las carrocerías se rellenan y se pulen después de montar los protectores. Posteriormente se aplica un imprimador al agua o de base disolvente (epoxi bicomponente) y se pule nuevamente.

En la cabina de pintura, se pulveriza una pintura de imprimación acrílica sobre la carrocería. El material se seca a una temperatura de 90 °C. Tras un proceso de lijado adicional, se pulveriza la capa final (material bicomponente) y luego la capa transparente. Se dispone de más de 6000 colores diferentes como capa base. Los autobuses pasan por las cabinas de pintura y los secadores hasta 15 veces, hasta aplicar todas las etiquetas y motivos. Las imágenes y etiquetas se aplican mediante pulverización o incluso con técnicas de aerógrafo, así como mediante laminación.

Hay situaciones en que no se aplican medidas secundarias, pero en general se aplica la oxidación térmica a los gases residuales procedentes de los hornos de secado.

Como técnica especial en la planta de DaimlerChrysler AG en Mannheim, se usa un material de poliuretano para la reducción del ruido de origen estructural. Este material se usa en lugar del relleno de amortiguamiento acústico de PVC que habitualmente se une con adhesivos de base disolvente con un contenido medio de disolvente del 65 %. El material de poliuretano se pulveriza sobre la carrocería con un grosor de 3 – 8 mm. Este uso también contribuye a la seguridad laboral, ya que se producen menos accidentes y no se emiten COV.

El material de protección acústica se procesa dentro de los autobuses. Posteriormente, se aplica un material de poliuretano bicomponente como revestimiento alternativo del suelo. En general, en los autobuses urbanos se usa un revestimiento del suelo de PVC. El material se corta a la medida adecuada y se une con adhesivos de base disolvente. Como alternativa, se aplica un material de poliuretano sin disolventes mediante pulverización sin aire. Esta técnica ya se ha puesto en práctica para 145 autobuses (2002). A diferencia de los suelos anteriores de PVC, esta superficie no presenta juntas que podrían no ser estancas y, por tanto, no puede producirse corrosión de la carrocería.

Para los autobuses de turismo, se usan diversos revestimientos del suelo; estos materiales se unen parcialmente con adhesivos de dispersión. También se usan cintas adhesivas de doble cara.

En resumen, las técnicas más aplicadas habitualmente son [8, IFARE y CITEPA, 2002] [138, EGTEI, 2005]:

- electrorrevestimiento: al agua (5 % en peso de disolventes);
- imprimador: de base disolvente (45 % en peso de disolventes), aplicación electrostática;
- capa final: capa muy sólida (45 % en peso de disolventes), aplicación electrostática; capa base de base disolvente (75 % en peso de disolventes), aplicación neumática (50 %) y electrostática (50 %); capa transparente de base disolvente (45 % en peso de disolventes), aplicación electrostática.

Sistemas alternativos que se usan con menor frecuencia son:

- electrorrevestimiento: al agua (5 % en peso de disolventes);
- imprimador: al agua (8 % en peso de disolventes); aplicación electrostática;
- capa final: capa muy sólida (45 % en peso de disolventes), aplicación neumática; capa base de base disolvente (75 % en peso de disolventes), aplicación neumática; capa transparente de base disolvente (45 % en peso de disolventes), aplicación neumática.

y:

- electrorrevestimiento: al agua (5 % en peso de disolventes);
- imprimador: de base disolvente (45 % en peso de disolventes); aplicación electrostática;
- capa final: capa muy sólida (45 % en peso de disolventes), aplicación neumática; capa base al agua (13 % en peso de disolventes), aplicación neumática; capa transparente de base disolvente (45 % en peso de disolventes), aplicación neumática.

y:

- electrorrevestimiento: al agua (5 % en peso de disolventes);
- imprimador: al agua (8 % en peso de disolventes); aplicación electrostática;
- capa final: capa muy sólida (45 % en peso de disolventes), aplicación neumática; capa base al agua (13 % en peso de disolventes), aplicación neumática; capa transparente de base disolvente (45 % en peso de disolventes), aplicación neumática.

Alternativamente, las emisiones se reducen mediante el uso de pintura por pulverización con menor presión de aire. En general, las aplicaciones electrostáticas sólo se usan para el imprimador.

### 8.3 Valores actuales de consumo y emisión en el revestimiento de autobuses

[13, DFIU e IFARE, 2002]

#### 8.3.1 Balance de masa

No hay datos disponibles.

#### 8.3.2 Consumo

##### 8.3.2.1 Materiales

Normalmente se reviste una superficie de unos 200 m<sup>2</sup> por autobús. La Tabla 8.1 muestra los consumos específicos de material para las diversas capas de revestimiento.

Material (% en peso)	Consumo específico de material (g pintura/m <sup>2</sup> )
Revestimiento por inmersión catafórica, material al agua, 3 – 4 % de disolventes orgánicos	120 – 135
Sellado de juntas y protección de bajos (al agua, aplicación manual)	sin datos
Imprimador (de base disolvente: 45 % de disolventes orgánicos, aplicación manual)	18 – 22
Imprimador (al agua: 8 % de disolventes orgánicos, aplicación manual)	22 – 26
Capa final monocapa (de base disolvente: 45 % de disolventes orgánicos, aplicación manual)	10 – 40
Capa base (de base disolvente: 75 % de disolventes orgánicos, aplicación manual)	90 – 100
Capa base (al agua: 13 % de disolventes orgánicos, aplicación manual)	100 – 110
Capa transparente (de base disolvente: 45 % de disolventes orgánicos, aplicación manual)	50 – 65

**Tabla 8.1: Consumo específicos de material para las diversas capas [57, Rentz, et al., 1999]**

### 8.3.2.2 Agua

Al igual que en el revestimiento de turismos, camionetas, camiones y cabinas, el uso más importante de agua en los autobuses es en los procesos siguientes:

- pretratamiento (desengrasado),
- revestimiento de conversión (fosfatación y pasivación),
- electrorrevestimiento.

El uso principal del agua es en las etapas de aclarado; se pierde menos agua por evaporación y se usa para hacer nuevas disoluciones. Las técnicas de gestión y ahorro de agua se describen en detalle en el capítulo 20. Entre ellas se encuentran el aclarado multietapa, técnicas para minimizar el uso de agua o recuperación de agua y materias primas.

### 8.3.2.3 Energía

Al igual que en el revestimiento en serie de turismos, la mayor demanda de energía procede de la calefacción de las cabinas de pintura y los secadores. No se dispone de datos para la demanda de energía.

Consumo calorífico de la cabina de pulverización en el momento de la instalación: de 1200 a 1400 kW, potencia eléctrica instalada de 150 a 170 kW.

Horno: capacidad calorífica instalada de 500 a 700 kW, potencia eléctrica de 45 kW.

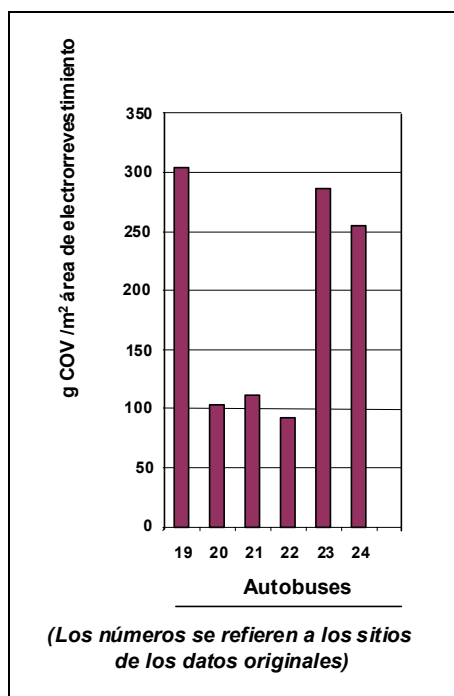
## 8.3.3 Emisiones

### 8.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

Las emisiones de COV de la pintura de autobuses representa el 0,6 % del total de la industria de automóviles [118, ACEA, 2005] y son superiores por metro cuadrado que las del revestimiento en serie de turismos por las mismas razones que en el caso de camiones; véase el apartado 7.3.3.1.

En las plantas que se describen en el apartado 8.2.8, las emisiones de COV son de unos 225 g/m<sup>2</sup> sin considerar las medidas de reducción de emisiones para gases residuales

procedentes de los secadores. Los valores de emisión de COV para diversas plantas de autobuses europeas se muestran en la Figura 8.1:



**Figura 8.1: Emisiones de COV para diversas plantas de montaje de autobuses europeas** [118, ACEA, 2005]

Las emisiones de los procesos de limpieza se pueden reducir a menos de 20 g/m<sup>2</sup> mediante unas buenas prácticas de mantenimiento, limpieza y técnicas de sustitución como las que se comentan en los apartados 20.2.2, 20.9 y 20.10 [122, Dupont y May, 2005].

Las emisiones de polvo de la niebla de pulverización suelen hallarse por debajo del valor de emisión de 3 mg/m<sup>3</sup>.

### 8.3.3.2 Emisiones al agua

Para la deposición de la niebla de pulverización las cabinas de pintura suelen equiparse con lavadores Venturi. El fango de pintura generado se usa para recuperación de energía.

### 8.3.3.3 Residuos

Los lodos de pintura generados por la niebla de pulverización se desechan y pueden incinerarse con recuperación de energía. Los disolventes orgánicos que se usan en la limpieza de herramientas y cabinas de pintura suelen reciclarse (externamente) o desecharse y pueden incinerarse con recuperación de energía.

## 8.4 Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de autobuses

En el capítulo 20 se comentan técnicas que también podrían aplicarse en el revestimiento de autobuses. En el apartado 20.7 se comentan técnicas relevantes para la aplicación de pintura, que también podrían aplicarse en el revestimiento de autobuses. En la Tabla 8.2 se muestran las técnicas generales relevantes para el revestimiento de autobuses que se describen en el capítulo

20 o el apartado 20.7. En general, estas técnicas no se repiten en este apartado a no ser que se disponga de información específica para esta industria. En Tabla 20.1 se presenta una descripción del tipo de información considerada para cada técnica.

Las hojas resumen del EGTEI para el revestimiento de autobuses (véase el anexo 24.1.1) proporcionan algunos datos acerca de los costes y beneficios en un ámbito europeo para algunas técnicas de reducción de emisiones de COV. Sin embargo, el enfoque del EGTEI es necesariamente limitado en su complejidad y sólo se consideran las técnicas clave, sin referencia a otros factores en las MTD, como los efectos cruzados o las características técnicas de las instalaciones y productos particulares [138, EGTEI, 2005].

El proceso de pintura en la industria de fabricación de vehículos es una operación muy compleja y totalmente integrada, formada por muchas etapas interdependientes. Como cada etapa influye sobre todas las otras, las decisiones que se toman acerca de una de ellas pueden influir en todo el proceso o en una parte del mismo. De la misma forma, algunas combinaciones de técnicas pueden ser mutuamente incompatibles. Además, un sistema de aplicación existente puede limitar la elección de revestimientos. En consecuencia, al considerar las técnicas para determinar MTD, no tiene sentido seleccionar cada etapa por separado.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 8.2: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector

### 8.4.1 Materiales convencionales de base disolvente

**Descripción:** Las pinturas convencionales de base disolvente tienen el siguiente contenido de disolventes en peso: 45 % en el imprimador, 45 % en las capas finales monocapa, 75 % para las capas base y 45 % en las capas transparentes. La aplicación se realiza manualmente con una

pistola aplicadora. Habitualmente, los disolventes presentes en los gases residuales de los secadores se convierten o se destruyen (véase el apartado 20.11), según la producción de la instalación y sus niveles de emisión.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En comparación con sistemas de pintura al agua, los requisitos directos de energía son menores, a causa de la mejor climatización y de la evaporación acelerada de los sistemas de base disolvente. Sin embargo, ello no incluye el consumo de energía para la eliminación de disolventes en los gases residuales.

**Efectos cruzados:** En las plantas que se describen en el apartado 8.2.8, las emisiones de COV son de aproximadamente 225 g/m<sup>2</sup>, sin considerar las medidas de reducción de emisiones para gases residuales de los secadores.

**Información operativa:** Los tiempos de curado son más cortos que los necesarios en los sistemas al agua; en consecuencia, se pueden lograr velocidades de línea mayores en áreas más pequeñas, gracias al menor tiempo de residencia en los hornos. Los sistemas de base disolvente también pueden funcionar con intervalos de temperatura y humedad más amplios. No se necesitan equipos de acero inoxidable.

**Aplicabilidad:** Las pinturas de base disolvente se pueden usar en todas las etapas de la operación de pintura (imprimación, capa final de alto contenido en sólidos, capa base, capa transparente y reparación), así como sobre metales y plásticos. Pueden utilizarse en talleres de pintura nuevos y existentes, en los que el espacio y los costes del uso de alternativas son prohibitivos y en los que sean técnicamente imposibles los cambios de material.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Las restricciones económicas y técnicas en los talleres de pintura existentes y en determinados talleres nuevos, hacen de los materiales de base disolvente una opción preferente en ciertas instalaciones. Unos objetivos de calidad cada vez mayores también favorecen el uso de materiales de base disolvente.

**Ejemplos de instalaciones:** DaimlerChrysler Mannheim, DaimlerChrysler Neu-Ulm, ambas en Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004] [186, May, et al., 2006]

### 8.4.2 Sustitución de materiales de base disolvente

#### 8.4.2.1 Sistemas de pintura al agua

**Descripción:** Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.2.3. Los siguientes sistemas de pintura al agua se aplican en el revestimiento de autobuses:

- electrorrevestimiento: 3-4 %,
- imprimador: 8 % en peso de disolventes,
- capa base: 13 % en peso de disolventes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se puede lograr una reducción significativa del uso y de las emisiones de COV. Si se usa el electrorrevestimiento, se puede eliminar la operación de imprimado, que permite una reducción de la emisión de disolventes de 90 a 130 g/m<sup>2</sup>.

**Efectos cruzados:** No debe usarse un electrorrevestimiento con plomo, a causa de las emisiones de polvo durante el pulido.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Con una sola excepción, las pinturas al agua no se aplican como capas finales. Sólo se revisten los autobuses urbanos completamente con pinturas al agua en una instalación.

**Aspectos económicos:** El proceso de electrorrevestimiento sólo es económicamente factible para instalaciones con una gran producción (> 5000 autobuses).

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Daimler Chrysler, Mannheim, Alemania; Iveco, Italia.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [186, May, et al., 2006]

#### 8.4.2.2 Pinturas de alto contenido en sólidos

**Descripción:** Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.2.2. La pintura de alto contenido en sólidos sólo se aplica en la capa final monocapa y tiene un contenido de disolventes del 40 % en peso. La diferencia con las capas finales normales con un contenido de disolventes del 45 % en peso es sólo marginal.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002, 76, TWG, 2004] [186, May, et al., 2006]

#### 8.4.3 Técnicas y equipos de aplicación de pintura

La pulverización de autobuses se realiza manualmente, con técnicas neumáticas y electrostáticas. La pulverización electrostática sólo se usa para la imprimación. Sin embargo, no se presentó más información sobre cuáles de las siguientes técnicas y equipos de pulverización se aplican:

- pulverización convencional a alta y baja presión, véase el apartado 20.7.3.8;
- pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP), véase el apartado 20.7.3.9;
- procesos de pulverización y atomización electrostáticos, véase el apartado 20.7.3.14;
- conos electrostáticos de alta velocidad de rotación, véase el apartado 20.7.3.15;
- pulverización asistida por aire, sin aire y electrostática con aire comprimido, véase el apartado 20.7.3.17;
- cabinas de pulverización con separación en húmedo, véase el apartado 20.7.4.1;
- técnicas de emulsiones acuosas en cabinas de pulverización, véase el apartado 20.7.4.3.



### 8.4.3.1 Electrorrevestimiento

**Descripción:** Véase el apartado 20.7.3.4. Todos los electrorrevestimientos usados son al agua; su contenidos de disolventes orgánicos es habitualmente del 3 – 4 % en peso.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Normalmente, la emisión específica de COV se halla en el intervalo de 6 – 7 g COV/m<sup>2</sup>, en función de la superficie de la carrocería.

**Efectos cruzados:** Ninguno

**Información operativa:** Las ventajas del electrorrevestimiento son los revestimientos consistentes y completos (también en las cavidades), sin formación de rebordes, una gran eficiencia y la posibilidad de un proceso totalmente automatizado. Las desventajas son los grandes requisitos de mantenimiento básico de los tanques de pintura, así como para el aseguramiento de la calidad.

**Aplicabilidad:** Actualmente, el electrorrevestimiento se usa ampliamente en el revestimiento de turismos, camionetas y camiones, pero sólo se aplica en un pequeño número de plantas de montaje de autobuses.

**Aspectos económicos:** El electrorrevestimiento implica unos grandes costes de inversión y aún mayores costes de material.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Daimler Chrysler Mannheim, Alemania; Iveco, Italia.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [186, May, et al., 2006]

## 9 REVESTIMIENTO DE TRENES

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

### 9.1 Información general sobre el revestimiento de trenes

Además de las buenas cualidades ópticas de la pintura, para los vehículos ferroviarios se requiere una buena protección frente a la corrosión. El sistema de revestimiento aplicado debe resistir los impactos climáticos, agentes limpiadores agresivos (usados para eliminar las pintadas y *graffiti*) y la abrasión producida por contactos en movimiento. Las locomotoras operadas por Deutsche Bahn AG se repintan cada ocho años.

### 9.2 Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de trenes

La selección del sistema de revestimiento, materiales, color y grosor de la capa la determina el cliente. A causa de los elevados caudales y del funcionamiento discontinuo en las instalaciones pequeñas no se aplica tratamiento de gases residuales. No obstante, en algunas instalaciones grandes el tratamiento de los gases residuales procedentes de los secadores es práctica habitual.

Los procesos de revestimiento de vehículos ferroviarios se pueden dividir en el revestimiento de vehículos nuevos y operaciones de mantenimiento. Los sistemas de revestimiento son idénticos en ambos procesos, que normalmente se realizan en el mismo lugar en que se fabrican los vehículos. Las características de las operaciones de mantenimiento con impacto ambiental se remarcan en los siguientes párrafos y también son válidas para construcciones nuevas:

- reparación de la pintura en el departamento de acabado o durante las tareas de mantenimiento: la pintura se lija parcialmente y se renueva;
- laqueado completo de vehículos ferroviarios antiguos: en función del estado de la laca, la pintura se lija hasta la capa base o se elimina completamente mediante granallado;
- eliminación de pintura y nuevo acabado de pintura: tras la reconstrucción de vehículos ferroviarios se elimina la pintura vieja mediante granallado o lijado hasta la capa base. A continuación se aplica un nuevo revestimiento. En general, la eliminación de pintura se realiza manualmente mediante chorro de arena. Para la eliminación de pintura de superficies de aluminio y acero inoxidable (p. ej. superestructuras), se usa corindón como material de granallado. Para el acero normal, se utiliza también acero como material de granallado. Tras la eliminación de la pintura se quita el polvo de la superficie soplando con aire comprimido. Normalmente, todos los materiales de granallado se reciclan.

El proceso de construcción y pintura de nuevos vehículos ferroviarios se describe más detalladamente en los párrafos siguientes. Como los procesos de pintura en las tareas de construcción y mantenimiento son idénticos, ello también es válido para las tareas de mantenimiento.

La Tabla 9.1 muestra los sistemas de revestimiento utilizados para carrocerías de vehículos ferroviarios, según las regulaciones de la Deutsche Bahn AG, como un ejemplo de posible estructura de capas.

Área	Estructura de capa	Material <sup>(1)</sup>	Grosor de capa del material seco (µm)	
Carrocería completa del vehículo ferroviario	<b>Pretratamiento</b>	<b>Granallado</b>		
	Capa base	EP, ag	60	
	Masilla	dis	60	
	Superficies externas: Paredes frontal y laterales, incluyendo puertas y marcos de ventanas, el techo y las áreas delanteras de plástico reforzado con fibra de vidrio	Imprimador	imp. PUR o EP, ag	60
			imp. PUR, dis (alternativa)	40
	Capa final	PUR, dis	40	
		PUR, ag	20 – 30	
		Capa base, ag	40	
		PUR, dis y pint. anti-graffiti, dis	40	
	Capa primaria	EP, ag	80	
Techo	Capa final	EP, ag, capa gruesa	140	
		EP, dis, capa gruesa (alternativa)	140	
Base, suelo, bajos	Capa primaria	EP, ag	60	
	Capa final	EP, ag, capa gruesa	140	
		EP, dis, capa gruesa o protección de bajos monocomponente (alternativa)	140 – 200	
Bastidor del bogie	Capa primaria	EP, ag	60	
		EP, dis (alternativa)	60	
	Capa final	EP, ag, capa gruesa	140	
		EP, dis, capa gruesa (alternativa)	140	
Piezas DIN	Cera anticorrosión			
Superficies internas: suelo, techo, laterales y frontal	Capa primaria	EP, ag		
	Capa final	EP, ag, capa gruesa		
		EP, dis, capa gruesa (alternativa)		
	Sellador	Agente sellante		
Aislamiento acústico	Resinas artificiales, ag			

<sup>(1)</sup> dis: de base disolvente, ag: al agua, EP: epoxi, PUR: poliuretano

**Tabla 9.1: Estructura de capas en vehículos ferroviarios, según las regulaciones de la Deutsche Bahn AG [13, DFIU e IFARE, 2002]**

### Pretratamiento de las carrocerías de vagones

Tras el montaje se lleva a cabo un desengrase opcional mediante agentes limpiadores acuoso-alcalinos (especialmente en el caso del aluminio). Posteriormente, se limpian las superficies internas y externas mediante granallado. El agente de granallado se recicla parcialmente.

### Aplicación de la capa base (sobre las áreas exteriores y superficies internas)

La capa base se aplica sobre todo el vagón. La aplicación de pintura se realiza manualmente por pulverización sin aire. Además de las pinturas convencionales, se dispone de pinturas bicomponente, sin cromatos, basadas en resinas epóxicas. El contenido de disolventes de estos materiales varía entre 3 y 5 %. Se aplican aproximadamente 60 - 100 µm en el techo y unos 200 µm en los laterales. Los accesorios, como los soportes portaequipajes, se revisten con pinturas de base disolvente o en polvo.

### Relleno

Tras secar la capa base, se aplica manualmente un relleno mediante espátulas. El material tiene un contenido de disolventes de un 16 % (del cual un 8 % es reactivo e irrelevante para las emisiones). Tras el curado del material se liján los laterales. El polvo resultante se elimina

soplado con aire comprimido y usando agentes limpiadores. Normalmente, el material de relleno sólo se aplica en las juntas soldadas (aplicación mínima de relleno).

#### **Aplicación de imprimador (generalmente sólo sobre las superficies exteriores)**

El imprimador se aplica en los laterales mediante pulverización con mezcla de aire. Como imprimador se usa, o bien un material epóxico al agua, bicomponente y endurecido con amina (con un 3 % de disolventes orgánicos), o bien poliuretano de base disolvente (con un 35 % de disolventes orgánicos). El grosor de la capa es de unos 60  $\mu\text{m}$ . El tiempo de secado es de dos a tres horas; si se usa un secador (80 °C) el secado dura unos 45 minutos. La temperatura del sustrato no puede superar los 45 °C en los vagones completados a causa de los equipos electrónicos instalados.

#### **Aplicación de la capa final (generalmente sólo sobre las superficies exteriores)**

Según el tipo de vía, se aplican diversas capas de revestimiento superior (véase la Tabla 9.1). Para la Deutsche Bahn AG se usan seis colores diferentes para los vehículos urbanos. Entre ellos, tres se usan para revestir los laterales, uno para el techo, uno para los bajos y uno para los bastidores de bogies. La laca se aplica con pulverización con mezcla de aire. Entre las aplicaciones de pintura se produce la evaporación (una hora). Tras aplicar la última capa, la pintura se seca a una temperatura de 50 - 60 °C. Después de dos horas, las superficies acabadas se enmascaran y se aplica la siguiente capa de pintura. El grosor de la capa de pintura aplicada en los laterales es de 40  $\mu\text{m}$ ; puede llegar a 120  $\mu\text{m}$  en función del número de capas de pintura. En el techo se aplican unos 120  $\mu\text{m}$ .

Básicamente se procesan capas finales y capas transparentes de base disolvente. A menudo los clientes no las aceptan; se necesitan buenos rendimientos en los sistemas de revestimiento. Esto es especialmente importante para los trenes de alta velocidad (300 km/h) y para la limpieza y eliminación periódica de pintadas. Aunque ya se dispone de materiales al agua, se siguen prefiriendo las capas finales de base disolvente por las razones anteriores y a veces están establecidos en las especificaciones.

#### **Protección de bajos**

Los bajos se revisten con una protección de bajos al agua mediante pulverización. Se aplica un grosor mínimo de 120 - 200  $\mu\text{m}$ .

## **9.3 Valores actuales de consumo y emisión en el revestimiento de trenes**

### **9.3.1 Balance de masa**

No hay datos disponibles.

### **9.3.2 Consumo**

#### **9.3.2.1 Materiales**

En la Tabla 9.2 se muestra el consumo de material para capas de pintura específicas. La entrada total de disolventes (de diluyentes, limpiadores y pinturas) de la instalación inspeccionada fue de 177,6 t en 1999. No se pudieron determinar datos para películas individuales de pintura.

Pintura / sustrato	Consumo (kg)
Capa base	200
Imprimador	35 – 40
Capa final:	
Techos	35
Ventanas	35
Pasamanería, decoración	5
Laterales bajo ventanas	15
Protección de bajos	150 – 200

**Tabla 9.2: Consumo de material por vagón**  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

### 9.3.2.2 Agua

No hay datos disponibles.

### 9.3.2.3 Energía

Debido al funcionamiento discontinuo de la instalación y a las diferentes geometrías de los vagones, no se ha podido especificar la demanda de energía por superficie revestida.

## 9.3.3 Emisiones

### 9.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

Sólo se deposita polvo de la niebla de pulverización y el granallado. Se consiguen valores de emisión menores de 3 mg/m<sup>3</sup>. Los COV procedentes de los procesos de revestimiento se emiten a la atmósfera como emisiones directas o fugitivas. En algunas instalaciones, pendientes de aprobación, ya se usan unidades de oxidación térmica para el tratamiento de gases residuales de los secadores. Se consiguen valores de emisión inferiores a 50 mg/m<sup>3</sup>.

Sin embargo, como las cabinas de pulverización son extremadamente grandes y los caudales de aire de extracción son de alrededor de 200 000 m<sup>3</sup>/h, se prefieren los sistemas de filtrado en seco.

Si se aplica un sistema de pintura estándar de base disolvente, sin limpieza de gases residuales, se emiten unos 326 g COV/m<sup>2</sup>. De la entrada total de disolventes de 187,6 toneladas en la planta inspeccionada, se emitieron 134,08 t y 53,52 se eliminaron como residuo (no se disponía de unidad de combustión térmica).

Con la implementación de las siguientes medidas, se logran valores de emisión inferiores a 110 g COV/m<sup>2</sup>:

- técnicas específicas de materiales:
  - aplicación de capas base, imprimadores y capas finales al agua,
  - sólo para lacados bicapa, aplicación de una capa transparente convencional,
  - imprimadores al agua y protección de bajos en combinación con materiales de capas gruesas,
  - imprimadores y rellenos al agua,
  - uso mínimo de masillas y uso de rellenos con bajo contenido de estireno,
  - procesamiento de materiales prerrevestidos (laminados) para construcción nueva de vehículos ferroviarios;
- técnicas específicas de procesos:

- reducción de las superficies pintadas, por ejemplo mediante el uso de láminas adhesivas para diseños decorativos o como protección contra pintadas,
- dispositivos de aplicación eficientes: pulverización HV sin aire y con aire sin aire en la pistola,
- reciclado de agentes de limpieza mediante destilación de los residuos de pintura y fangos de pintura con disolventes,
- uso de un aporte automatizado de coagulante para precipitación húmeda, con el objetivo de un mayor tiempo útil del agua.

### 9.3.3.2 Emisiones al agua

Se generan aguas residuales en la precipitación húmeda de la niebla de pulverización y la limpieza de los dispositivos de aplicación. No se dispone de información más detallada.

### 9.3.3.3 Residuos

Entre otras cosas, en la pintura de vehículos ferroviarios se generan los residuos siguientes:

- fangos de pintura,
- filtros de aire,
- agentes de limpieza,
- cinta adhesiva,
- residuos de pintura,
- contenedores de pintura,
- agentes de granallado.

## 9.4 Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de trenes

En el capítulo 20 se comentan técnicas que también podrían aplicarse en el revestimiento de trenes. En el apartado 20.7 se comentan técnicas relevantes para la aplicación de pintura, que también podrían aplicarse en el revestimiento de trenes. En la Tabla 9.3 se muestran las técnicas generales relevantes para el revestimiento de trenes que se describen en el capítulo 20 o el apartado 20.7. En general, estas técnicas no se repiten en este apartado a no ser que se disponga de información específica para esta industria. En Tabla 20.1 se presenta una descripción del tipo de información considerada para cada técnica.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 9.3: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector

### 9.4.1 Materiales convencionales de base disolvente

**Descripción:** Las pinturas convencionales de base disolvente son: rellenos (de base de poliuretano), imprimadores, capas finales y capas transparentes.

Normalmente, los disolventes presentes en los gases residuales de los secadores y cabinas de pulverización no se tratan. En algunos casos, los gases residuales de los secadores se tratan con oxidación térmica.

Se ha informado de un factor de emisión de COV en la aplicación de sistemas de base disolvente (sin controles de emisión) de 326 g/m<sup>2</sup>.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No se ha informado de ninguno.

**Efectos cruzados:** Mayores emisiones de COV que con otros sistemas de revestimiento.

**Información operativa:** Los tiempos de curado son más cortos que los necesarios en los sistemas al agua; en consecuencia, se pueden lograr velocidades de línea mayores en áreas más pequeñas, gracias a la menor longitud de los hornos. Los sistemas de base disolvente también pueden funcionar con intervalos de temperatura y humedad más amplios. No se necesitan equipos de acero inoxidable. Es habitual tratar los gases residuales que contengan disolventes.

**Aplicabilidad:** Las pinturas de base disolvente se pueden usar en todas las etapas de la operación de pintura (capa inferior, relleno, capa final de alto contenido en sólidos, capa base,



capa transparente y reparación), así como sobre metales y plásticos. Pueden utilizarse en talleres de pintura nuevos y existentes, en los que el espacio y los costes del uso de alternativas son prohibitivos y en los que sean técnicamente imposibles los cambios de material.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Las restricciones económicas y técnicas en los talleres de pintura existentes y en determinados talleres nuevos, hacen de los materiales de base disolvente una opción preferente en ciertas instalaciones. Unos objetivos de calidad cada vez mayores también favorecen el uso de materiales de base disolvente

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

## 9.4.2 Sustitución de materiales de base disolvente

### 9.4.2.1 Pinturas al agua

**Descripción:** Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.2.3. En el revestimiento de trenes se usan los siguientes sistemas de pinturas al agua:

- capa base: 3 - 5 % en peso de disolventes orgánicos, bicomponente, sin cromatos, basada en epoxi,
- relleno: 3 % en peso de disolventes orgánicos, bicomponente, basada en epoxi,
- capa final
- capa de protección de bajos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Las pinturas al agua no suelen aplicarse como capas finales. Sin embargo, Deutsche Bahn AG usa capas base, rellenos y capas finales al agua para tareas de mantenimiento.

Aunque se dispone de capas finales al agua (capa final monocapa y metálica) con las mismas propiedades, aún no son aceptadas por los clientes y, por tanto, sólo se aplican esporádicamente.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Deutsche Bahn AG, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 9.4.2.2 Pinturas de alto contenido en sólidos

**Descripción:** Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.2.2.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Las pinturas de alto contenido en sólidos sólo se aplican en los revestimientos superiores monocapa y tienen un contenido de disolventes del 45 % en peso.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

### 9.4.2.3 Materiales revestidos

**Descripción:** Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.2.8. Los materiales revestidos se pueden aplicar a piezas en sustitución de los procesos de pulverización.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción significativa de las emisiones de COV según las actividades de pulverización que se sustituyen al usar materiales revestidos.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Los materiales revestidos se usan cada vez más en la fabricación de trenes, vagones de mercancías y de pasajeros.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

## 9.4.3 Técnicas y equipos de aplicación de pintura

### 9.4.3.1 Pulverización convencional a alta y baja presión

Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.3.8. Esta técnica se utiliza habitualmente.

### 9.4.3.2 Pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP)

Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.3.9. Esta técnica se utiliza habitualmente.

### **9.4.3.3 Pulverización sin aire**

Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.3.11. Esta técnica se utiliza habitualmente.

### **9.4.3.4 Pulverización electrostática por aire comprimido, sin aire y asistida por aire**

Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.3.17. Esta técnica se utiliza habitualmente.

### **9.4.3.5 Cabinas de pulverización con separación húmeda**

Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.4.1.

## **9.4.4 Minimización del consumo de materias primas**

Se utilizan sistemas de mezcla automatizados, es decir, mezcla en línea de productos bicomponente. Para una descripción general, remítase al apartado 20.6.3.1.

## **9.4.5 Tratamiento de aguas residuales**

### **9.4.5.1 Ultrafiltración y nanofiltración**

Para una descripción general, remítase al apartado 20.12.6. Se utilizan tanto la ultrafiltración como la nanofiltración.

[13, DFIU e IFARE, 2002]

## **9.4.6 Tratamiento de gases residuales**

### **9.4.6.1 Separación de partículas por efecto Venturi**

Para una descripción general, remítase al apartado 12.4.5.1. Los equipos de efecto Venturi se usan para mejorar la eficiencia del equipo de absorción (véase el apartado 9.4.6.2). [13, DFIU e IFARE, 2002]

### **9.4.6.2 Lavador**

Para una descripción general, remítase al apartado 20.11.3.8. Se usa en cabinas de pulverización; véase el apartado 20.7.4.1. Aún así, no se dispone de información sobre cómo se tratan los gases residuales. Se ha informado de valores de emisión  $< 3 \text{ mg/m}^3$  de polvo procedente de las cabinas pulverizadoras. [13, DFIU e IFARE, 2002]

### **9.4.6.3 Sistemas de filtrado en seco**

Para una descripción general, remítase al apartado 20.11.3.6. Se ha informado de valores de emisión  $< 3 \text{ mg/m}^3$  de polvo procedente de las cabinas pulverizadoras. [13, DFIU e IFARE, 2002]

#### **9.4.6.4 Electrofiltro**

Para una descripción general, remítase al apartado 20.11.3.7. Se ha informado de valores de emisión  $< 3 \text{ mg/m}^3$  de polvo procedente de las cabinas pulverizadoras. [13, DFIU e IFARE, 2002]

#### **9.4.6.5 Oxidación térmica**

Para una descripción general, remítase al apartado 20.11.4.2. En algunas instalaciones, se usan unidades de oxidación térmica para tratar los gases residuales de los secadores. Sin embargo, los secadores sólo emiten el 20 % de la entrada total de disolventes; el 80 % restante se emite en forma de emisiones fugitivas o de residuos. El gas residual de las cabinas de pulverización no se trata. [13, DFIU e IFARE, 2002]

## 10 REVESTIMIENTO DE EQUIPOS AGRÍCOLAS Y DE CONSTRUCCIÓN

[13, DFIU e IFARE, 2002] [87, ISACOAT, 2004] [128, TWG, 2005]

### 10.1 Información general sobre el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción

La maquinaria fabricada en esta industria son vehículos (p. ej. tractores, excavadoras, etc.) o equipos para propósitos específicos, que pueden ser móviles o no (como tamices o cedazos). Para englobar todo el rango de actividades, aquí se usa el término *equipo agrícola y de construcción*. La mayoría de empresas fabrican sus aparatos durante todo el año y los venden especialmente en primavera. A causa de las fuertes fluctuaciones estacionales del sector, las máquinas se dejan a la intemperie, con el impacto de la radiación ultravioleta, lluvia y atmósfera marina a veces casi durante un año, entre la fabricación y la venta; en consecuencia, la conservación del brillo y el color, la adhesión y la protección frente a la corrosión son aspectos críticos. No obstante, el problema principal es la prevención de la corrosión. Durante el uso, el revestimiento ha de soportar intensos esfuerzos mecánicos y químicos. La corrosión química se produce a causa de líquidos agresivos procedentes de los materiales manipulados (como patatas o purines) y de la humedad. La vida útil del revestimiento no suele durar tanto como el vehículo. Las cualidades ópticas de la superficie son menos importantes que en el caso de los turismos.

Las grandes empresas fabrican habitualmente máquinas sin conductor. A causa de las exigencias tecnológicas y ópticas relativamente altas, los procesos de pretratamiento y revestimiento son bastante sofisticados. El consumo de pintura es superior a 50 toneladas anuales, y está asociado a un consumo de disolventes de entre 5 y 50 toneladas anuales.

### 10.2 Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción

Problemas comunes a todos los tipos de revestimiento de maquinaria agrícola y de otro tipo:

- objetos tridimensionales grandes y complejos;
- láminas metálicas relativamente gruesas procesadas mediante corte por láser, soldadura, etc.;
- necesidad de pretratamiento debido a bordes bastos, restos, óxido y aceite en las superficies metálicas;
- múltiples sustratos (acero, fundición, madera, termoplásticos, duroplásticos, plásticos reforzados con fibra, piezas premontadas);
- es posible la aplicación neumática, con mezcla de aire y sin aire, la aplicación electrostática, por inmersión y el electrorrevestimiento;
- limitadas condiciones de horneado debido a bloques o piezas premontadas termosensibles;
- un color liso superior principal (típico de la marca) y unos pocos colores adicionales (diseño);
- sistema de capa simple o dual (imprimador más capa final sobre superficies externas visibles, o capa final monocapa);
- alta calidad del acabado por lo que respecta a la protección frente a corrosión (bordes), conservación de brillo y color, resistencia química, adhesión, etc.

Los procesos habituales en Europa central para las grandes máquinas sin conductor (cosechadoras combinadas, sembradoras/cosechadoras de patatas) incluyen el electrorrevestimiento (capa única anódica o imprimador catódico) y aplicación de capa final sobre el imprimador (capa de base disolvente y alto contenido en sólidos bicomponente, pulverizado sobre zonas parciales, o bien capa final al agua, aplicada por inmersión). Sin

embargo las tecnologías tradicionales siguen siendo muy usadas, especialmente para máquinas más pequeñas.

Los imprimadores y las capas finales monocapa deben llegar a todas las partes de las máquinas. Debido a la estructura compleja de los objetos, la opción preferida es la inmersión de los componentes antes del montaje, proceso que puede ser automatizado. Si no se dispone de instalaciones porque la baja capacidad no justifica la inversión, la aplicación por pulverización es factible, aun con algunos inconvenientes por lo que respecta a la calidad. Para llegar a las superficies internas de las máquinas, se prefiere una aplicación por mezcla de aire; para las superficies externas es factible, y ampliamente usada, la aplicación electrostática.

### **Tecnologías tradicionales**

Imprimadores: de base de butirato de polivinilo (PVB) o alquidos endurecidos con ácido (ácido fosfórico) para operaciones de pulverización; o inmersión con materiales al agua (disolventes orgánicos o hidrocarburos clorados, de base de resinas alquílicas).

Capas finales monocapa: se usa ampliamente la inmersión en sustancias de base disolvente; aún se usan los revestimientos alquílicos con disolventes orgánicos, incluso con hidrocarburos clorados.

Capa final: tradicionalmente con poliéster o alquidos de base disolvente.

### **Nuevas tecnologías**

Imprimador: bicomponente de base de epoxis, de base disolvente o al agua, para pulverización; o revestimientos al agua para procesos convencionales y electrorrevestimiento; las resinas son básicamente polibutadieno (electrorrevestimiento anódico) o resinas epóxicas.

Capa final monocapa: se dispone de revestimientos al agua para procesos convencionales y electrorrevestimiento; las resinas son básicamente acrílicas debido a la exigencia de estabilidad frente a la radiación UV.

Capas finales: poliéster o acrilatos endurecidos con isocianato (medio contenido en sólidos, alto contenido en sólidos o al agua) o un componente acrílico (al agua, alta temperatura de secado), para pulverización; o bien revestimientos de poliéster o acrílicos (al agua) para inmersión convencional. El revestimiento en polvo se ha usado con éxito.

Normalmente, sólo hay un color de imprimador y un máximo de cuatro colores para capas finales líquidas. Así, para imprimadores epóxicos y para capas finales endurecidas con isocianato, las mezcladores bicomponente son factibles técnica y económicamente.

## **10.3 Valores actuales de consumo y emisión en el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción**

### **10.3.1 Balance de masa**

No hay datos disponibles.

### **10.3.2 Consumo**

#### **10.3.2.1 Materiales**

No hay datos disponibles.

### 10.3.2.2 Agua

No hay datos disponibles.

### 10.3.2.3 Energía

No hay datos disponibles.

## 10.3.3 Emisiones

Esta industria se clasifica como «otros revestimientos» en la DED [123, EC, 1999] (véase el anexo 24.6).

### 10.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

Los gases residuales de las cabinas de pintura y los secadores se tratan mediante postcombustión; se pueden lograr concentraciones inferiores a 20 mg C/m<sup>3</sup> en el gas limpio. Por lo tanto, las emisiones de COV resultan básicamente de fuentes difusas, como zonas de evaporación situadas delante de los secadores.

### 10.3.3.2 Emisiones al agua

Los tanques de aclarado usados para el pretratamiento de las piezas de trabajo generan aguas residuales. En una instalación, se genera alrededor de 18 - 20 m<sup>3</sup> diarios de aguas residuales. Esta cantidad puede reducirse a la mitad mediante el uso de la técnica en cascada. Gracias a la unidad de ultrafiltración, la instalación de revestimiento por inmersión no genera aguas residuales.

### 10.3.3.3 Residuos

Para el reciclaje del material de revestimiento por inmersión, procedente de los tanques de aclarado posteriores, se puede usar la ultrafiltración. La cantidad de contenedores de residuos de pintura puede reducirse usando contenedores retornables para capas finales estándar.

## 10.4 Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción

En el capítulo 20 se comentan técnicas que también podrían aplicarse en el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción. En el apartado 20.7 se comentan técnicas relevantes para la aplicación de pintura, que también podrían aplicarse en el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción. En la Tabla 10.1 se muestran las técnicas generales relevantes para el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción que se describen en el capítulo 20 o el apartado 20.7. En general, estas técnicas no se repiten en este apartado a no ser que se disponga de información específica para esta industria. En Tabla 20.1 se presenta una descripción del tipo de información considerada para cada técnica.



Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 10.1: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector

#### 10.4.1 Materiales convencionales de base disolvente

**Descripción:** Los revestimientos convencionales de base disolvente para pulverización pueden ser alquidos endurecidos con ácido, poliéster, PVB, capas finales monocapa o bicapa (50 % de disolventes orgánicos). Para la inmersión aún se usan hidrocarburos clorados, así como disolventes no clorados con resinas alquídicas. Véase el apartado 20.7.2.1.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Los hidrocarburos clorados con las frases de riesgos R45, R46, R49, R60 y R61 son nocivos para la salud humana. Los que tienen la frase de riesgo R59 son sustancias perjudiciales para la capa de ozono.

**Información operativa:** La inmersión aún es un proceso usado habitualmente. La pulverización manual con pistolas HVLP electrostáticas consigue un grosor de capa de unos 25 µm. La niebla de pulverización se deposita en seco. El secado se realiza en un secador convencional en que los gases se tratan en una unidad de postcombustión.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** Los costes de los materiales de revestimiento tradicionales (revestimientos clorados por inmersión, revestimientos de base de PVB) solían ser extremadamente bajos en términos de kilogramos o litros, en comparación con las alternativas como imprimadores epóxicos o el electrorrevestimiento. Sin embargo, se puede demostrar que

en términos de coste por metro cuadrado o por objeto revestido, el coste total del proceso con las nuevas tecnologías es bastante competitivo (incluyendo el consumo de material, los costes de capital y la depreciación, la mano de obra, la energía y otros costes de procesamiento). Esto es especialmente cierto si se puede conseguir un uso adecuado de la capacidad instalada.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002, 76, TWG, 2004] [87, ISACOAT, 2004] [128, TWG, 2005]

## 10.4.2 Sustitución y reducción de materiales de base disolvente

### 10.4.2.1 Sistemas de pintura al agua

**Descripción:** Para una descripción general, remítase al apartado 20.7.2.3. Los sistemas de pintura al agua se usan para:

- electrorrevestimiento: 2 – 6 % en peso de disolvente,
- capa final monocapa: 11 % en peso de disolvente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Los sistemas de pintura al agua se usan habitualmente en el electrorrevestimiento y en capas finales monocapa.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 10.4.2.2 Revestimiento en polvo

**Descripción:** Véase el apartado 20.7.2.6. Un fabricante ha sustituido el proceso de revestimiento superior convencional con un revestimiento de base disolvente de aplicación en polvo. Utiliza un nuevo e innovador sistema de baño y aclarado por agua con limpieza acuosa antes del tratamiento superficial posterior. Tras el pretratamiento, las piezas de trabajo se revisten en primer lugar con una capa al agua por inmersión y, a continuación, con la capa final en polvo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menores emisiones de COV, así como un menor consumo de disolventes y de energía. La Tabla 10.2 muestra datos de consumo de energía y disolventes en dos instalaciones, una nueva y la otra vieja.

	Instalación vieja	Instalación nueva
Consumo de disolventes	41 g/m <sup>2</sup>	13,6 g/m <sup>3</sup>
Energía total	49,97 MWh/a	27,73 MWh/a
Energía específica para el secado	6,84 kWh/m <sup>2</sup>	5,48 kWh/m <sup>2</sup>

Tabla 10.2: Datos de consumo de energía y disolventes en dos instalaciones, una nueva y otra vieja

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** La superficie se reviste antes del montaje del vehículo. Los gases residuales de la capa de imprimación por inmersión catódica precedente y de los secadores tras la imprimación y la capa en polvo, se hacen pasar por una unidad de oxidación térmica regenerativa. Se consiguen valores de emisión inferiores a 20 mg C/m<sup>3</sup>.

**Aplicabilidad:** Aplicable en instalaciones nuevas.

**Aspectos económicos:** La inversión de capital para una nueva instalación de revestimiento en polvo es de 1,35 millones de EUR. El proceso funciona muy económicamente.

**Motivo principal para su aplicación:** Directiva IPPC, Directiva de emisiones de disolventes 1999/13/EG.

**Ejemplos de instalaciones:** CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [104, UBA - DE, 2004]

### 10.4.2.3 Materiales revestidos

Véase el apartado 20.7.2.8. Algunos fabricantes usan el electrorrevestimiento y la aplicación de capa final antes del montaje; en este caso los materiales revestidos pueden ser una opción a tener en cuenta. [13, DFIU e IFARE, 2002]

## 10.4.3 Técnicas y equipos de aplicación de pintura

La pulverización de los equipos agrícolas y de construcción se realiza manualmente, por inmersión y con técnicas de pulverización neumática convencional y HVLP electrostática; véanse los apartados 20.7.3.8 y 20.7.3.9, respectivamente. No obstante, no se dispone de información adicional sobre cuáles de las siguientes técnicas de pulverización se aplican:

- procesos de pulverización con atomización electrostática, véase el apartado 20.7.3.14;
- conos electrostáticos de alta velocidad de rotación, véase el apartado 20.7.3.15;
- pulverización asistida por aire, sin aire y con aire comprimido electrostática, véase el apartado 20.7.3.17;
- procesamiento de revestimientos en polvo – pulverización electrostática, véase el apartado 20.7.3.18;
- cabinas de pulverización con separación húmeda, véase el apartado 20.7.4.1;
- técnicas de emulsión acuosa en cabinas de pulverización, véase el apartado 20.7.4.3.

### 10.4.3.1 Inmersión convencional

**Descripción:** Véase el apartado 20.7.3.3. La inmersión se usa en la aplicación de capas finales monocapa. Se logran habitualmente capas de 85 µm.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** En comparación con la pulverización, se logran grosores de revestimiento mayores, lo que puede resultar en un mayor consumo de materia prima, incluso si la eficiencia es baja a causa de la aplicación por pulverización. Con la inmersión se logran habitualmente grosores de 85  $\mu\text{m}$ , mientras que se consiguen grosores de 50  $\mu\text{m}$  con pulverización (HVLP).

**Información operativa:** Algunos fabricantes aplican capas finales (y electrorrevestimiento) sobre las piezas de fabricación antes del montaje. Además de otras ventajas, se pueden utilizar procesos más automatizados. Sin embargo, el revestimiento por inmersión necesita una determinada producción mínima (en superficie revestida) respecto al volumen del tanque para evitar duraciones superiores al año para la renovación completa del contenido del tanque.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002, 87, ISACOAT, 2004]

#### 10.4.3.2 Electrorrevestimiento

**Descripción:** Véase el apartado 20.7.3.4. Todos los electrorrevestimientos usados son al agua; su contenido de disolventes orgánicos suele ser del 2 – 6 % en peso y no contienen plomo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se puede lograr una eficiencia del 98 % aproximadamente.

**Efectos cruzados:** En el revestimiento de equipos agrícolas y de construcción se ha hallado que la demanda de energía para el fosfatado y la aplicación de una capa base por inmersión era significativamente mayor que en el caso de pretratamiento y aplicación de pintura convencionales. En consecuencia, las emisiones de CO<sub>2</sub> son también superiores.

**Información operativa:** Algunos fabricantes aplican revestimiento por inmersión (y capas finales) sobre las piezas de fabricación antes del montaje. Además de otras ventajas, se pueden utilizar procesos más automatizados.

**Aplicabilidad:** Actualmente, el electrorrevestimiento se usa ampliamente en la aplicación de electrorrevestimientos.

**Aspectos económicos:** El electrorrevestimiento implica unos grandes costes de inversión y de material. Se pueden conseguir ahorros con la puesta en marcha de procesos automatizados.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 10.4.3.3 Pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP)

**Descripción:** Véase el apartado 20.7.3.9. La sustitución del revestimiento por inmersión por la aplicación mediante pulverización en capas finales muestra que pueden reducirse los tiempos de ciclo, lo que también reduce los costes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** El uso de pistolas pulverizadoras HVLP sigue siendo muy limitado. Se esperan eficiencias de aplicación superiores al 50 %.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 10.4.4 Formación

**Descripción:** Los nuevos sistemas de revestimiento (como los sistemas al agua o de alto contenido en sólidos) necesitan una adaptación de las formas de aplicación, ya que en caso contrario los recubrimientos se aplican formando capas demasiado gruesas. En general, los nuevos materiales de revestimiento a menudo muestran ventanas de aplicación restringidas, por lo que deben mejorarse las instalaciones técnicas y las habilidades de los operarios.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [87, ISACOAT, 2004]

### 10.4.5 Pintura por lotes / agrupación de colores

Esta técnica se aplica habitualmente ya que el número de colores aplicados suele ser limitado, véase el apartado 20.6.3.6.

#### **10.4.6 Tratamiento de gases residuales**

Se aplican habitualmente las siguientes técnicas:

- se extraen, convierten o destruyen los disolventes presentes en los gases residuales de los secadores (véase el apartado 20.11.2.5), según la producción de la instalación y los valores de emisión;
- sistemas de filtrado en seco, véase el apartado 20.11.3.6; se aplica eliminación en seco de partículas de pintura;
- electrofiltro, véase el apartado 20.11.3.7; se aplica eliminación en seco de partículas de pintura.

#### **10.4.7 Tratamiento de aguas residuales**

Se aplican habitualmente las siguientes técnicas:

- la ultrafiltración y la nanofiltración se aplica habitualmente para los baños de electrorrevestimiento por inmersión, véase el apartado 20.12.6;
- aclarado en cascada, véase el apartado 20.7.5.1;
- uso de intercambiador iónico, véase el apartado 20.7.5.2.





## 11 REVESTIMIENTO DE BUQUES Y YATES

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 11.1 Información general sobre revestimiento de buques y yates

Los buques se construyen en gran parte con acero para la construcción naval, mientras que los yates se construyen con acero para la construcción naval, aluminio y plásticos reforzados con fibras (PRF). Si no están protegidos, estos materiales se corroen o se deterioran y, por ello, deben conservarse mediante sistemas de protección contra la corrosión. En el caso de la construcción de buques, los costes requeridos ascienden a un 3-7 % de los costes totales de la construcción. La protección contra la corrosión aumenta la seguridad del buque durante la travesía, mantiene el valor del buque y reduce los costes de mantenimiento. Diferentes partes del buque, como p. ej. el casco (por encima y por debajo del agua), las cubiertas exteriores, las bodegas y los depósitos, están expuestas a un nivel variable de corrosión, de manera que se aplican diferentes sistemas anticorrosivos. También es importante la prevención de incrustaciones mediante la aplicación de antiincrustantes. La resistencia a la acción mecánica en las zonas de superficie y las cubiertas, así como la calidad visual en áreas diversas, son también factores clave para las características de los revestimientos.

Los requisitos para el revestimiento de los buques y el de los yates son diferentes. Los aspectos clave de la pintura de los buques mercantes son la adhesión, la protección contra la corrosión y la prevención de incrustaciones. Para el revestimiento de los yates, la apariencia también tiene un papel importante y, por tanto, el revestimiento de los buques mercantes y el de los yates se describen por separado. Debido a las diferencias de construcción, revestimiento y procesos de pretratamiento, el pintado de los buques nuevos y la reparación y el mantenimiento también se consideran por separado. No se ha presentado información alguna sobre la pintura de los buques de guerra.

En el 2004, los astilleros europeos construyeron 360 buques, una cifra que representa más de 4 millones de tonelaje bruto compensado (TBC), un 17 % del mercado mundial en volumen, con un valor de más de 10 000 millones EUR (alrededor del 30 % del volumen de negocios mundial). Del volumen total en TBC, el 26 % correspondía a buques portacontenedores, el 24 % a buques de pasajeros y el 12 % a buques para el transporte de productos y sustancias químicas. Las actividades de reparación de buques en Europa facturaron un total de 1900 millones EUR en el 2004.

El sector europeo de las embarcaciones recreativas comprende 37 200 empresas con al menos 272 000 empleados directos y genera unos ingresos de 23 400 millones de EUR en la región. La construcción y la reparación de yates cubren un rango que va desde los artesanos hasta los grandes fabricantes, en lo que se refiere a volumen de producción o tamaño de los yates, y aproximadamente un 98 % de estas empresas son PYMES. La cifra incluye también a los fabricantes de motores navales, los fabricantes de pinturas para buques y yates, las compañías de alta tecnología electrónica y los fabricantes de equipos.

### 11.2 Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de buques y yates

Los sistemas de revestimiento están formados por una o más capas de revestimiento de base disolvente, con bajo contenido de disolventes o sin disolventes. Las bases de los aglomerantes son, mayoritariamente, las resinas epóxicas (normalmente bicomponente), el poliuretano, los acrilatos, las resinas alquídicas y el caucho clorado. El grosor total de la capa oscila entre 200 y 1000 µm. Una capa más gruesa de revestimientos especiales de acabado y protección se aplica normalmente a las rampas y áreas de trabajo. Los materiales de revestimiento se aplican normalmente mediante procesos de pulverización sin aire, los cuales permiten el procesamiento

de productos sin disolventes o con bajo contenido de éstos. La aplicación con rodillo y brocha se utiliza generalmente en el revestimiento de yates y los rodillos se usan en el revestimiento de los buques de pasajeros antes de la entrega. Los rodillos no se emplean extensamente en otras partes del sector (a excepción de pequeñas áreas).

En la construcción de buques y yates, así como en la reparación y el mantenimiento de los yates, el astillero y el cliente acuerdan generalmente la preparación y los revestimientos. En las especificaciones se tendrán en cuenta los requisitos de protección física y contra la corrosión, la apariencia y los antiincrustantes, y también los requisitos de garantía. En la reparación y mantenimiento de yates, el cliente tiene más influencia a la hora de escoger los revestimientos y puede comprarlos directamente.

### 11.2.1 Nueva construcción

El revestimiento de buques lo llevan a cabo principalmente los contratistas especializados en protección contra la corrosión en la construcción naval. En la construcción naval moderna, las planchas metálicas se utilizan para formar secciones o bloques. Éstas son grandes piezas de ensamblaje que se unen en un dique de construcción o en las gradas (los buques se habían construido previamente en el dique empezando por la quilla). Después del pretratamiento de la superficie, las piezas se recubren con un sistema de revestimiento según los requisitos. Los diversos revestimientos de las secciones tienen lugar en el exterior, en grandes salas para la construcción de los buques (normalmente un dique seco cubierto o unas gradas cubiertas) o en talleres de limpieza abrasiva y revestimiento especialmente equipados. Las áreas que se dejan sin revestimiento para ser soldadas se acaban sobre el casco completo, en la grada de construcción o en el dique. En los astilleros más pequeños, al casco se le aplica el revestimiento completo una vez ha sido montado sobre la grada de construcción o en el dique.

La protección contra la corrosión empieza con el pretratamiento primario de la superficie conforme a los requisitos estándar sobre los niveles de preparación. Mediante la limpieza abrasiva en instalaciones automáticas, todas las planchas y las secciones de acero utilizadas en la construcción del buque se limpian para eliminar completamente la escoria de laminación, el óxido y otras impurezas. Esto da a la superficie del acero una aspereza específica que garantiza una buena adhesión del revestimiento. A continuación, se pulveriza una imprimación de taller (de base disolvente o al agua) que protege el acero hasta que se aplique un nuevo revestimiento. El proveedor trata a menudo las planchas y las secciones de acero con una imprimación de taller. El tratamiento de la superficie de las secciones de plancha de acero ensambladas, o de la totalidad del casco, se lleva a cabo mediante limpieza abrasiva parcial con un agente seco o húmedo, o mediante rectificación con bisel. Esto elimina la corrosión en las juntas de soldadura y también las impurezas, además de conseguir que la superficie sea más áspera. En los astilleros grandes, las secciones se tratan en talleres especiales para la limpieza abrasiva y el revestimiento.

En las áreas cerradas se utilizan sistemas de ventilación y también puede haber eliminación de polvo y de COV. Las partículas del decapado abrasivo pueden recogerse y tratarse para ser reutilizadas o recicladas.

Del revestimiento de los yates se encarga un equipo de especialistas dentro del astillero o bien unos especialistas contratados que pueden conseguir la calidad de acabado requerida para los yates. Las imprimaciones de taller al agua se usan cada vez más tanto en los yates de acero como en los de aluminio.

### 11.2.2 Reparación y mantenimiento de buques

La reparación y el mantenimiento (incluido el pintado) del casco se lleva a cabo durante la entrada en dique seco, ya sea en diques de carena (hormigón) o diques flotantes (acero).

Dependiendo de las condiciones de la superficie, se limpian las áreas dañadas y se les vuelve a aplicar un revestimiento o se elimina completamente la pintura del casco para volver a ser pintado. La limpieza de las áreas que deben tratarse puede hacerse mediante decapado húmedo o con chorros de agua dulce a alta presión.

Los propietarios de los buques especifican las pinturas. Los grandes astilleros de yates pueden tratar tres o cuatro embarcaciones simultáneamente, con pinturas especificadas por diferentes proveedores.

### 11.2.3 Revestimiento de buques

Normalmente, en el caso de la construcción y el mantenimiento de buques nuevos, la preparación y la aplicación de los revestimientos se llevan a cabo en áreas al aire libre.

#### Protección contra la corrosión del casco

El revestimiento se lleva a cabo según la duración de los antiincrustantes, la protección requerida contra la corrosión y el color requerido. Se desengrasa la zona que debe ser pintada y se aplican las capas de resina alquídica, poliuretano o resina acrílica. En las áreas críticas, como en la totalidad del área exterior, las bodegas y los depósitos de agua, se usan generalmente revestimientos de una o múltiples capas de resinas epóxicas (bicomponente). Los revestimientos de caucho clorado se usan raramente, ya que los disolventes clorados utilizados están regulados por la normativa de la UE. Los revestimientos cumplen requisitos visuales, como el color y el brillo, así como la resistencia a la acción mecánica y de la corrosión. Los materiales de revestimiento se suministran generalmente en cubos de 20 litros, aunque para las aplicaciones a gran escala se pueden utilizar recipientes reutilizables de 1.000 litros, según el CIQ («Código internacional de la OMI para la construcción y equipamiento de buques que transporten productos químicos peligrosos a granel»).

#### Capa de refuerzo (casco)

Como capa de refuerzo (agente de acoplamiento) entre la pintura anticorrosiva y la capa final de pintura antiincrustante, se aplica una capa de resina vinílica o epóxica de uno o dos componentes, de base disolvente. Algunos sistemas de pintura no necesitan ningún agente de acoplamiento si la aplicación de la pintura antiincrustante se realiza durante las 36 horas siguientes a la aplicación del material anticorrosivo, aunque esta técnica de húmedo sobre húmedo (*wet on wet*) se utiliza raramente. El agente de acoplamiento también se aplica mediante la pulverización sin aire. El grosor de la capa es de aproximadamente 75-100 µm.

#### Antiincrustante (casco)

[128, TWG, 2005] [175, Kiil, et al., 2006/07]

Las pinturas antiincrustantes se aplican para evitar que los organismos incrustantes (bacterias, algas y animales) se establezcan y crezcan en los cascos de los buques. La formación de dichas incrustaciones incrementa la aspereza de la superficie e incrementa la resistencia por fricción, lo que comporta un mayor consumo de combustible para mantener la misma velocidad o una velocidad menor manteniendo el mismo consumo. En seis meses pueden establecerse hasta 150 kg de organismos en una superficie de 1 m<sup>2</sup>. El aumento de la resistencia por fricción puede aumentar el consumo de combustible en un 40 %. Esto resultará en un coste mayor de los tanques de combustible o de los gastos debidos a las ganancias perdidas o a los retrasos. Las incrustaciones en el casco también reducen la maniobrabilidad del buque y aumentan la posibilidad de que se produzca una corrosión prematura. Además, con la aplicación de la pintura antiincrustante también se reduce el potencial de transmigración de los organismos incrustantes.

Los revestimientos antiincrustantes más utilizados en la actualidad contienen biocidas orgánicos e inorgánicos incorporados a un sistema aglutinante. La pintura libera los biocidas de manera controlada, creando en toda la superficie del casco una microcapa con una concentración suficiente para evitar el establecimiento de organismos. Hasta el 2003, la mayoría de pinturas

antiincrustantes usaban compuestos organoestánicos como biocidas incorporados al sistema aglutinante de autopulimento. Debido a una mayor preocupación por los informes sobre los efectos perjudiciales para el entorno marino (p. ej. en ciertos caracoles marinos y ostras), la Organización Marítima Internacional (OMI), un organismo de las Naciones Unidas, incluyó el tributilestaño (TBT) en el programa de trabajo durante la década de 1990. En octubre de 2001, la OMI adoptó la «Convención internacional para el control de los sistemas antiincrustantes perjudiciales en los buques», prohibiendo la aplicación de pinturas de base TBT en los buques a partir de enero de 2003. A partir de enero de 2008 está prohibido el uso de pinturas de base TBT activo, lo que significa que, para esa fecha, tales pinturas tendrán que haber sido aisladas o eliminadas del casco del buque. En la UE, esta prohibición entró en vigor mediante una modificación a la Directiva de Marketing y Uso, según la cual se prohibía la pintura a base de estaño en los astilleros de la UE a partir del 1 de enero de 2003. Posteriormente se implementó un Reglamento de la UE que, en principio, aplica la Convención de la OMI en todos los países de la UE a partir del 1 de julio de 2003. En la actualidad, los principales fabricantes de pinturas antiincrustantes han eliminado progresivamente de sus catálogos de productos las pinturas que contenían TBT.

Los biocidas orgánicos usados en las actuales pinturas antiincrustantes que cumplen la normativa de la OMI (1-10 % en peso) se degradan rápidamente una vez han sido liberados de la superficie de pintura. Casi todas las pinturas antiincrustantes contienen hasta un 50 % de cobre (en peso) como principal biocida. El cobre es un metal no biodegradable, pero la mayor parte del cobre disuelto forma complejos con la materia orgánica y las partículas presentes en el agua, disminuyendo así, o incluso desapareciendo por completo, el cobre disponible para los organismos. La sedimentación elimina los complejos de cobre depositándolos en la capa de sedimentos, estrechamente ligados a materia orgánica y compuestos inorgánicos.

El revestimiento antiincrustante del casco del buque se renueva en dique seco cada 2-5 años, dependiendo del tipo de revestimiento y del tiempo que el buque lleva en servicio. Los restos de la pintura desgastada se eliminan normalmente mediante decapado (en algunos casos puede hacerse un pulimento o cepillado) y se repara la pintura anticorrosiva. A continuación se recubre todo el casco con una pintura antiincrustante de base disolvente aplicada mediante pulverización sin aire, en una película seca de 150-500  $\mu\text{m}$  de grosor por capa, según los requisitos. Una parte de la niebla de pulverización se emite al medio ambiente con el viento, la escorrentía de la lluvia o mediante inundación del dique seco, o bien se recoge, dependiendo de las medidas de control en vigor.

El espesor de la película seca formada por el conjunto de pinturas del casco, incluyendo el revestimiento anticorrosivo, la capa de refuerzo y la pintura antiincrustante, es de aproximadamente 500-1000  $\mu\text{m}$  (0,5-1 mm).

### **Revestimiento de la superestructura y del franco bordo**

Puede pulverizarse una primera capa de poliuretano, de base disolvente y dos componentes, sobre la capa de imprimación; pero también hay muchos otros sistemas disponibles. Generalmente se aplican dos capas de 60  $\mu\text{m}$  cada una. A continuación se aplican dos capas de un material de poliuretano, de base disolvente y dos componentes, encima de la primera capa. Cada una tiene un grosor de 40  $\mu\text{m}$ . El grosor total de las capas de pintura es de 250-300  $\mu\text{m}$  en el caso de la superestructura. Como alternativa puede usarse un sistema de dos capas formado por una resina epóxica (170  $\mu\text{m}$ ) y una capa protectora a base de poliuretano flexible de alto contenido en sólidos (80  $\mu\text{m}$ ).

### **11.2.4 Reparación y mantenimiento del revestimiento de yates**

Los yates son embarcaciones recreativas de hasta 180 m de eslora, aunque recientemente se han proyectado modelos de 190 y 200 m. Los yates se pintan parcialmente antes de su ensamblaje. El sistema de revestimiento aplicado varía dependiendo de las peticiones de los clientes, por lo que sólo se describe una opción en los párrafos siguientes.

Los yates están hechos con acero para la construcción naval y aluminio, aunque la mayoría de yates (los más pequeños) se construyen con plásticos reforzados con fibras (PRF). Algunas partes del yate o únicamente la superestructura pueden estar hechas de aluminio. El lijado tiene lugar entre la aplicación de las capas de pintura. Dependiendo del material, el pretratamiento y la aplicación de la imprimación son diferentes. Está aumentando el uso de materiales al agua para el revestimiento de yates.

Aunque generalmente se usa la pulverización sin aire, todavía se utilizan los rodillos y las brochas, dependiendo de la calidad requerida.

#### **Pretratamiento e imprimación del acero para la construcción naval**

Primeramente, el casco y la superestructura se tratan mediante limpieza con chorro de arena y luego se aplica un relleno de fosfato de zinc o bien una imprimación de taller sin cromo ni zinc para obtener el perfil correcto y un acabado liso (p. ej. para cubrir las asperezas de las soldaduras). Ambos materiales son resinas epóxicas de base disolvente. El grosor de la capa varía entre 40 y 60  $\mu\text{m}$ .

#### **Pretratamiento e imprimación del aluminio**

Para el desengrase y la eliminación de las capas oxidadas, las superficies de aluminio se tratan con agentes limpiadores. Después se aplica una imprimación epóxica bicomponente o bien una imprimación de PVC monocomponente. De manera parecida al revestimiento de los buques, se pulveriza la pintura anticorrosiva sobre la capa de imprimación. Este material epóxico a disolvente se aplica mediante la técnica sin aire, de dos a cuatro capas de aproximadamente 120  $\mu\text{m}$  de espesor cada una. Normalmente, el antiincrustante se aplica directamente a la capa epóxica. Si se usa una capa de refuerzo, se trata de una pintura vinílica de un componente, de base disolvente, que se aplica mediante pulverización sin aire. El grosor de la capa es de unas 40  $\mu\text{m}$ .

Posteriormente se aplican dos capas de un material antiincrustante de base disolvente mediante pulverización sin aire o con rodillo. El grosor de cada una de las capas del revestimiento antiincrustante es de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ . Normalmente se usan unos revestimientos antiincrustantes autopulidores de base de cobre. Pero también pueden contener otros biocidas.

#### **Revestimiento de la superestructura**

Como el casco, la superestructura esta compuesta de acero para la construcción naval o aluminio, y se recubre con dos capas de un material anticorrosivo de base disolvente (una pintura epóxica de uno o dos componentes o de poliuretano). Se aplica usando la técnica de pulverización sin aire. El grosor de la capa es de unas 120  $\mu\text{m}$ .

Cuando la pintura anticorrosiva se ha secado, se aplican los materiales de relleno sobre el aluminio y el acero de la superestructura para obtener el perfil correcto y un acabado liso (p. ej. para cubrir las asperezas de las soldaduras). Estos materiales se aplican usando paletas, tablones largos, bastones y espátulas. Puede que no contengan disolventes o pueden contener aproximadamente 80 g/l de alcohol bencílico. El lijado tiene lugar entre estos procesos.

Después del rellenado se aplica una carga de poliuretano, de dos componentes y de base disolvente, o un relleno epóxico de base disolvente, mediante técnicas de pulverización sin aire. El grosor de la capa aplicada oscila entre 50 y 100  $\mu\text{m}$ . Sobre el relleno se aplica una imprimación o primera capa preparatoria.

El yate se prueba en el mar cuando la capa apropiada se ha secado; ésta puede ser, o no, la capa de imprimación. Tras las pruebas, el yate se limpia con agua dulce, se trata con arena y después se aplica la capa final.

La capa de acabado y protección se aplica usando una técnica de pulverización de húmedo sobre húmedo, dándose dos o tres manos. Los materiales usados son, generalmente, una combinación

de lacas de poliuretano, de dos componentes y de base disolvente. El grosor total de estas capas es de aproximadamente 100 µm.

En varios Estados miembros donde se reparan o mantienen los yates, la eliminación del antiincrustante se realiza mediante técnicas que permiten su recogida y tratamiento para evitar la contaminación del agua.

### **11.3 Niveles actuales de consumo y emisión en el revestimiento de buques y yates**

#### **11.3.1 Balance de masa**

No hay datos disponibles.

#### **11.3.2 Consumos**

##### **11.3.2.1 Materiales**

[128, TWG, 2005]

Para el revestimiento de buques se aplican pinturas de base disolvente. Dependiendo del material utilizado, el contenido de disolvente oscila entre el 20 y el 40 % (en peso). Debido a las condiciones de procesamiento (humedad, temperatura, corriente de aire, etc.) y a las características de la superficie, las pinturas al agua tienen una área de aplicación limitada (sólo se usan parcialmente en zonas interiores y partes prefabricadas). El consumo de materiales dependerá del tamaño del buque, de los requisitos que deban cumplirse, etc.

El consumo de material en los astilleros de reparación de buques de tamaño medio (> 15 000 toneladas brutas) asciende aproximadamente a 20 t por cada buque mercante recubierto (basándose en los datos de Portugal, Grecia, Malta e Italia). El uso de los correspondientes COV es de unas 6 t. Un gran astillero de reparación puede reparar anualmente entre 60 y 150 buques, con un tamaño medio de 40 000 toneladas brutas.

En un astillero de nueva construcción, el consumo de material durante el recubrimiento completo de un buque de 40 000 toneladas brutas es de aproximadamente 68 t. En Alemania, HDW Kiel utiliza hasta 59 t anuales de disolvente para un máximo de cinco buques en un año. En Hamburgo, Blohm + Voss Repair GmbH consume unas 60 t anuales de disolventes orgánicos.

##### **11.3.2.2 Agua**

En los astilleros de reparación, el consumo aproximado de agua dulce para la limpieza a alta presión (200 bar) de la totalidad del casco es de unas 500 t para un buque de tamaño medio (> 15 000 toneladas de registro bruto, TRB).

##### **11.3.2.3 Energía**

No hay datos disponibles.



### 11.3.3 Emisiones

#### 11.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

[128, TWG, 2005]

En general, los procesos en los astilleros se llevan a cabo en el exterior, en los diques secos, en talleres abiertos o en el muelle. Por consiguiente, los contaminantes generados durante las operaciones de pulimento, limpieza abrasiva o pintado se emiten directamente al medio ambiente. Generalmente, todas las emisiones de COV provenientes de los procesos de pintado son emisiones fugitivas. Además de los COV, el polvo de los agentes abrasivos (p. ej. silicatos o aglomerados de acero o cobre), las partículas metálicas y la niebla de pulverización son importantes desde el punto de vista ambiental. En los casos en que se usa la pulverización, y dependiendo de las condiciones de aplicación, la niebla de pulverización puede representar hasta un 30 % del material utilizado. Dependiendo de las condiciones ambientales, las partículas procedentes de la limpieza abrasiva y de la niebla de pulverización pueden ser transportadas varios kilómetros.

Las emisiones de materiales peligrosos para el medio ambiente que provienen de los procesos de revestimiento de los buques de nueva construcción pueden reducirse eficazmente si las operaciones de pintado y limpieza abrasiva se llevan a cabo en talleres cerrados. En dichos talleres también pueden construirse los bloques o secciones prefabricadas de un buque nuevo, o que se está mejorando considerablemente, y que finalmente serán ensambladas. Los talleres cerrados pueden tener extractores de aire con filtros para el polvo y unidades de tratamiento de gases residuales para los COV.

Otra opción para reducir el polvo emitido es el uso de limpieza con agua o lodo.

En un astillero se ha reducido la niebla de pulverización en el aire libre a un 5 %, usando una aplicación de dispositivos móviles con extractores integrados. Además, las emisiones de niebla de pulverización pueden reducirse adicionalmente cerrando los diques con redes, ya que así se consigue que disminuya el viento.

En los astilleros de reparación de buques de tamaño mediano (> 15 000 TRB, con una media de 70 000 TRB), las pinturas que se usan contienen una media del 30-40 % de disolventes orgánicos. Por cada metro cuadrado pintado se emiten unos 150 g de COV y los revestimientos de antiincrustante constituyen la mayor parte de la pintura aplicada. En Alemania, un informe indica que las pinturas usadas contienen una media de 20-25 % (en peso) de disolventes orgánicos. Alrededor de 100 g de COV se emiten por cada metro cuadrado pintado.

La construcción de yates nuevos tiene lugar normalmente en instalaciones cerradas, usando también rodillos y brochas, los cuales tienen una elevada eficacia de aplicación y no producen niebla de pulverización. En el caso de los yates más grandes, esto se hará según las especificaciones del cliente. La reparación y el mantenimiento de los megayates puede hacerse en los diques, pero para la mayoría de estas embarcaciones, dichos procesos se llevan a cabo en instalaciones cerradas.

#### 11.3.3.2 Emisiones al agua

Las operaciones de mantenimiento generan contaminantes abrasivos, residuos de pintura, recipientes usados y niebla de pulverización. Puede haber otros residuos producidos durante el mantenimiento, como residuos de petróleo (que contienen hidrocarburos), fangos, chatarra, etc. Tras las operaciones de mantenimiento, el dique se limpia para reducir los vertidos al medio.

Cuando se usa la limpieza con agua o lodo para evitar las emisiones de polvo, el agua usada en el proceso se trata, frecuentemente, en un equipo integrado o bien en una planta de tratamiento de aguas residuales. El agua puede reutilizarse.



Si las aguas residuales están contaminadas, se pueden aplicar varias técnicas para reducir las emisiones. El agua tratada se procesa como aguas residuales o se reutiliza. Ambos procesos se describen en el apartado 11.4.9.

### 11.3.3.3 Residuos

Los residuos procedentes de las operaciones de mantenimiento de buques incluyen, p. ej.:

- disolventes orgánicos limpiadores,
- residuos y lodos de pintura,
- envases, brochas y rodillos con restos de pintura,
- materiales usados o contaminados procedentes de la limpieza abrasiva,
- filtros,
- residuos de petróleo (contienen hidrocarburos),
- barro,
- chatarra, y
- aguas residuales procedentes de la limpieza de un dique seco antes de inundarlo.

La implementación de recipientes grandes reutilizables (IBC, 1000 litros), en lugar de los envases de 10-20 litros de un solo uso, lleva a una reducción de los recipientes de deshecho y de la cantidad de pinturas residuales que permanece en los envases viejos. Sin embargo, esto se puede aplicar únicamente a los buques grandes o para cantidades grandes de un mismo tipo de pintura o de un mismo color. Cuando las pinturas de dos componentes se suministran en IBC, la mezcla de pinturas se realiza mediante un sistema de dosificación preciso con control permanente de la proporción de la mezcla. Cuando se da el caso de que se está realizando al mismo tiempo el mantenimiento de varios buques, con especificaciones y cantidades diferentes, o en el caso de los yates, estos contenedores son demasiado grandes para las cantidades consumidas. Además, con estos contenedores grandes hay problemas debidos a la sedimentación de las pinturas.

Durante el pintado de los buques, especialmente en las operaciones de mantenimiento, se producen grandes cantidades de contaminantes abrasivos. Los metales pesados y el TBT provenientes de los polvos de la limpieza abrasiva y el pulimento son especialmente importantes desde el punto de vista ambiental. La limpieza con agua produce únicamente un 1,5 % de la cantidad de residuos generados durante la limpieza convencional con chorro de arena.

## 11.4 Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de buques y yates

En el capítulo 20 se discuten las técnicas que podrían aplicarse también al revestimiento de buques y yates. En el apartado 20.7 se discuten las técnicas relevantes para la aplicación de pinturas. Estas técnicas podrían aplicarse también al revestimiento de buques y yates. En la Tabla 11.1, se muestran las técnicas generales relevantes para el revestimiento de buques y yates que se describen en el capítulo 20 y en el apartado 20.7. Normalmente, dichas técnicas no se repiten en esta sección, a no ser que se disponga de información específica para esta industria. Una descripción del tipo de información considerada para cada técnica se encuentra en Tabla 20.1.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

**Tabla 11.1: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector**

### 11.4.1 Sistemas de gestión: disciplina de dique

**Descripción:** Se trata de un sistema específico de gestión que define las diferentes entidades responsables de realizar los trabajos en los diques secos y en las gradas, incluyendo la preparación para la entrada en dique, carenadura y botadura de los buques. También incluye las actividades de mantenimiento, reparación y construcción que tienen lugar en los diques secos y las gradas, como las operaciones de tratamiento de superficies (limpieza, eliminación de pintura vieja y antiincrustantes, etc.). Controla la recogida de residuos y el envío de los mismos a los receptores autorizados para su posterior gestión o eliminación apropiadas.

La disciplina de dique cubre también otros temas que contribuyen a reducir la contaminación, como cuándo y dónde realizar las actividades contaminantes. Por ejemplo, la descripción de las condiciones de viento bajo las cuales se pueden llevar a cabo la limpieza con chorro de arena y la pulverización al aire libre, el requerimiento de que tales actividades se realicen en el fondo del dique o de las gradas y el equipo portátil que debe usarse (como redes, cortinas de agua, etc.).

Puede contener algunos o todos los requisitos de un SGA (véase el apartado 20.1).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Describe los procedimientos para minimizar el impacto ambiental de la instalación.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** Véase «Descripción», más arriba.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivos principales para su aplicación:** Cumplir la legislación sobre salud y seguridad y las normativas ambientales relativas a la contaminación del aire y del agua, así como la gestión de residuos, especialmente las referidas a puertos, aguas cerradas, etc.

**Ejemplos de instalaciones:** Aplicada ampliamente en la industria.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005] [173, Portugal, 2006]

### 11.4.2 Técnicas de confinamiento

#### 11.4.2.1 Áreas abiertas

**Descripción:** Los procesos que se llevan a cabo en los astilleros tienen lugar, generalmente, al aire libre, en los diques secos, en talleres abiertos o en el muelle. La reparación y el mantenimiento (incluido el pintado) del casco se llevan a cabo durante la entrada en dique seco, ya sea en diques de carena (hormigón) o diques flotantes (acero).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Ninguno.

**Efectos cruzados:** Los contaminantes generados durante las operaciones de pulimento, limpieza abrasiva o pintado se emiten directamente al medio ambiente. Generalmente, todas las emisiones de COV provenientes de los procesos de pintado son emisiones fugitivas. Además de los COV, el polvo de los agentes abrasivos (p. ej. silicatos o aglomerados de acero o cobre), las partículas metálicas y la niebla de pulverización son importantes desde el punto de vista ambiental. Dependiendo de las condiciones ambientales, las partículas procedentes de la limpieza abrasiva y de la niebla de pulverización pueden ser transportadas varios kilómetros.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** En la práctica normal del trabajo.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Los costes.

**Ejemplos de instalaciones:** Usadas ampliamente.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005] [174, CEPE, 2006]

#### 11.4.2.2 Áreas parcialmente cerradas, cortavientos, cortinas de pulverización, etc.

**Descripción:** Las técnicas pueden usarse para que actúen como cortavientos, mediante redes o carpas (descritas en el apartado 11.4.2.3) y pueden aplicarse cortinas de agua pulverizada alrededor de las áreas donde se lleva a cabo la limpieza con chorro de arena. Estas técnicas pueden ser permanentes o temporales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menor acumulación de partículas tras la limpieza con chorro de arena y la pulverización de pintura, ya sea por reducción de la fuerza del viento o al atrapar dichas partículas.

**Efectos cruzados:** Energía necesaria para bombear los pulverizadores o cortinas de agua y posible tratamiento de las aguas residuales.

**Información operativa:** Existen informes sobre las dificultades prácticas al usar las redes y, cuanto más largo es el buque en comparación con el dique seco, más difícil resulta usarlas. No pueden usarse en los astilleros de reparación para los buques de tamaño mediano (> 15 000 TRB) en diques secos grandes. Algunos ejemplos típicos de los problemas encontrados son:

- las variaciones de tamaño y tipo de buque, los buques pueden sobresalir de los límites del dique, etc.;
- las interferencias con las grúas y otros equipos;
- los problemas con el acceso de otras operaciones de mantenimiento.

Los resultados prácticos obtenidos son escasos en comparación con el coste de rodear el dique. Cuando se usan, las redes normalmente se colocan en uno o ambos extremos del dique, alrededor de los diques más pequeños o entre el buque y el muelle.

**Aplicabilidad:** Véase «Información operativa», más arriba.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Los costes.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [174, CEPE, 2006]

### 11.4.2.3 Áreas completamente cerradas

**Descripción:** Las áreas cerradas se usan para controlar el lugar de trabajo, permitiendo el control de la temperatura y la humedad para trabajar y la preparación de la superficie, la protección de la lluvia, etc. Las áreas cerradas tienen normalmente un sistema de extracción de aire por razones de salud laboral, el cual puede usarse junto con tratamientos de gases residuales para controlar las emisiones de materiales perjudiciales para el medio ambiente. El equipamiento puede ser para el tratamiento de polvo o con una unidad de tratamiento de gases residuales para los COV.

Algunas áreas, como las gradas y los diques pequeños, pueden cerrarse o rodearse con carpas temporalmente (o de manera semipermanente, es decir, manteniendo estructuras portátiles en el lugar durante períodos largos). Esto ayuda a controlar el polvo de la limpieza abrasiva o la niebla de pulverización y, a no ser que el cercado esté lo suficientemente cerrado, es probable que el añadido de un tratamiento de gases residuales para la eliminación de polvo y COV suponga el tratamiento de grandes volúmenes de aire con un consumo de energía elevado.

Las carpas también pueden aplicarse entre un buque y el muelle para evitar la acumulación de polvo y niebla de pulverización, además de mantener protegidas de la lluvia las áreas preparadas y recién recubiertas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Retención de partículas de la limpieza abrasiva y de la pulverización. Permite la eliminación del polvo y COV de las corrientes de aire extraído mediante el tratamiento de los gases residuales.

**Efectos cruzados:** Se usa energía para extraer el aire.

**Información operativa:** Proporciona un mejor control de la calidad de los procesos y del entorno laboral. Permite incrementar el tiempo diario y anual disponible para el trabajo.

**Aplicabilidad:** Los talleres permanentes pueden usarse para preparar las planchas, secciones y bloques durante las construcciones nuevas. En algunos casos pueden cerrarse diques enteros. Los diques usados en la reparación y el mantenimiento de buques no se cierran (y posiblemente tampoco los que se usan para algunos megayates).

En el caso de los yates, normalmente se cierran las áreas de preparación y de revestimiento, ya sea permanentemente o bien de manera semipermanente, tanto para las construcciones nuevas como para las reparaciones y el mantenimiento.

**Aspectos económicos:** Coste correspondiente a la construcción de los talleres, así como el coste del equipo de tratamiento y los gastos normales para su funcionamiento.

**Motivos principales para su aplicación:** Un mejor control de la calidad de los procesos de revestimiento y control interno del clima (o sea, una protección contra factores meteorológicos), lo que permite trabajar todo el día durante todo el año; la Directiva sobre emisiones de disolventes y la legislación relativa a la salud, la seguridad y el polvo.

**Ejemplos de instalaciones:** HDW Kiel, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005] [174, CEPE, 2006]

### 11.4.3 Preparación de la superficie

En los buques de nueva construcción y para los materiales nuevos, la superficie necesita un pretratamiento que proporcione adhesión. En caso de reparaciones y mantenimiento, se eliminan las capas de pintura vieja y los antiincrustantes, especialmente en aquellas zonas donde se desprende la pintura o están dañadas. La preparación y la técnica dependen de las especificaciones acordadas, en función del sistema de revestimiento y de las garantías dadas para el trabajo y el revestimiento. Por ejemplo, la aspereza de la superficie cuando se aplica el granallado puede ser de hasta 20 µm y de 75-100 µm en el caso de la limpieza con chorro de arena. Además, no todas las técnicas pueden usarse en todas las zonas de los buques (p. ej. la limpieza con lodo en un depósito inferior doble, la limpieza con agua en la restauración de un depósito de carga, etc.).

La eliminación de la pintura vieja y los antiincrustantes producirá unos residuos que contendrán dichos materiales, con sus riesgos asociados (p. ej. los antiincrustantes contienen biocidas y los más viejos contienen TBT, las capas de pintura vieja pueden contener plomo y cromatos, etc.).

Con algunas técnicas se generan grandes cantidades de polvo. Algunas usan un medio abrasivo para decapar los diversos revestimientos, los cuales se recuperan, reutilizan o eliminan como residuos, dependiendo de la técnica utilizada. En cualquier caso es una buena práctica eliminar los residuos del dique seco antes de inundarlo.

#### 11.4.3.1 Limpieza abrasiva en seco: sistema abierto

**Descripción:** Limpieza que usa aire comprimido y un medio abrasivo seco como las limaduras de acero, sílice, un chorro de granalla, etc.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Produce polvo a partir de la pintura eliminada y del medio abrasivo.

Para reparaciones y mantenimiento, el consumo de arena por buque es de aproximadamente 200 t en el caso de un buque de tamaño medio (> 15 000 TRB).

**Información operativa:** Ésta es normalmente la técnica más rápida y barata por metro cuadrado.

**Aplicabilidad:** Es la técnica usada con más frecuencia en los astilleros de reparación para los buques de tamaño medio (> 15 000 TRB). Puede usarse para eliminar el óxido y las capas viejas de pintura de los suelos y los laterales exteriores, para eliminar las incrustaciones del casco y para eliminar la pintura suelta.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Los costes.

**Ejemplos de instalaciones:** Usada ampliamente.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 11.4.3.2 Limpieza abrasiva en seco: sistema cerrado, limpieza al vacío o con obenques

**Descripción:** Se trata de una limpieza abrasiva en seco que se realiza en sistemas cerrados, como por ejemplo con altura manométrica de aspiración y limpieza abrasiva centrífuga a través de limaduras de acero en sistemas en bucle cerrado de baja emisión.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Emisiones bajas de polvo. El medio abrasivo se recupera para ser reutilizado, por lo que los residuos son menores. Los antiincrustantes y las pinturas eliminadas se recuperan junto con el medio abrasivo y se separan para ser desechadas.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** El equipo mecánico de limpieza se controla manualmente o se fija a los brazos de los portaherramientas y se hace pasar mediante control remoto a lo largo del área que debe tratarse.

Un sistema típico para la preparación de las nuevas construcciones puede consistir en gránulos abrasivos de acero fundido aplicados en un bucle cerrado a una presión aproximada de 5 bar.

**Aplicabilidad:** Puede usarse para eliminar el óxido y las capas viejas de pintura de los suelos y los laterales exteriores, para eliminar las incrustaciones del casco y para eliminar la pintura suelta.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivos principales para su aplicación:** El control de las emisiones de polvo, la salud y la seguridad en el trabajo, así como la reducción de los gastos de gestión de residuos.

**Ejemplos de instalaciones:** Usada ampliamente en astilleros y otras industrias.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [174, CEPE, 2006]

### 11.4.3.3 Limpieza con chorro de agua dulce a alta presión

**Descripción:** Hay varias técnicas que se clasifican según la presión del agua utilizada. La limpieza con chorro de agua se lleva a cabo con presiones superiores a 700 bar, mientras que la limpieza con chorro de agua a ultrapresión puede alcanzar los 20 000 bar. Al variar la presión del agua se puede eliminar una sola capa o todas las capas de pintura.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Esta técnica evita la formación de emisiones de polvo y agentes abrasivos contaminantes que deban ser eliminados. El agua usada puede guardarse y reciclarse, con un tratamiento si es necesario.

**Efectos cruzados:** Los residuos de pintura que puedan contener restos de antiincrustantes o pigmentos de plomo o cromo de las pinturas más viejas deben ser recogidos y requieren que se gestione su eliminación.

En los astilleros de reparación, el consumo de agua dulce para la limpieza a alta presión (200 bar) de todo el casco es de unas 500 t para un buque de tamaño medio (> 15 000 TRB).

**Información operativa:** En el caso de las técnicas de limpieza con agua, las aguas residuales pueden recogerse en el dique, bombearse hacia depósitos y tratarse (p. ej. mediante decantación) antes de ser vertidas.

**Aplicabilidad:** Puede usarse para eliminar el óxido y las capas viejas de pintura de los suelos y los laterales exteriores. La limpieza con chorro de agua a presión puede usarse para eliminar las incrustaciones del casco y la pintura suelta.

La limpieza con chorro de agua no puede usarse sobre las superficies nuevas, ya que no crea una aspereza superficial en el material que debe recubrirse.

La utilización de la limpieza con chorro de agua a ultrapresión no es una práctica habitual en las reparaciones y el mantenimiento, a causa de algunos problemas técnicos: se han descrito problemas para conseguir una limpieza puntual y más de la mitad de las áreas que deben limpiarse son «puntuales».

Esta técnica se usa también en la preparación de yates. Cuando se lleva a cabo conjuntamente a la recogida y separación de residuos, evita la emisión de metales pesados y de TBT a partir del antiincrustante viejo (nótese que la aplicación de TBT en los yates pequeños está prohibida desde hace más de 13 años).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivos principales para su aplicación:** La legislación para el control de las emisiones de polvo, así como la salud y la seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** Usada ampliamente.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [174, CEPE, 2006]

### 11.4.3.4 Limpieza húmeda o con lodo

**Descripción:** Se trata de una limpieza con agua que contiene un abrasivo delicado, como finos de cenizas (p. ej. cenizas de cobre) o sílice.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Esta técnica evita la formación de emisiones de polvo.



**Efectos cruzados:** Incremento de los residuos procedentes del abrasivo.

**Información operativa:** En el caso de las técnicas de limpieza con agua, las aguas residuales pueden recogerse en el dique, bombearse hacia depósitos y tratarse (p. ej. mediante decantación) antes de ser vertidas. Esto puede integrarse en el equipo de limpieza con lodo. El agua y el abrasivo pueden reutilizarse.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Usada ampliamente en astilleros y muchas otras industrias.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2004] [174, CEPE, 2006]

#### 11.4.3.5 Otros tratamientos superficiales

**Descripción:** El pulimento se aplica a las juntas y otras áreas específicas. También puede usarse el cepillado, p. ej. con cepillos de alambre. En los yates, el lijado se usa entre capas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Requisitos técnicos.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [174, CEPE, 2006]

#### 11.4.4 Materiales de revestimiento

En general, el cliente suele especificar los sistemas de pintura que deben usarse, especialmente en la reparación y mantenimiento de buques y en la construcción, reparación y mantenimiento de yates. Las especificaciones también están influenciadas por las condiciones de garantía de la pintura.

##### 11.4.4.1 Materiales de revestimiento convencionales de base disolvente

**Descripción:** Para una descripción general, véase el apartado 20.7.2.1. Las pinturas convencionales de base disolvente que se aplican a los buques contienen una media del 20-40 % (en peso) de disolvente orgánico. Normalmente, la aplicación es manual mediante pulverización sin aire.

En los astilleros de reparación de buques de tamaño mediano (> 15 000 TRB, con una media de 70 000 TRB), las pinturas que se usan contienen una media del 30-40 % de disolventes orgánicos. Por cada metro cuadrado pintado se emiten unos 150 g de COV y los revestimientos de antiincrustante constituyen la mayor parte de la pintura aplicada. En Alemania, un informe indica que las pinturas usadas contienen una media de 20-25 % (en peso) de disolventes orgánicos. Alrededor de 100 g de COV se emiten por cada metro cuadrado pintado.

Al aplicar sistemas de base disolvente se detecta un factor de emisión de COV de 100-150 COV/m<sup>2</sup> de superficie pintada (sin reducción de emisiones).

Generalmente, los procesos que se llevan a cabo en los astilleros tienen lugar al aire libre, en los diques secos, en talleres abiertos o en el muelle. Bajo estas circunstancias, los COV de las pinturas se emiten sin ningún tratamiento.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Los tiempos de endurecimiento son más cortos que los necesarios para los sistemas al agua. El tratamiento de los gases residuales que contienen disolventes es una práctica habitual.

**Aplicabilidad:** Las pinturas de base disolvente pueden usarse en todas las fases de las operaciones de pintura. Existen alternativas para varias aplicaciones. Sin embargo, la capa de refuerzo siempre es de base disolvente y, como mínimo, se necesita un contenido de disolvente de 270 g COV/l.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivos principales para su aplicación:** Los costes, además del hecho que las pinturas de base disolvente se han utilizado durante mucho tiempo y esto ha generado mucho conocimiento al respecto.

**Ejemplos de instalaciones:** Usados ampliamente.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [27, InfoMil, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 11.4.4.2 Sustitución de materiales de base disolvente

#### 11.4.4.2.1 Pinturas al agua

**Descripción:** Para una descripción general, véase el apartado 20.7.2.3.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** Suplemento de energía si se aplica una ventilación o un calentamiento forzados.

**Información operativa:** Se necesita más tiempo de secado, aunque éste puede acortarse con una buena ventilación y, en algunos casos, con calentamiento. Hay problemas en condiciones de congelación y descongelación. Generalmente, el grosor de las capas secas es menor en la aplicación.

**Aplicabilidad:** Actualmente, las pinturas al agua son la única alternativa viable para reducir los COV en áreas interiores y en el caso de la imprimación de taller.

En los astilleros finlandeses se usa generalmente una imprimación universal al agua. Las pinturas al agua están disponibles para diversas aplicaciones, pero sólo se usan en cantidades limitadas. La imprimación de base disolvente únicamente se utiliza en invierno para las aplicaciones en el exterior.

No se pueden aplicar a superficies expuestas a las duras condiciones atmosféricas del mar, como por ejemplo el calor, el sol, la lluvia y la sal. La disponibilidad de pinturas al agua para la construcción de buques y yates es la siguiente:

- Imprimaciones de taller: el silicato de zinc de base acuosa está disponible, pero sólo se aplica esporádicamente. Las pinturas epóxicas al agua y las alquídicas modificadas también están disponibles, pero normalmente no se aplican.
- Exterior de los buques: hay disponibles pinturas alquídicas, epóxicas y acrílicas al agua, las cuales se aplican a veces. En ocasiones se aplican pinturas acrílicas o alquídicas al agua y silicatos de zinc al agua.
- Interior de los buques: hay disponibles sistemas al agua, aunque éstos presentan dificultades para el secado cuando se aplican en áreas pequeñas y cerradas, aplicándose sólo de vez en cuando. No se aplican en áreas de almacenamiento porque no son suficientemente resistentes al desgaste.
- En el caso de los yates se dispone de pinturas al agua, las cuales se aplican actualmente, cada vez más, como imprimaciones e imprimaciones internas. La calidad final ha limitado su aplicación en las capas protectoras.

Se dispone de antiincrustantes al agua, pero únicamente en el mercado de detallistas.

**Aspectos económicos:** En el caso de los buques de nueva construcción, los costes relativos al sistema de pinturas son bajos. Cuando se trata de la reparación y el mantenimiento de buques, la incompatibilidad con las capas viejas de pintura podría requerir la eliminación de estas últimas mediante limpieza abrasiva, lo que comportaría unos costes considerables.

**Motivo principal para su aplicación:** La Directiva sobre emisiones de disolventes.

**Ejemplos de instalaciones:** Usadas ampliamente en los astilleros finlandeses. Se utilizan cada vez más para los yates.

**Bibliografía de referencia:** [27, InfoMil, 2003] [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 11.4.4.2.2 Pinturas de alto contenido en sólidos

**Descripción:** Para una descripción general, véase el apartado 20.7.2.2. Las pinturas de alto contenido en sólidos que se aplican actualmente contienen 250 g COV/l o más (p. ej. 450 g/l de compuestos epóxicos en las partes sumergidas).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La disponibilidad para la construcción de buques y yates es la siguiente:

- Imprimaciones de taller: los productos de alto contenido en sólidos no se aplican, ya que la película es demasiado gruesa (únicamente se requieren 20 µm).

- Partes exteriores y sumergidas del buque: generalmente se aplican revestimientos epóxicos de alto contenido en sólidos. El contenido de COV de la pintura que se aplica a las partes por debajo de la línea de flotación es de 450 g/l.
- Partes exteriores del buque que se encuentran por encima de la línea de flotación: se aplican revestimientos epóxicos de alto contenido en sólidos y también revestimientos flexibles de poliuretano de alto contenido en sólidos. No se aplican revestimientos alquídicos de alto contenido en sólidos.
- Interiores de los buques: hay disponibles revestimientos epóxicos y alquídicos de alto contenido en sólidos.
- Yates: pueden usarse las pinturas de alto contenido en sólidos, pero generalmente no se usan. Pueden aplicarse por debajo de la línea de flotación. Los productos de alto contenido en sólidos algunas veces también se aplican en los interiores.

En el caso de los buques de nueva construcción y para cuestiones de mantenimiento, los revestimientos de poliuretano de alto contenido en sólidos, flexibles y aplicables a cualquier superficie, están sustituyendo parcialmente los sistemas de capas protectoras epóxicas y de masillas acrílicas. Pueden aplicarse sobre casi todas las clases de pintura vieja.

Los revestimientos de una o varias capas de resinas epóxicas bicomponente se usan ampliamente. Por ejemplo, en las áreas con mucho desgaste en los buques mercantes (como es el caso de todo el exterior), en las bodegas y en los depósitos de agua. Estas pinturas también se usan para recubrir los yates.

**Aspectos económicos:** En el caso de los buques de nueva construcción, los costes relativos al sistema de pinturas son bajos. Cuando se trata de la reparación y el mantenimiento de buques, la incompatibilidad con las capas viejas de pintura podría requerir la eliminación de éstas últimas mediante limpieza abrasiva, lo que comportaría unos costes considerables.

**Motivo principal para su aplicación:** La Directiva sobre emisiones de disolventes.

**Ejemplos de instalaciones:** Usadas ampliamente.

**Bibliografía de referencia:** [27, InfoMil, 2003] [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 11.4.5 Protección adicional contra la corrosión: protección catódica

**Descripción:** La superficie sumergida de los buques puede protegerse contra la corrosión aplicando una protección catódica. Ésta se usa también para proteger la superficie de los depósitos de los buques. No se utiliza como alternativa a los antiincrustantes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La protección catódica es un mecanismo anticorrosivo adicional y no reemplaza a los sistemas de revestimiento. Puede ayudar a alargar los períodos entre reparaciones de los revestimientos y, de esta manera, reducir las actividades de pulverización y las emisiones de COV. No se utilizan ánodos de sacrificio, por lo que no hay emisión de metales pesados.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** En el puerto, los buques próximos que están ligeramente dañados pueden sufrir una corrosión acelerada.

**Aplicabilidad:** Se usa en todo el mundo para todo tipo de buques, tanto profesionales como recreativos (estos últimos con menos frecuencia).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Usada ampliamente.

**Bibliografía de referencia:** [27, InfoMil, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005].

## 11.4.6 Técnicas y equipos para la aplicación de pintura

### 11.4.6.1 Pulverización sin aire

Para una descripción general, véase el apartado 20.7.3.11. Normalmente, para la construcción y el mantenimiento de los buques nuevos, casi todas las capas de pintura se aplican mediante pulverización sin aire. La niebla de pulverización puede representar hasta un máximo del 30 % del material utilizado.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [27, InfoMil, 2003] [128, TWG, 2005]

### 11.4.6.2 Pulverización en caliente

**Descripción:** Para una descripción general, véase el apartado 20.7.3.10. En los buques pueden aplicarse revestimientos bicomponente y sin disolventes mediante pulverización en caliente sin aire. Se consiguen capas de 300-1000  $\mu\text{m}$  de espesor.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se eliminan las emisiones de COV y, en comparación con la pulverización sin aire convencional (véase el apartado 11.4.6.1), puede reducirse el número de capas.

**Efectos cruzados:** Se consume energía para calentar.

**Información operativa:** Se requiere un proceso de mezclado en línea controlado por ordenador para conseguir la proporción correcta de la mezcla. El tiempo de trabajo es poco, con una vida útil de sólo 10 minutos. Este tipo de revestimientos forma una superficie muy dura, sin poros y muy lisa y, por tanto, son muy resistentes a la corrosión por agua de mar, derivados del petróleo y productos químicos. También son resistentes a la abrasión, como la ocasionada por los bloques de hielo flotantes encontrados durante la navegación. Sin embargo, el acabado puede ser malo y el surtido de productos que pueden usarse es muy limitado. El equipo usado para pulverizar en caliente es difícil de reparar.

**Aplicabilidad:** Esta técnica puede usarse para recubrir superficies grandes en el interior y el exterior del buque.

**Aspectos económicos:** Los costes de estos revestimientos son más elevados que en el caso de los revestimientos convencionales, aunque el tiempo de trabajo es menor y también el tiempo de secado. Al final se ahorra dinero ya que se consume menos energía en las actividades de pulverización y se reducen los costes de mantenimiento. Los costes del equipo de pulverización caliente son mayores.

**Motivo principal para su aplicación:** La Directiva sobre emisiones de disolventes.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [27, InfoMil, 2003] [128, TWG, 2005]

### 11.4.6.3 Extracción de aire integrada en el punto de aplicación

**Descripción:** Se ha desarrollado un cabezal móvil de aplicación de pintura con un sistema para la extracción de la niebla de pulverización integrado, el cual extrae aire del lugar donde se está pulverizando. Esta técnica es análoga a la pulverización mediante robots (véase el apartado 20.2.3).

Se ha informado que esta técnica ya no se usa.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Debido al aumento de eficacia se reducen significativamente el consumo de material, las emisiones de COV y también la niebla de pulverización. Ésta último puede reducirse a un 5 % del material utilizado.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Estas unidades para la aplicación de pintura sólo pueden usarse en superficies uniformes y perpendiculares, pero no van bien, por ejemplo, ni en las secciones curvadas de popa y proa ni en las quillas planas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivos principales para su aplicación:** La salud y la seguridad.

**Ejemplos de instalaciones:** Blohm + Voss Repair GmbH (Hamburgo, Alemania) y HDW Kiel (Alemania).

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 11.4.7 Alternativas a las pinturas antiincrustantes de base de biocidas

Para información sobre el impacto ambiental debido al uso de pinturas antiincrustantes de base de biocidas, véase el apartado 11.2.3.

#### 11.4.7.1 Revestimientos de silicona que desprenden las incrustaciones

**Descripción:** Las pinturas de silicona tienen una tensión superficial baja (no adherente) que hace que el organismo incrustante no se pueda unir firmemente a la superficie del revestimiento. Pueden aparecer incrustaciones durante los períodos de inactividad pero, al navegar, la superficie se limpiará con las corrientes generadas sobre la pintura a partir de una cierta velocidad. Las pinturas de silicona se aplican mediante pulverización sin aire.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los revestimientos que desprenden las incrustaciones no contienen ninguna clase de biocidas. Se obtienen unas superficies muy lisas que resultan en una menor resistencia a la fricción. Esto puede disminuir el consumo de combustible o aumentar la velocidad en comparación con las pinturas autopulidoras que contienen biocidas.

Los revestimientos que desprenden las incrustaciones no se corroen o pulen durante el tiempo de servicio y por tanto la pintura permanece intacta durante este período.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Durante la aplicación de revestimientos de silicona debe evitarse la niebla de pulverización sobre las superficies que tienen que recubrirse con otros tipos de

pintura, debido a los problemas de adherencia posteriores. Para llevar a cabo la aplicación y la reparación de las pinturas de silicona tiene que seguirse estrictamente un procedimiento específico.

**Aplicabilidad:** Los organismos incrustantes serán capaces de establecerse sobre las pinturas de silicona durante los períodos de inactividad. Para que se produzca desprendimiento de las incrustaciones durante el período de navegación debe alcanzarse una cierta velocidad. Actualmente esta técnica puede usarse en buques con períodos cortos de inactividad y una velocidad mínima de 15-17 nudos. Las pinturas de silicona no son adecuadas para buques expuestos a un daño mecánico elevado. En consecuencia, los revestimientos que desprenden las incrustaciones todavía se consideran unos productos especializados para clases especiales de buques.

**Aspectos económicos:** El coste de las pinturas de silicona es considerablemente más alto que el de las pinturas antiincrustantes que contienen biocidas.

**Motivos principales para su aplicación:** La Directiva sobre emisiones de disolventes y la legislación y las políticas sobre contaminación de aguas.

**Ejemplos de instalaciones:** Usados en todo el mundo.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005]

#### 11.4.7.2 Métodos mecánicos

**Descripción:** El cepillado y el raspado de las incrustaciones durante intervalos cortos, además de la utilización de materiales de revestimiento duros y resistentes, son alternativas a los revestimientos antiincrustantes. Existen diversos aparatos con cepillos rotatorios que pueden eliminar las incrustaciones durante períodos breves de inactividad.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Este método antiincrustante no usa ni metales pesados ni biocidas.

**Efectos cruzados:** Este método no reduce el riesgo de introducción de nuevas especies provenientes de otros mares.

Durante las operaciones de buceo para cepillar las partes sumergidas existe un riesgo incontrolado de contaminación del agua.

**Información operativa:** Las desventajas de este procedimiento son los intervalos cortos de limpieza.

**Aplicabilidad:** Este proceso es adecuado para los buques que navegan en aguas salobres o dulces a bajas temperaturas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivos principales para su aplicación:** La Directiva sobre emisiones de disolventes y la legislación y las políticas sobre contaminación de aguas.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [69, Watermann, et al., 2003] [128, TWG, 2005]



### 11.4.7.3 Procesos electroquímicos

**Descripción:** La superficie se protege aplicando un voltaje que causa electrolisis. Se producen compuestos clorados tóxicos (en agua salada) y cambia el valor del pH en la superficie, inhibiendo la formación de incrustaciones. Con esta técnica disminuye la corrosión.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Este sistema antiincrustante no contiene biocidas.

**Efectos cruzados:** Los electrodos pueden ser de cobre, lo que provoca la emisión de iones de cobre que son tóxicos para los organismos incrustantes. Se producen compuestos clorados tóxicos.

**Información operativa:** La cantidad vertida de cobre es comparable a la de los antiincrustantes de base de cobre. Este método ha demostrado ser muy eficaz contra las incrustaciones.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivos principales para su aplicación:** La Directiva sobre emisiones de disolventes y la legislación y las políticas sobre contaminación de aguas.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** : [13, DFIU e IFARE, 2002] [69, Watermann, et al., 2003] [128, TWG, 2005]

### 11.4.8 Tratamiento de gases residuales

**Descripción:** Para una descripción general, véase el apartado 20.11.

Las emisiones provenientes de las actividades de pintado y limpieza abrasiva pueden reducirse eficazmente utilizando talleres cerrados (véanse los apartados 11.4.2.3 y 20.11.2.1). Éstos pueden equiparse con técnicas para el tratamiento de gases residuales, tal y como se describe en el apartado 20.11.

Por ejemplo, los gases residuales que contienen COV, y que provienen de la pulverización, pueden adsorberse en carbón activo (véase el apartado 20.11.6.1). Alternativamente, los disolventes orgánicos pueden tratarse en una unidad de oxidación térmica (véase el apartado 20.11.4.4). Cuando las concentraciones de COV lo permiten, el disolvente puede ser regenerado mediante absorción, o la unidad de oxidación térmica puede ser regenerativa y recuperar el calor del proceso de oxidación.

El polvo y las partículas de la niebla de pulverización pueden tratarse con las técnicas descritas en el apartado 20.11.3.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Una reducción significativa de las emisiones de COV o de polvo, o de ambas.

En la instalación de ejemplo se utiliza un equipo para el tratamiento de gases residuales con una capacidad de 300 000 m<sup>3</sup>/h. Las emisiones de COV se reducen en un 75 % y se alcanza una concentración media de gas limpio de 23 mg/m<sup>3</sup>. La ventilación eficaz y los sistemas de reducción de polvo permiten recambiar el aire cinco veces cada hora y, en el aire limpio, pueden conseguirse concentraciones de polvo inferiores a 5 mg/m<sup>3</sup>.

**Efectos cruzados:** Consumo de energía para el tratamiento de los gases residuales.

**Información operativa:** Puede que los niveles de polvo tengan que reducirse antes de la reducción de los COV.

**Aplicabilidad:** Aplicable en la renovación de los astilleros.

**Aspectos económicos:** Los costes son elevados.

La inversión en la instalación de ejemplo fue de aproximadamente 21 millones de EUR. Los costes anuales de la operación ascienden a alrededor de 1 millón de EUR, una cifra ligeramente inferior los costes de funcionamiento del proceso convencional. Esto incluía también los sistemas de filtros para las operaciones de limpieza abrasiva.

**Motivo principal para su aplicación:** La Directiva sobre emisiones de disolventes.

**Ejemplos de instalaciones:** HDW Kiel, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 11.4.9 Tratamiento de aguas residuales

**Descripción:** Las aguas residuales pueden tratarse antes de ser vertidas, ya sea en origen (p. ej. mientras se realiza la limpieza con lodo) o tras recogerse y ser enviadas a una planta de tratamiento de aguas residuales, en la misma o en otra instalación. El tratamiento requerido dependerá de las sustancias presentes y del lugar de vertido (en aguas superficiales como las del puerto o en el alcantarillado municipal). En el apartado 20.12 se discuten varias técnicas de tratamiento de aguas residuales y proporciona otras fuentes de información.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de la contaminación de las aguas, especialmente en puertos cerrados o en estuarios.

**Efectos cruzados:** El consumo de energía y los productos químicos usados en el tratamiento.

**Información operativa:** Por ejemplo:

(i) Cuando se usan técnicas de limpieza con agua, las aguas residuales pueden recogerse en el dique para pasarlas a depósitos y ser transportadas a plantas de tratamiento de aguas residuales (véase el apartado 11.3.2.2).

(ii) En las instalaciones, el tratamiento de aguas residuales consiste, en varios de sus pasos, en una precipitación y una floculación (p. ej. usando cloruro de hierro (III)), seguida de por una separación y una filtración. Para reducir el volumen y el peso de los residuos producidos, el lodo separado se prensa antes de ser vertido. Las aguas residuales limpias se reutilizan o, en el caso de un excedente de aguas, se procesan como aguas residuales. Con este sistema, después del tratamiento, se pueden conseguir niveles de emisión de 10 mg/l de sustancias filtrables.

**Aplicabilidad:** Se aplica fácilmente.

**Aspectos económicos:** Los costes dependen del tamaño de la instalación. En el anterior ejemplo (ii), en el año 2000 en Alemania, los costes de la planta completa, incluida la instalación, ascendieron a unos 100 000 EUR.

Se ha estimado que el coste de las instalaciones para el tratamiento del agua en los astilleros que reparan buques de tamaño (> 15 000 toneladas brutas) supera los 2 millones de EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** La legislación sobre contaminación de aguas y puertos.

**Ejemplos de instalaciones:** Flender-Werfft, Lückbeck, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

### 11.4.10 Tratamiento de residuos

**Descripción:** Los residuos siguientes se recogen y su eliminación se gestiona conforme a la legislación y los procedimientos pertinentes. Esto es especialmente importante antes de inundar un dique seco:

- residuos de la pintura que ha sido eliminada,
- sobras de pintura y recipientes de pintura usados,
- niebla de pulverización de material de revestimiento,
- materiales usados y contaminados procedentes de la limpieza abrasiva,
- materiales de limpieza,
- barro, residuos de petróleo y otros materiales rascados o eliminados.

Algunos materiales, como los abrasivos utilizados y los materiales de chatarra, pueden recogerse por separado para ayudar a reciclarlos y reutilizarlos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Evita la contaminación del entorno acuoso.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** Véase la disciplina de dique seco, apartado 11.4.1.

**Aplicabilidad:** Aplicable en todos los casos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplir con la normativa sobre contaminación de aguas y puertos.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente practicado.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005] [173, Portugal, 2006]

## 12 REVESTIMIENTO DE AERONAVES

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 12.1 Información general sobre el revestimiento de aeronaves

En esta sección se describe el pintado de aeronaves civiles para más de 50 pasajeros. Debido a los diferentes procesos, la sección se divide en construcción y mantenimiento.

En caso de mantenimiento, la pintura se repara o se aplica completamente nueva, y la totalidad del proceso de aplicación de pintura se lleva a cabo manualmente. La selección del sistema de revestimiento depende de los valores predeterminados por el fabricante, la normativa internacional y las peticiones del cliente. Los datos sobre mantenimiento de aeronaves presentados en este apartado se obtuvieron en Lufthansa Technik AG (Hamburgo, Alemania).

Los procesos y las técnicas aplicados en la construcción de aeronaves nuevas se investigaron en Airbus Deutschland GmbH (Hamburgo, Alemania).

Airbus es el único constructor de aeronaves civiles grandes en los 25 países de la UE, pero otras empresas construyen aeronaves más pequeñas, aeronaves militares o fabrican secciones (p. ej. secciones de las alas). Las aerolíneas principales también tienen instalaciones de mantenimiento donde pueden llevar a cabo el revestimiento de las aeronaves. En algunos países también hay otras instalaciones comerciales de mantenimiento, así como instalaciones militares que pueden realizar el revestimiento. Teniendo en cuenta que el revestimiento del avión entero, los fuselajes y las secciones grandes se hace a mano en un proceso por lotes, la tasa de consumo de disolventes por hora puede ser más apropiada que la cantidad consumida anualmente [190, Humberstone. S].

### 12.2 Procesos y técnicas aplicados en el revestimiento de aeronaves

#### 12.2.1 Construcción

Como la garantía del fabricante para la protección contra la corrosión dura 25 años, sólo pueden usarse sistemas específicos de pintado, y tal como ocurre con el mantenimiento de la aeronave, las peticiones del cliente también deben ser consideradas.

##### 12.2.1.1 Pintado de los componentes

Los componentes se pintan parcialmente antes del ensamblaje. Dichos componentes se recubren con una imprimación y, posteriormente, con una capa protectora. Sólo se aplica una imprimación de revoque en casos excepcionales. La pulverización de la superficie está cada vez más automatizada. Los secadores de convección y también los secadores de infrarrojos se usan en el pintado de los componentes. La superficie de los componentes es aproximadamente cuatro veces mayor que la superficie exterior del avión. Algunas partes proporcionadas por fabricantes externos ya están recubiertas con capas de base que contienen cromatos.

##### 12.2.1.2 Pintado de las superficies exteriores

Una vez finalizado, las superficies exteriores del avión se recubren manualmente. Como el acabado final con laca tiene lugar después del primer vuelo, únicamente pueden usarse revestimientos que se sequen a temperatura ambiente. En la actualidad se usan predominantemente pinturas de base disolvente (con un contenido de disolventes de entre el 55 y el 65 %). Sin embargo, cada vez se usan más las pinturas de alto contenido en sólidos (con un

porcentaje de sólidos del 30-40 %). Como en el caso del mantenimiento, el revestimiento de las aeronaves nuevas se lleva a cabo en talleres cerrados. Los revestimientos aplicados se secan a temperatura ambiente. Primero se recubre el casco y se seca completamente. Después, el casco se cubre con papel de embalar y se pintan las alas. Las capas de pintura se aplican mediante la técnica de húmedo sobre húmedo. El proceso de pintado se divide en pretratamiento, aplicación de la imprimación de revoque, aplicación de la imprimación y aplicación de la capa protectora.

### **Pretratamiento**

Las impurezas, como el queroseno, el petróleo y las grasas, se eliminan antes de recubrir las superficies exteriores. Se limpia el casco con agentes limpiadores, con un consumo total de unos 200 litros por aeronave. Después tiene lugar el anodizado con ácido crómico. El propósito es crear una capa de óxido más gruesa para una mayor protección contra la corrosión. La imprimación, que contiene cromatos, se seca con arena y el casco se vuelve a limpiar con disolventes orgánicos.

### **Aplicación de la imprimación de revoque**

Después del pretratamiento, la imprimación de revoque se aplica manualmente usando técnicas de pulverización electrostática. La imprimación de revoque es un material disolvente, que contiene cromato y que está compuesto por poliuretano, resinas epóxicas o polivinilbutirato (PVB). El contenido de disolvente es del 70-90 %. Para una mayor protección contra la corrosión se necesita cromato de zinc. El grosor de la capa varía entre 8 y 10  $\mu\text{m}$ . Después de la aplicación, la evaporación de los disolventes tiene lugar a temperatura ambiente.

### **Aplicación de la imprimación**

Tras la imprimación de revoque se aplica una imprimación de base de resinas epóxicas o poliuretano y que contiene disolventes. Esto se hace manualmente mediante pulverización electrostática. En estos materiales el contenido de disolvente es del 50-65 %. El contenido de cromato de zinc o de estroncio es del 10-20 %. El grosor medio de la capa aplicada es de 8-10  $\mu\text{m}$ . El material se seca a temperatura ambiente.

### **Aplicación de la capa protectora**

La capa protectora puede ser muy diferente en función de las peticiones de los clientes. Se usan exclusivamente pinturas bicomponente de base disolvente, con un contenido de disolventes del 55-65 %. Para la capa protectora se aplican varias manos (de dos a cuatro, según el color) mediante pulverización electrostática. Según el color aplicado, el grosor de una mano de pintura varía entre 60 y 100  $\mu\text{m}$ . Tras aplicar la primera mano se lleva a cabo una vaporización instantánea rápida y luego se deja evaporar durante una hora antes de aplicar una segunda mano. Posteriormente se secan las tres manos y después se aplica la decoración mediante pulverización u hojas sensibles a la presión. Para pintar las superficies exteriores se utilizan pinturas convencionales y pinturas de alto contenido en sólidos (aprox. 70 %). A petición del cliente puede aplicarse un revestimiento transparente sobre la capa protectora.

### **12.2.1.3 Protección temporal contra la corrosión**

La llamada «protección temporal contra la corrosión» se obtiene aplicando capas que rechazan el agua en el área interior del avión. El material permanece en el avión permanentemente. Las áreas principales son las puertas, las compuertas, los huecos de las ruedas y las áreas de almacenamiento de carga. Los materiales para la protección temporal contra la corrosión son sustancias parecidas a las ceras y de base disolvente. La aplicación se realiza mediante brocha o pulverización. El contenido de disolvente de los productos asciende a un 40-60 %. Se gastan unos 60-80 l por aeronave.

## 12.2.2 Mantenimiento

La aplicación de pintura se lleva a cabo en talleres cerrados donde se puede regular la temperatura y la humedad del aire. Se instalan lavadores húmedos de polvo para la recolección de la niebla de pulverización. Las pinturas aplicadas se secan a temperatura ambiente.

### 12.2.2.1 Eliminación de la pintura

En lo referido al mantenimiento, la capa de imprimación y las capas protectoras se quitan cada seis u ocho años. Si se produce un cambio de compañía aérea, la eliminación de la pintura se lleva a cabo más pronto. Esto es más frecuente en las compañías de alquiler. La eliminación de la pintura (y la aplicación de la pintura nueva) se hace por motivos ópticos y para examinar si ha habido desgaste o corrosión de la estructura. Normalmente, la eliminación de la pintura se hace mediante procesos químicos. La limpieza con agua, favorecida por razones ambientales, ya no se aplica debido a que provocaba una presión mecánica excesiva. El avión se limpia con un limpiador alcalino de base acuosa. Después de secar las ventanas, el tren de rodaje y las partes formadas por plástico reforzado con fibra, se cubren los materiales compuestos. El proceso siguiente de eliminación pintura se hace mediante limpieza ácida o lijado mecánico. Para la limpieza ácida se aplica un compuesto de ácido fórmico y alcohol bencílico de base acuosa mediante técnicas de pulverización sin aire. Los selladores de juntas se quitan manualmente. En el caso de los materiales compuestos y en parte para las superficies metálicas, se hace un pretratamiento mediante lijado.

### 12.2.2.2 Limpieza

Las capas de pintura estropeada se eliminan con agua. Posteriormente tiene lugar una neutralización acuosa y alcalina, y también una limpieza. Antes de la aplicación de pintura, las superficies se limpian manualmente con disolventes orgánicos y trapos. Generalmente se utiliza como disolvente una mezcla de acetato butílico y alcohol butílico.

### 12.2.2.3 Pretratamiento

Antes de aplicar la imprimación se aplica una imprimación de revoque al agua sobre las superficies metálicas. Este material contiene un 76 % de disolventes orgánicos y un 14 % de cromato de zinc (de contenido sólido). Hasta ahora no se han utilizado materiales sin zinc. El material se aplica mediante pulverización electrostática. La imprimación de revoque no se aplica sobre materiales compuestos.

### 12.2.2.4 Imprimación

Como imprimación se usan dos materiales diferentes:

- una imprimación de base de poliuretano o epóxica, con un contenido de disolventes del 70 % y sin cromatos;
- una imprimación con cromato de estroncio (alrededor del 20 % de contenido sólido) y un 67 % de disolventes orgánicos.

Las imprimaciones que contienen cromatos se usan para aumentar la protección contra la corrosión en condiciones climáticas de humedad y salinidad altas o a petición del cliente. La aplicación se realiza manualmente mediante pulverizaciones electrostáticas.

### 12.2.2.5 Capa protectora

Para las capas protectoras se utilizan pinturas convencionales bicomponente con un contenido aproximado de disolventes del 61 % y pinturas tricocomponente de alto contenido en sólidos y un contenido aproximado de disolventes del 43 %. Ninguna de las dos pinturas contiene ni cromatos ni plomo. La aplicación se realiza manualmente mediante pulverizaciones electrostáticas.

### 12.2.2.6 Revestimiento transparente

Las capas protectoras convencionales se recubren generalmente con una capa de revestimiento transparente. Esta capa de revestimiento transparente adicional no es necesaria si se aplican capas protectoras de alto contenido en sólidos. Sólo se utilizan a petición del cliente. Se usa el mismo método de aplicación que en el caso de las capas protectoras.

## 12.3 Niveles actuales de consumo y emisión en el revestimiento de aeronaves

### 12.3.1 Construcción

#### 12.3.1.1 Consumo de material

Para determinar el consumo de material debe medirse la superficie del avión. Además de la superficie exterior, también debe tenerse en cuenta la superficie de las partes de los componentes recubiertos. Hacen falta ocho días para recubrir la superficie exterior y la mayor parte del tiempo se dedica al recubrimiento de las partes y al acabado. La mayor cantidad de pintura se gasta en el revestimiento de las piezas de los componentes. La superficie de dichos componentes es aproximadamente cuatro veces más grande que la superficie exterior del avión ya finalizado. La Tabla 12.1 muestra el consumo de material para un A320 (150 asientos de pasajeros).

Superficie recubierta	Superficie (m <sup>2</sup> )	Capas
Partes de los componentes	3600	1 – 2
Superficies exteriores	1200	2 – 4
Área interior	500	2
Conservación de las cabezas de los remaches	10 000 (metros lineales)	1 – 2

**Tabla 12.1: Superficies recubiertas en un A 320**  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

Para el revestimiento de un A 321 (aproximadamente 180 pasajeros), la superficie total de los componentes y las áreas interiores es de unos 3600 m<sup>2</sup>, mientras que la superficie exterior total del avión finalizado es de aproximadamente 945 m<sup>2</sup>. El material seco aplicado pesa un total de 380 kg. En un sistema de pintura estándar (consistente en una imprimación de revoque, una imprimación y la capa protectora), se aplican 0,9 kg material/m<sup>2</sup>. No se pudieron obtener datos relativos al pintado de las partes de los componentes o a las capas individuales de pintura. En la Tabla 12.2 se indica el consumo de pintura.



Capa de pintura o etapa del proceso	Consumo de material
Pretratamiento	200 l de disolventes (30 % de isobutanol y 70 % de acetato de butilo) para 600 m <sup>2</sup>
Imprimación de revoque	75 kg de laca húmeda (para el casco); un 20 % de niebla de pulverización
Imprimación	100 kg de laca húmeda (para el casco); un 20 % de niebla de pulverización
Capa protectora	200 kg de laca húmeda (para el casco)

**Tabla 12.2: Consumo de materiales al pintar las superficies exteriores de los aeronaves**  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

### 12.3.1.2 Consumo de agua

No hay datos disponibles.

### 12.3.1.3 Consumo de energía

No hay datos disponibles.

### 12.3.1.4 Emisiones a la atmósfera

[128, TWG, 2005]

Se emiten unos 600 g COV/m<sup>2</sup> para un consumo medio de material de aproximadamente 0,9 kg/m<sup>2</sup>. La niebla de pulverización está muy por debajo de 1 mg/m<sup>3</sup>. Las emisiones totales de COV por avión ascienden a 450 kg para el pintado de las superficies exteriores. En una instalación con una capacidad de producción anual de 60 aeronaves, se emiten aproximadamente 27 t de COV durante el recubrimiento de las superficies exteriores.

Teniendo en cuenta que la superficie interior es unas cuatro veces mayor que la superficie exterior, puede estimarse que el total de emisiones en la instalación es de unas 100 t anuales. Generalmente, el pintado de las partes de los componentes se lleva a cabo en otros lugares de la instalación. En la empresa Airbus Deutschland GmbH (Nordenhamm, Alemania), el total de disolventes usados en el año 2000 asciende a unas 131 t. En la planta de Airbus en Hamburgo (Alemania), de acuerdo con lo que tienen permitido, se pueden utilizar 69 t COV/a. En el 2001 se produjeron 70 aeronaves en esta instalación.

A causa de la dificultad para encerrar las grandes piezas que deben recubrirse (aeronaves enteras, fuselajes, alas y otras secciones grandes) y debido a los grandes volúmenes de aire extraídos, un aspecto clave para reducir las emisiones de COV consiste en reducir la cantidad de COV en los revestimientos utilizados, por ejemplo, usando revestimientos de alto contenido en sólidos o bicomponente.

### 12.3.1.5 Emisiones al agua

Junto con el lodo de las pinturas, las aguas residuales se generan a partir de la deposición de la niebla de pulverización. El tratamiento de las aguas residuales es similar a los procesos utilizados en el pintado en serie de los coches de pasajeros.

### 12.3.1.6 Residuos

La pintura de las aeronaves genera los residuos siguientes:

- lodos de pintura (residuos peligrosos),
- filtros,
- trapos de limpieza,
- disolventes orgánicos (reciclados),
- papel de embalar (reciclado),
- hojas,
- polvo de pulimento,
- envases vacíos de pintura.

### 12.3.2 Mantenimiento

Debido a las diferentes formas de las aeronaves, los valores de consumo y emisión se dan para un B747-400 (ver Tabla 12.3). Para esta clase de aeronave deben pintarse unos 2780 m<sup>2</sup>. Los datos provienen de Lufthansa Technik, Alemania (2001).

Proceso	Material	Consumo de material (kg)	Contenido de disolventes (%)	Emisiones de COV (kg por B 747)
<b>Eliminación de pintura</b>	Decapante químico	3000		Sin COV <sup>1</sup>
<b>Pretratamiento</b>	Imprimación de revoque a base de polivinilbutirato que contiene cromatos	240	76	182
	Imprimación con cromatos	450	67	301
	Imprimación sin cromatos	450	71	319
<b>Limpieza</b>	Acetato y alcohol butílicos	200	100	200
<b>Capa protectora</b>	Alto contenido en sólidos	1200	43	516
	De base disolvente	1300	61	793
<b>Revestimiento transparente</b>	De base disolvente	1200	65	780

Nota:  
<sup>1</sup> Sin COV según la definición de la Directiva sobre emisiones de disolventes (1999/13/CE)

**Tabla 12.3: Ejemplo de consumo de material para un B747-400 según Lufthansa Technik [13, DFIU e IFARE, 2002]**

Según el sistema de pinturas utilizado, las emisiones de COV ascienden a unas 1,2-2,3 t por cada B747-400 recubierto. Si se aplican capas protectoras de alto contenido en sólidos, las emisiones de COV se reducen en cerca de una tonelada en comparación con las capas de protectoras convencionales y una capa adicional de revestimiento transparente. No se instalan equipos para el tratamiento de gases residuales (p. ej. unidades de oxidación) a causa del gran volumen de los flujos (aproximadamente 450 000 m<sup>3</sup>/h) y las bajas concentraciones de COV.

En la instalación se recubren, total o parcialmente, diferentes tipos de avión, considerándose el revestimiento de 150 A300 al año un valor de referencia para el cálculo de las emisiones anuales de COV. Se calculó que se habían emitido 67 t de COV durante el 2000. El valor de emisión de 150 kg/h se supera temporalmente durante algunos procesos de revestimiento a causa de la aplicación simultánea de pintura por parte de varios empleados (hasta doce pintores).

## 12.4 Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el revestimiento de aeronaves

En el capítulo 20 se discuten las técnicas que podrían aplicarse también al revestimiento de aeronaves. En el apartado 20.7 se discuten las técnicas relevantes para la aplicación de pinturas.

Estas técnicas podrían aplicarse también al revestimiento de aeronaves. En la Tabla 12.14, se muestran las técnicas generales relevantes para el revestimiento de aeronaves que se describen en el capítulo 20 y en el apartado 20.7. Normalmente, dichas técnicas no se repiten en esta sección, a menos que se disponga de información específica para esta industria. Una descripción del tipo de información considerada para cada técnica se encuentra en Tabla 20.1.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

**Tabla 12.4: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector**

### 12.4.1 Materiales convencionales de base disolvente

**Descripción:** Las pinturas convencionales de base disolvente tienen la siguiente proporción de disolventes (en peso):

- imprimación de revoque: 70-90 % de disolventes que contienen cromatos, de base de polivinilbutirato o de resina epóxica o de poliuretano,
- imprimación: 50-67 % de disolventes con un 10-12 % de cromatos, de base de resina epóxica o de poliuretano,
- imprimación: 71 % de disolventes sin cromatos,
- capa protectora: 55-65 % de disolventes,
- revestimiento transparente: 65 % de disolventes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** La selección del sistema de lacas depende de los requisitos del fabricante, la normativa internacional y las peticiones del cliente. El tratamiento de los gases residuales que contienen disolventes es una práctica habitual.

Se ha detectado un rango de emisiones de COV de 430-830 g/m<sup>2</sup> (sin tratamiento de emisiones), dependiendo del sistema de pinturas utilizado, cuando se aplican sistemas convencionales de base disolvente para pintar el exterior de un Boeing 747-400. Para recubrir el exterior de un Airbus 321 nuevo se emiten unos 480 g COV/m<sup>2</sup>. La superficie de los componentes es aproximadamente cuatro veces mayor que la superficie exterior de un avión (p. ej., en el caso de un Airbus 320, la superficie total de los componentes que debe recubrirse es de alrededor de 3600 m<sup>2</sup>).

Para el revestimiento interno de un Airbus 321, incluyendo sus componentes, se han detectado unas emisiones de 300 g COV/m<sup>2</sup>.

**Aplicabilidad:** Las pinturas de base disolvente pueden usarse en todas las fases de la operación de pintura (imprimación de revoque, imprimación, capa protectora, revestimiento transparente y reparación), tanto en metales como en plásticos. Como la garantía del fabricante para la protección contra la corrosión dura 25 años, sólo pueden usarse sistemas específicos de pintado.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Lufthansa Technik AG (Hamburgo, Alemania) y Airbus Deutschland GmbH (Hamburgo, Alemania).

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

### 12.4.2 Sustitución de materiales de base disolvente

#### 12.4.2.1 Pinturas de alto contenido en sólidos

**Descripción:** Para una descripción general, véase el apartado 20.7.2.2. En vez de un sistema convencional de tres capas pintado (imprimación de revoque, imprimación y capa protectora), puede utilizarse un sistema de pinturas de alto contenido en sólidos consistente en una imprimación epóxica y una capa protectora, ambas de alto contenido en sólidos. Para la capa protectora se usan pinturas de dos componentes, con un contenido de disolventes del 30-43 %.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En comparación con los sistemas de pinturas convencionales, las emisiones de COV pueden reducirse hasta en un 30 %, obteniéndose una estimación de dichas emisiones de 200-320 g COV/m<sup>2</sup> (ver el apartado 12.4.1).

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Las características ópticas de la superficie y las propiedades técnicas de las pinturas de alto contenido en sólidos son iguales o incluso mejores que las de las pinturas convencionales.

**Aplicabilidad:** Aplicable en la construcción y el mantenimiento de aeronaves nuevas.

**Aspectos económicos:** Los costes de material y de eliminación de la pintura durante las operaciones de mantenimiento son más elevados.

**Motivo principal para su aplicación:** La Directiva sobre emisiones de disolventes.

**Ejemplos de instalaciones:** Usado ampliamente, p. ej. en Lufthansa Technik AG (Hamburgo, Alemania) y Airbus Deutschland GmbH (Hamburgo, Alemania).

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

### 12.4.3 Sustitución del cromado con cromo hexavalente

La aplicación y el tratamiento del cromado con cromo hexavalente, y su reemplazo por otras opciones, se describen en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006].

Las imprimaciones de revoque y las imprimaciones que contienen cromatos se usan para aumentar la protección contra la corrosión en condiciones climáticas de humedad y salinidad altas o a petición del cliente. La aplicación se realiza manualmente mediante pulverizaciones electrostáticas.

Puede aplicarse una imprimación sin cromatos si el avión se utiliza en condiciones climáticas regulares. Sin embargo, por razones de seguridad, la imprimación de revoque que contiene cromatos no puede ser sustituida [13, DFIU and IFARE, 2002].

Se encuentra disponible una imprimación sin cromatos que puede reemplazar la imprimación de revoque y la imprimación de resistencia a la corrosión [128, TWG, 2005].

### 12.4.4 Técnicas y equipos para la aplicación de pintura

#### 12.4.4.1 Pulverización electrostática

Para una descripción general, véanse los apartados 20.7.3.15 y 20.7.3.17. Estas técnicas se aplican habitualmente.

#### 12.4.4.2 Cabinas de pulverización con separación húmeda

Para una descripción general, véase el apartado 20.7.4.1. Esta técnica se aplica cada vez más en el recubrimiento automático de los componentes de las aeronaves.

#### 12.4.4.3 Pintura de componentes: confinamiento y aplicación automática

**Descripción:** Cada vez más, las partes de los componentes se pintan mediante procesos automáticos en cabinas de pulverización cerradas y equipadas con tratamiento de gases residuales (véanse los apartados 20.2.3 y 20.11.2.1).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se reduce el total de emisiones de COV por avión, ya que la superficie de los componentes es aproximadamente cuatro veces mayor que la superficie exterior del avión (p. ej., en el caso de un Airbus 320, la superficie total de los componentes que debe recubrirse es de alrededor de 3600 m<sup>2</sup>, comparada con los 1200 m<sup>2</sup> del fuselaje).

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Airbus France (Nantes, Francia).

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [162, Eurocar, 2005]

### 12.4.5 Tratamiento de gases residuales

#### 12.4.5.1 Separación de partículas mediante efecto Venturi

Los sistemas por efecto Venturi se usan para mejorar la eficacia de los depuradores húmedos (véase el apartado 12.4.5.2). Para una descripción general, véase el apartado 20.11.3.5 [13, DFIU e IFARE, 2002]

#### 12.4.5.2 Lavador

Para una descripción general, véase el apartado 20.11.3.8. Se instalan depuradores húmedos para la deposición de la niebla de pulverización. Se ha obtenido un nivel de emisiones de polvo procedentes de la pulverización inferior a  $1 \text{ mg/m}^3$ . [13, DFIU e IFARE, 2002]

#### 12.4.5.3 Tratamiento de gases residuales de la pintura del fuselaje

La aplicación al avión se lleva a cabo en talleres cerrados (véase el apartado 20.11.2.1) y de manera completamente manual mediante pistola. Normalmente no se aplica el tratamiento de gases residuales a causa de los caudales considerables (aproximadamente  $450\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ), las bajas concentraciones de COV y el funcionamiento discontinuo de las instalaciones. [13, DFIU e IFARE, 2002]

## 13 REVESTIMIENTO DE OTRAS SUPERFICIES METÁLICAS

### 13.1 Información general sobre el revestimiento de otras superficies metálicas

Una gran variedad de superficies metálicas se recubren para prevenir la corrosión y para su decoración. Puede tratarse de productos finales (como máquinas limpiadoras) o de piezas que forman parte de otros productos, como los bloques motor de los vehículos. No se tratan individualmente ni en detalle, pero se proporcionan algunos datos a modo de ejemplo. Algunos ejemplos de estas superficies son:

- muebles de acero:
  - p. ej. muebles y accesorios para uso comercial, hospitales, etc.
- electrodomésticos:
  - p. ej. frigoríficos, lavadoras, etc.
- ingeniería mecánica, componentes, cabinas:
  - p. ej. conmutadores de alta tensión,
- piezas del montaje de automóviles, p. ej.:
  - bloques motor,
  - limpiaparabrisas,
  - radiadores,
  - discos de freno,
  - llantas de aluminio,
- construcción, p. ej.:
  - paneles de fachadas,
  - marcos de puertas y ventanas,
  - paneles de calefacción y radiadores.

Este es un grupo de actividades clasificadas como «otros revestimientos» en la Directiva sobre emisiones de disolventes. En la hoja de datos del EGTEI para la aplicación industrial de pinturas se consideran tres subgrupos [142, EGTEI, 2005]:

- industria general: industrias de tratamientos superficiales, ingeniería general, equipamiento industrial, equipamiento original, ingeniería pesada y ACE (véase el capítulo 10), aeroespacial (véase el capítulo 12);
- procesos continuos: muebles, recipientes metálicos rígidos y bidones (véanse algunas partes del capítulo 15);
- revestimientos plásticos: componentes plásticos y de automoción OEM (véase el capítulo 16).

### 13.2 Procesos y técnicas aplicados

Puede aplicarse cualquiera de las técnicas comentadas en el capítulo 20.

### 13.3 Niveles actuales de consumo y emisión

Estas actividades emiten COVNM originados por el uso de pinturas que contienen disolventes, diluyentes y disolventes de limpieza. Las emisiones de COVNM en este sector pueden variar significativamente de un país a otro. Durante el año 2000, en los 25 países de la UE (según el modelo RAINS), las emisiones de COVNM ascendieron a 543,8 kt, lo que representa un 5,9 % del total de emisiones de COVNM. La actividad total fue de 1601 kt de pinturas utilizadas, dando un factor medio de emisión de aproximadamente 339,6 g COVNM/kg pintura consumida, lo que significa que las emisiones en este sector ya están siendo tratadas



parcialmente en la Europa de los veinticinco (los factores de emisiones no reducidas varían entre 690 y 750 g/kg de pintura dependiendo del subsector) [142, EGTEI, 2005].

Debido a la diversidad de este sector industrial, no es posible detallar ni los consumos ni las emisiones. Éstos dependen de:

- el tipo de procesos aplicados,
- los tratamientos finales aplicados,
- los productos, y
- el volumen de producción.

Se puede encontrar información general y las técnicas apropiadas en el capítulo 20.

### **13.4 Técnicas a considerar en la determinación de MTD para el pintado en serie de otras superficies metálicas**

En el capítulo 20 se discuten las técnicas que podrían aplicarse también al pintado en serie de otras superficies metálicas. En el apartado 20.7 se discuten las técnicas relevantes para la aplicación de pinturas. Estas técnicas podrían aplicarse también al pintado en serie de otras superficies metálicas. En la Tabla 13.1, se muestran las técnicas generales relevantes para el pintado en serie de otras superficies metálicas que se describen en el capítulo 20 y en el apartado 20.7. Normalmente, dichas técnicas no se repiten en esta sección, a no ser que se disponga de información específica para esta industria. Una descripción del tipo de información considerada para cada técnica se encuentra en Tabla 20.1.

La hoja resumen del EGTEI para la aplicación industrial de pinturas (véase el anexo 24.1.1) da algunos datos sobre la rentabilidad económica en el ámbito europeo de algunas técnicas para reducir las emisiones de COV. No obstante, el enfoque del EGTEI tiene que limitar necesariamente su complejidad y sólo se muestran las técnicas clave sin considerar otros factores de las MTD, como los efectos cruzados o las características técnicas de determinadas instalaciones o productos [142, EGTEI, 2005].

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

**Tabla 13.1: Referencias a las técnicas aplicables en general en el sector**

### 13.4.1 Nuevos sistemas de revestimiento múltiple para la pintura de llantas de aluminio

**Descripción:** Un nuevo centro de producción de llantas de aluminio ha conseguido lo siguiente:

- replazar el cromo hexavalente en el pretratamiento por un sistema sin metales pesados;
- replazar la pintura de base disolvente por un recubrimiento con pintura en polvo (resina acrílica);
- replazar la pintura metalizada de base disolvente por una pintura metalizada de base acuosa para reducir las emisiones de COV.

Además, el proceso seleccionado cumple unos estándares técnicos altos, así como los estándares de calidad de los clientes y debería ser optimizado económicamente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La técnica tiene los siguientes beneficios (véase la Figura 13.):

- ha acabado con el uso de cromo(VI);
- la aplicación de pintura al agua para la capa base metálica mediante una combinación de conos de alta velocidad de rotación y pulverización HVLP lleva a un nivel de eficacia del 80 %;
- el revestimiento en polvo para la capa base consiguió una eficacia de aplicación del 98 %;
- se ha conseguido una eficacia de aplicación del 98 % para la capa final con revestimiento en polvo a base de resinas acrílicas; y
- las emisiones de COV se han reducido aproximadamente en un 94 %.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Véase la Tabla 13.2 y la Tabla 13.3.

		Proceso convencional		Proceso nuevo	
		Consumo de pintura	Aplicación de sólido	Consumo de pintura	Aplicación de sólido
<b>Revestimiento /capa base</b>	Polvos básicos	80-100 g		80-100 g	
	Eficacia de la aplicación	98 %		98 %	
<b>Capa base metálica</b>	Pintura húmeda de base disolvente	< 60 g	12,5 g (aprox.)	–	–
	Pintura húmeda al agua	–	–	35 g	< 10 g
	Eficacia de la aplicación	50-60 %		80 %	
<b>Capa de revestimiento transparente</b>	Revestimiento transparente de base disolvente	< 60 g	15 g	–	–
	Polvos	–	–	45 g	
	Eficacia de la aplicación	50-60 %		98 %	

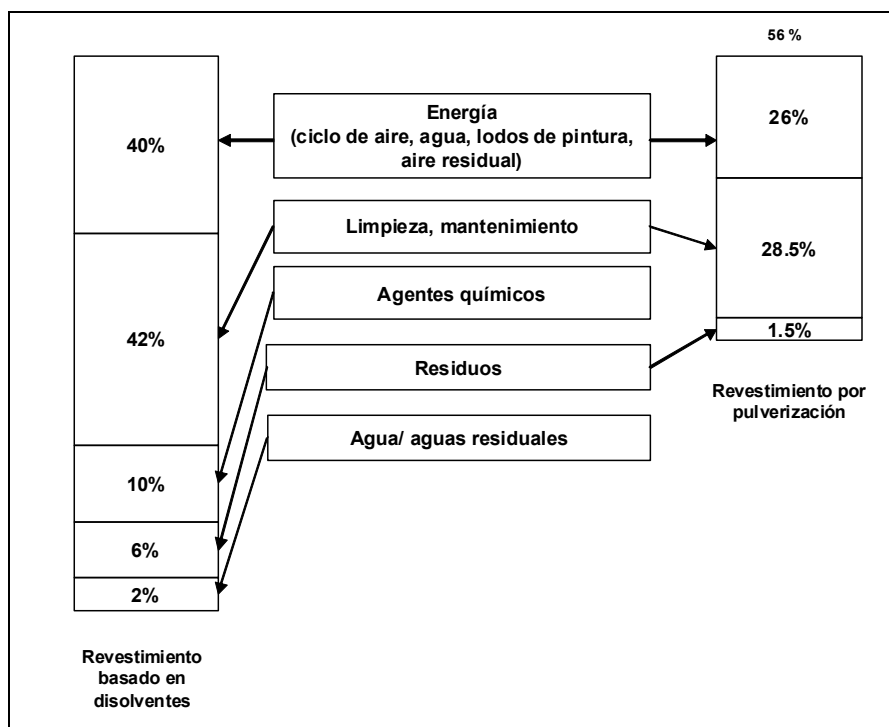
Tabla 13.2: Utilización y consumo de recursos por llanta de aluminio recubierta

	Proceso convencional	Proceso nuevo	Observaciones
<b>Revestimiento/capa base</b>			
Polvos residuales	< 2,5 t/a	< 2,5 t/a	No hay cadena de producción porque se realiza el mismo paso del proceso
<b>Capa de la base metálica</b>			
COV	37 t/a (aprox.)	4 t/a (aprox.)	Reducción aproximada del 90 % gracias al revestimiento de base acuosa
Cantidad de sólidos en aguas residuales	8 t/a (aprox.)	2 t/a (aprox.)	Reducción y sustitución de sustancias peligrosas, Cr (VI)
<b>Capa de revestimiento transparente</b>			
COV	29 t/a (aprox.)	0 t/a	Reducción aproximada del 100 %
Cantidad de sólidos en aguas residuales	20 t/a (aprox.)	–	Reducción aproximada del 100 %
Polvos residuales		1 t/a (aprox.)	Residuo nuevo

Tabla 13.3: Emisiones relativas a 1 millón de llantas/a

**Aplicabilidad:** Aplicable en las instalaciones nuevas.

**Aspectos económicos:** La inversión de capital para la nueva instalación asciende a 3,975 millones de EUR. El proceso funciona desde el punto de vista económico, especialmente por el nivel alto de automatización y el grosor de la capa controlado y minimizado.



**Figura 13.4:** Comparación del uso de revestimiento transparente de base disolvente respecto al uso de revestimiento transparente en polvo

**Motivo principal para su aplicación:** La Directiva sobre emisiones de disolventes (1999/13/CE).

**Ejemplos de instalaciones:** BBS Kraftfahrzeugtechnik AG, Alemania.

Bibliografía de referencia: [105, UBA - DE, 2002]



## 14 INDUSTRIAS DE RECUBRIMIENTO DE BOBINAS

[58, ECCA, 2004, 76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005]

### 14.1 Información general sobre el recubrimiento de bobinas

Un proceso de recubrimiento de bobinas se define, según EN-10169-1:1996, de la forma siguiente: *«Método mediante el cual se aplica un recubrimiento orgánico sobre una cinta de metal utilizando un proceso continuo. Este proceso incluye la limpieza y el tratamiento químico previo de la superficie metálica y una o múltiples aplicaciones, bien sea sobre una o dos caras, de pinturas (líquidas) o polvos para recubrimiento, que a continuación se someten a un proceso de curado o una laminación con capas plásticas».*

Generalmente, el sustrato es acero laminado en frío recubierto con zinc o con una aleación de zinc (75 %) o bien aluminio (25 %) expresados en términos de área superficial. El 95 % de los recubrimientos consiste en pinturas y el 5 % en laminados de plástico. Este último tipo de recubrimiento está experimentando un rápido crecimiento en la actualidad, particularmente como combinación de prepintado y laminado.

El proceso de recubrimiento de bobinas ofrece la posibilidad de obtener una amplia gama de colores, niveles de brillo y texturas superficiales. La bobina se puede entregar en forma de bobina, cortada longitudinalmente o recortada en piezas a medida. A continuación se puede doblar, perfilar, embutir en profundidad, remachar, etc., sin detrimento del recubrimiento superficial. Todas las fases del proceso se encuentran bajo control permanente, por ejemplo, la concentración y temperatura de los baños químicos, los grosores de recubrimiento, el color, el brillo, la adhesión y las propiedades mecánicas del recubrimiento.

#### 14.1.1 Dimensiones de la industria de recubrimiento de bobinas

La mayoría de las instalaciones de recubrimiento de bobinas en Europa se encuentran integradas en grandes grupos de producción de acero o de aluminio, proporcionando generalmente grandes cantidades de metal prerrecubierto. Algunos recubridores de bobinas, tales como los recubridores de bobinas de cintas estrechas y los centros de servicios especializados (cada vez más habituales), por ejemplo, entregan al usuario cantidades menores y más personalizadas.

Actualmente existen alrededor de 390 líneas en todo el mundo (fuera de América del Norte y del Sur), instaladas en 50 países, con nuevas capacidades todavía emergentes, como demostración de la creciente demanda.

La Tabla 14.1 muestra el número de líneas de producción por país situadas en Europa y los volúmenes de producción anual de acero y aluminio prerrecubiertos. Se desconoce si todas ellas se encuentran dentro del ámbito de la directiva IPPC.

	Número de líneas de producción	Volumen anual de líneas de prepintado de bobinas	
		Acero (kt/a)	Aluminio (kt/a)
Austria	2	375	
Bélgica	7	670	8
Dinamarca	3	20	10
Finlandia	2	270	*
Francia	17	1415	45
Alemania	24	1469	382
Grecia	4	60	50
Irlanda	0	0	0
Italia	34	1225	197
Luxemburgo	0	0	0
Países Bajos	15	170	55
Portugal	2	40	*
España	18	428	68
Suecia	13	350	*
Reino Unido	9	510	10
República Checa	1	40	
Hungría	1	90	*
Polonia	4	200	10
República Eslovaca	2	80	5
<b>Total</b>	<b>158</b>	<b>7412</b>	<b>840</b>
		<b>8252</b>	
Nota:			
*Los datos correspondientes a acero y aluminio no están separados, de modo que el total se ha considerado sobre las cifras correspondientes al acero.			

**Tabla 14.1: Número de líneas de producción y producción anual de acero y aluminio precubierto en algunos países europeos**

[58, ECCA, 2004]

Los productos de lámina metálica precubierta son ampliamente utilizados en industrias tan diversas como la edificación y construcción, productos de consumo, industria de la automoción, mobiliario, iluminación, embalajes técnicos, etc. La escala del ritmo de crecimiento de productos precubiertos se puede apreciar en la Tabla 14.2 donde se muestran las cifras del año 2002 correspondientes a acero y aluminio prepintados.

	Acero		Aluminio	
	(kt)	(%)	(kt)	(%)
ECCA (1)	4674	31,3	344	36
NCCA (2)	4179	28	558	58,4
Resto del mundo	6064	40,7	53	5,6
<b>Total</b>	<b>14 917</b>	<b>100</b>	<b>955</b>	<b>100</b>
Notas:				
- ECCA – European Coil Coating Association (Asociación europea del recubrimiento de bobinas)				
- NCCA – National Coil Coating Association (Asociación nacional del recubrimiento de bobinas, de los EE.UU.)				

**Tabla 14.2: Estadísticas correspondientes al recubrimiento de bobinas durante el año 2002**

[58, ECCA, 2004]



## 14.2 Procesos y técnicas aplicados en el recubrimiento de bobinas

[58, ECCA, 2004], [71, BSTSA], [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005]

Una línea de recubrimiento de bobinas recubre sustratos metálicos de productos en forma de cinta bobinada con pintura o con un laminado. Éstos se aplican típicamente sobre acero o aluminio laminados en frío, galvanizados en caliente o galvanizados electrolíticamente. También es posible recubrir aleaciones de cobre, acero inoxidable y otros sustratos metálicos.

### 14.2.1 Descripción del proceso típico de una línea de recubrimiento de bobinas

Una línea típica de recubrimiento orgánico de bobinas comprende un sistema de desenrollado, un acumulador de entrada de plancha, limpieza, recubrimiento de conversión, recubrimiento de imprimación, recubrimiento de acabado, un acumulador de salida y sistemas de rebobinado. Esta configuración permite que la línea pueda operar de forma continua a alta velocidad, los siete días de la semana y las veinticuatro horas del día, para obtener la máxima eficiencia. Todos los parámetros del proceso están controlados para garantizar una operación eficaz.

La Tabla 14.3 muestra los parámetros típicos de funcionamiento de una línea de recubrimiento orgánico de bobinas, y la Figura 14.1 muestra la disposición básica de la línea.

Parámetro	Valor
Velocidades de operación (m/min)	30 – 180
Calibre (mm)	0,1 – 2
Anchura (mm)	150 – > 1600
Grosor del recubrimiento ( $\mu\text{m}$ sobre cada cara)	1 – 200

Tabla 14.3: Parámetros típicos de funcionamiento de una línea de recubrimiento orgánico de bobinas

[58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004]

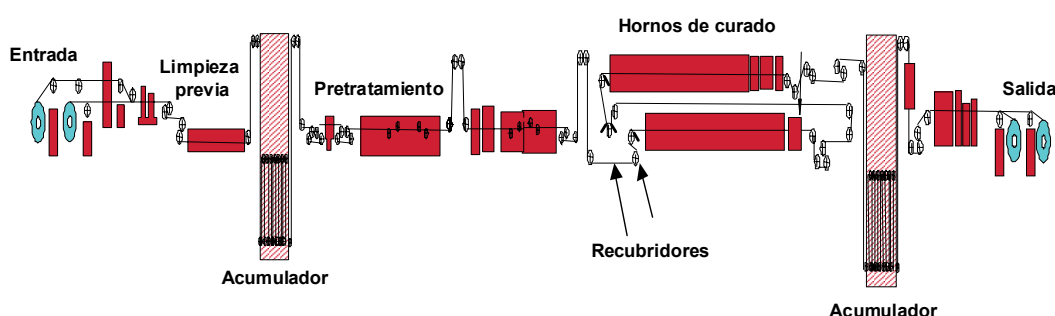


Figura 14.1: Disposición típica de una línea de recubrimiento de bobinas

[58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004]

Las secciones siguientes describen con más detalle las distintas partes de la línea de recubrimiento de bobinas.

### 14.2.1.1 Entrada

La plancha bobinada se introduce en la línea mediante un carro portarrollos y una devanadora. La bobina se mide para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad y, a continuación, se guillotina para eliminar cualquier material dañado del borde entrante. Entre el borde entrante de la nueva bobina y el final de la bobina que ya está siendo procesada en la línea, se crea una costura o soldadura para permitir el flujo continuo de material a través de la sección de procesamiento. A continuación, la plancha pasa a través de una ranuradora, lo cual permite el seguimiento de la costura a lo largo de la línea.

### 14.2.1.2 Nivelador

A continuación se puede utilizar la nivelación de tensión para garantizar la consecución de un buen estándar de planitud. Esto es necesario para facilitar el paso del material a través de los recubridores de rodillo y de los hornos, así como para cumplir los requerimientos del cliente. Una forma pobre de la plancha puede dar lugar a una capa de pintura desigual y a la aparición de rayas.

### 14.2.1.3 Acumulador

Después del nivelador, la plancha se introduce en un acumulador de entrada. Éste generalmente funciona a su máxima capacidad pero suelta la plancha almacenada dando tiempo suficiente a la sección de entrada para detenerse y coser o soldar las bobinas entre sí.

### 14.2.1.4 Sección de limpieza

La plancha se limpia y desengrasa químicamente en una disolución limpiadora acuosa, mediante un sistema de inmersión o pulverización. Es esencial que la superficie de la bobina esté libre de impurezas, tales como grasa, aceite o polvo metálico abrasivo, de modo que pueda ser recubierta completamente con el recubrimiento de conversión, garantizando así el rendimiento óptimo del producto final. La limpieza va seguida de enjuagues con agua caliente y fría para eliminar todos los residuos químicos. Generalmente se utiliza una configuración con un rodillo escurridor para garantizar que se produce un arrastre reducido procedente de la sección de desengrasado. En el caso de sustratos muy sucios, es posible instalar una sección de limpieza previa antes del acumulador de entrada.

### 14.2.1.5 Recubrimiento de conversión (pretratamiento)

La plancha se seca antes de ser tratada con un recubrimiento de conversión. Este recubrimiento generalmente contiene sales de cromo o bien libres de cromo y proporciona una superficie activada que permite que la capa de pintura orgánica se adhiera a la superficie metálica de la plancha. Para metales tales como el acero laminado en frío o en caliente y diversas formas de acero galvanizado, es posible aplicar un recubrimiento de fosfato de hierro o de zinc en su lugar. Típicamente, también se utilizan aditivos especiales para promover el depósito del recubrimiento sobre distintos metales y para aumentar la eficiencia del proceso. La presencia de este recubrimiento de conversión mejora la adherencia de la pintura y la resistencia a la humedad y, por lo tanto, mejora la resistencia a la corrosión a largo plazo del producto final. El recubrimiento puede ser aplicado mediante un recubridor químico de rodillos («chemcoater», que no requiere enjuagado) o mediante un sistema de pulverización/inmersión y rodillo escurridor. Algunos recubrimientos requieren un enjuagado final para eliminar cualquier residuo restante sobre el componente de la plancha. El componente se seca al horno antes de entrar en la sección de recubrimiento.

### 14.2.1.6 Aplicación de un recubrimiento de imprimación

El proceso de pintado comprende dos fases, a saber 1) aplicación de la imprimación y 2) aplicación del acabado final. En la primera fase, la plancha pasa a través de una máquina recubridora con rodillos que aplica una imprimación sobre ambas caras de la plancha. El recubridor de rodillo se puede ajustar para regular la cantidad de pintura aplicada sobre las superficies de la plancha. Las operaciones de recubrimiento se llevan a cabo en una área cerrada donde está prohibido fumar, y que está adecuadamente ventilada para garantizar unas condiciones de trabajo seguras para el personal, de acuerdo con las legislaciones locales y europeas.

Tras la aplicación de la imprimación, la plancha pasa a través de un horno, cuya temperatura y tiempo de residencia se controlan para garantizar que todos los elementos volátiles se eliminan y que la pintura se cura adecuadamente. Este proceso dependerá del sistema de pintura aplicado y del área de la sección transversal de la plancha. Tras el curado en el horno, la plancha se enfría mediante un sistema de refrigeración por aire o bien por agua y, en algunos casos, por ambos.

### 14.2.1.7 Aplicación del recubrimiento de acabado

Una vez seca, la plancha pasa a través de una segunda máquina de recubrimiento por rodillos, la cual aplica el recubrimiento de pintura de acabado sobre una o ambas caras. En la cara posterior de la bobina se puede aplicar un recubrimiento similar u otro distinto. También en este caso es posible controlar el grosor de la pintura aplicada sobre cada cara de la plancha. A continuación, la plancha pasa a través de un sistema de hornos a la temperatura adecuada para garantizar que todos los elementos volátiles se eliminan y que la pintura se cura completamente. Tras el curado en el horno, la plancha se enfría mediante un sistema de refrigeración por aire o bien por agua y, en algunos casos, por ambos.

En el caso de producción de productos de plastisol, es posible utilizar un rodillo de gofrado para estampar un patrón sobre la superficie pintada en caliente antes de su enfriamiento.

El adhesivo necesario para la producción de materiales laminados puede ser aplicado por cualquiera de los cabezales del sistema de recubrimiento por rodillos. Éste se cura en un horno a continuación y a después se procesa a través del laminador.

Todas las operaciones de recubrimiento se llevan a cabo en un área cerrada donde está prohibido fumar, y que está adecuadamente ventilada para garantizar unas condiciones de trabajo seguras para el personal.

### 14.2.1.8 Dispositivo de gofrado/laminador

Los rodillos de gofrado se utilizan para estampar patrones o texturas en los recubrimientos más gruesos. El gofrado va seguido de procesos de enfriamiento y secado.

Para la producción de materiales laminados, se adhieren rollos de una fina película de base de polímero a la plancha con o sin adhesivo aplicado por separado. La película se aplica sobre el recubrimiento en caliente mediante la presión de un rodillo, y seguidamente se enfría y se seca como en el caso del recubrimiento con pintura.

### 14.2.1.9 Sistemas de enfriamiento

Para minimizar el uso de agua, de forma consistente con el mantenimiento de la calidad del producto, es posible utilizar una torre de enfriamiento por evaporación o de otro tipo para disponer de un sistema de circuito cerrado destinado al enfriamiento de las planchas.

### 14.2.1.10 Salida

Después del enfriamiento, la plancha atraviesa un acumulador de salida y una guillotina/cortadora. Este acumulador permite que la línea funcione de forma continua mientras la sección saliente se ralentiza o detiene para retirar una bobina terminada. La plancha se inspecciona y se somete a pruebas para garantizar que cumple con los estándares de calidad y, a continuación, se bobina sobre un enrollador de tensión. La bobina terminada se retira y se fleja. A continuación se identifica y se mueve hacia el área de embalado, donde se empaqueta de acuerdo con los requisitos del cliente.

### 14.2.2 Tipos de recubrimiento

Puesto que la línea de recubrimiento de bobinas tiene la capacidad de aplicar pinturas o laminar sustratos, es posible producir una gran variedad de productos. Los recubrimientos, que incluyen poliésteres, PVF<sub>2</sub>, poliuretanos, plastisoles, recubrimientos de epoxi y epoxifenólicos, capas de imprimación, recubrimientos por el reverso y laminados, se aplican típicamente con grosores de entre 1 y 200 micras.

Sobre la lámina metálica pretratada se aplica una capa de imprimación o un recubrimiento de base flexible anticorrosivo para proporcionar una buena adhesión y durabilidad al recubrimiento protector que se aplica a continuación. Para cada producto, el recubrimiento se construye con un cierto número de capas. En la Figura 14.2, se puede ver un ejemplo típico de un material de acero recubierto.

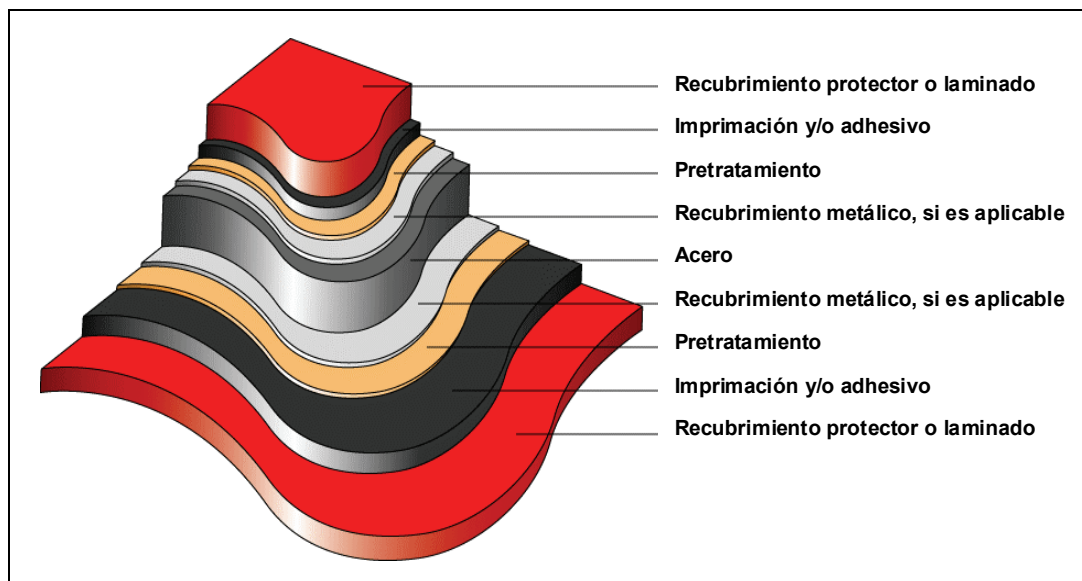


Figura 14.2: Capas típicas de un producto recubierto de acero

[58, ECCA, 2004]

La Tabla 14.4 lista algunos tipos típicos de recubrimientos orgánicos utilizados en la industria del recubrimiento de bobinas.

Recubrimiento	Grosor de la capa seca (µm)	Tipos de resinas	Concentración de disolvente (%)	Tipos de disolvente	Temperatura de curado (°C)
<b>Imprimaciones Convencionales</b>	4 – 9	Epoxi/urea Epoxi/melamina Poliéster/melamina Poliuretano Acrílico	50 – 70	Aromáticos con alto punto de ebullición; alcoholes; glicol éteres/ésteres; ésteres con alto punto de ebullición	210 – 230
<b>Imprimaciones Gran espesor</b>	12 – 25	Poliéster/melamina Poliuretano	40 – 50	Aromáticos con alto punto de ebullición; alcoholes; glicol éteres/ésteres; ésteres con alto punto de ebullición	210 – 230
<b>Recubrimientos por el reverso</b>	4 – 15	Poliéster/melamina Epoxi/melamina Epoxi/fenólico Alquídico/melamina	50 – 70	Aromáticos con alto punto de ebullición; alcoholes; glicol éteres/ésteres	180 – 250
<b>Recubrimientos protectores</b>					
Poliéster	18 – 25	Poliésteres saturados reticulados con melamina/resinas de formaldehído	35 – 55	Aromáticos con alto punto de ebullición; glicol éteres/ésteres; Ésteres/alcoholes con alto punto de ebullición	210 – 230
<b>SMP</b> (poliéster modificado con silicona)	Como se indica anteriormente	Como se indica anteriormente, salvo por la modificación de la resina de poliéster con silicona	45 – 55	Aromáticos con alto punto de ebullición; glicol éteres/ésteres; ésteres con alto punto de ebullición	210 – 230
Poliuretano	20 – 30	Poliésteres saturados reticulados con uretano	30 – 50	Aromáticos con alto punto de ebullición; glicol éteres/ésteres; ésteres con alto punto de ebullición	220 – 240
<b>PVDF</b> <b>PVF<sub>2</sub></b>	20 – 25	Difluoruro de polivinilideno + polímero acrílico	40 – 65	Aromáticos con alto punto de ebullición; glicol éteres/ésteres; cetonas con alto punto de ebullición	240 – 260
<b>PVC plastisol</b>	100 – 200	Policloruro de vinilo + plastificantes	< 10	Ésteres con alto punto de ebullición Alifáticos con alto punto de ebullición	190 – 210
<b>Recubrimientos protectores</b>					
<b>Productos de base acuosa</b> (incluye algunas imprimaciones y capas posteriores)	10 – 25	Acrílico/melamina	5 – 15	Ésteres con alto punto de ebullición glicol éteres/ésteres	220 – 230
<b>Recubrimientos anti adherentes para material de cocina</b>	12 – 15 (2 capas 7+7)	Poliéter sulfona Teflón	65 – 80	N-metil pirrolidona Butirolactona; aromáticos con alto punto de ebullición;	350 – 370
<b>Recubrimientos con películas laminadas</b>	15 – 120	Cloruro de polivinilo, PVC; fluoruro de polivinilo, PVF; tereftalato de polietileno, PET; acrílico; polipropileno	0	Ninguno en la película, pero utilizado en la imprimación/adhesivo	Laminación a 180 – 230
<b>Recubrimientos en polvo</b>	35 – 100	Poliéster/epoxi poliuretano	0		200 – 250

**Tabla 14.4: Tipos de recubrimientos orgánicos utilizados en la industria del recubrimiento de bobinas**

[58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004]

## 14.3 Consumo actual y niveles de emisión en recubrimiento de bobinas

[13, DFIU e IFARE, 2002], [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005]

### 14.3.1 Balances de masa

En las secciones siguientes se detallan los datos generales de consumo y de emisiones procedentes de procesos de recubrimiento de bobinas. Sin embargo, también se han recopilado diversos datos de consumo y de emisiones correspondientes a algunas plantas específicas, que se detallan en las secciones relevantes a continuación.

### 14.3.2 Consumos

[13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 14.3.2.1 Materiales

[128, TWG, 2005]

La Tabla 14.5 lista el uso de recubrimientos orgánicos en 1993 y 2002.

Tipos de recubrimientos	Uso relativo (%)	
	1993	2002
<b>Imprimaciones</b>	16,5	20
<b>Recubrimientos por el reverso</b>	13,2	16,6
<b>Recubrimientos protectores</b>		
Poliéster	36,1	39
SMP (poliéster modificado con silicona)	3,4	0,2
Poliuretano	Desconocido	6,2
PVdF (difluoruro de polivinilideno)	2,7	2,2
PVC plastisol	19,9	14,1
De base acuosa	0,4	0,2
Capas laminadas	6	6
Polvo	Desconocido	~0,5
Acrílico (de base disolvente) - larga tradición histórica	0,3	0,002
Otros	7,5	1
<b>Uso total europeo</b>	<b>95 000 t/a</b>	<b>158 000 t/a</b>

**Tabla 14.5: Uso de recubrimientos orgánicos entre 1993 y 2002**

[58, ECCA, 2004]

En los procesos de recubrimiento de bobinas con materiales orgánicos se utilizan los materiales siguientes:

- sustratos metálicos
- pintura
- disolventes
- decapante químico para limpieza y pretratamiento
- aceites industriales
- agua (desmineralizada) (alrededor de 0,3 l/m<sup>2</sup> de bobina)
- otros: biocidas, grasa, materiales de limpieza.

La Tabla 14.6 muestra las entradas del proceso de recubrimiento de bobinas, sus usos y el destino típico al final de su vida útil

Sustancia	Uso	Destino típico al final de la vida útil
<b>Entradas en forma sólida</b>		
Plancha metálica (en forma de bobina)	Sustrato	Producto o material de desecho
Paños para limpiar (tejido)	Limpieza	Se puede lavar para reutilizar
<b>Entradas en forma líquida</b>		
Pintura	Recubrimiento de la plancha	Producto/eliminación autorizada
Disolvente	Lavado y disolución de la pintura	Eliminación autorizada
Limpiadores químicos	Lavado de la plancha	Planta de tratamiento/eliminación autorizada
Productos químicos de pretratamiento	Pretratamiento de la plancha	Producto/planta de tratamiento/eliminación autorizada
Decapador	Limpieza de los cabezales de pintura	Eliminación autorizada
Agua	Refrigeración/tratamiento	Corriente residual/efluentes
Aceites industriales	Lubricante	Eliminación autorizada
Aceites para recubrimiento	Anticorrosión	Producto/eliminación autorizada
Biocidas	Productos químicos para el tratamiento del agua	Corriente efluente residual
<b>Entradas en forma gaseosa</b>		
Vapor o agua caliente (1)	Secado de la plancha/calentado de soluciones	Condensación - sistema de desagüe
Gas natural (1)	Combustible	Productos de la combustión a la atmósfera
Hidrógeno	Control de los hornos	Productos de la combustión a la atmósfera
Etileno en aire	Control de los hornos	Productos de la combustión a la atmósfera
Nota:		
1) Una opción alternativa es utilizar electricidad		

**Tabla 14.6: Entradas del proceso de recubrimiento de bobinas, usos y destino típico al final de su vida útil**  
[58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004]

### Recubrimiento orgánico

En el sector del recubrimiento de bobinas, se utilizan casi exclusivamente recubrimientos de base disolvente; véase Tabla 14.5. Los sistemas de recubrimiento orgánico se basan en poliéster y poliuretano (con una combinación de ambos), epoxi o epoxi fenólico y difluoruro de polivinilideno (PVdF o PVF2). Para superficies especiales, se aplican recubrimientos con láminas termoplásticas basadas en cloruro de polivinilo (PVC) o tereftalato de polietileno (PET), pero también pueden incluir fluoruro de polivinilo (PVF) y otros polímeros.

La base de resina para las imprimaciones puede ser de epoxi, poliéster, poliuretano o acrílica, según sea la especificación en particular. Tradicionalmente, las imprimaciones anticorrosivas se basan en la actividad química de los cromatos de zinc o de estroncio para proporcionar la protección frente a la corrosión. Mientras que sistemas internos y especificaciones menos exigentes han funcionado adecuadamente sin pigmentos de cromatos, el uso de imprimaciones libres de cromatos en recubrimientos de larga duración sometidos a entornos agresivos no está, hoy por hoy, establecido (véase STM BREF [59, EIPPCB, 2006]).

En la Tabla 14.8, se incluyen los disolventes utilizados más frecuentemente.



Tipo de disolvente	Algunos ejemplos
Alcoholes	Diacetona alcohol
Acetatos de glicoles	Acetato de propilenglicol metil éter, acetato de etil diglicol
Glicoles	Butil diglicol, butil glicol, propilenglicol monometil éter
Ésteres con alto punto de ebullición	Ésteres dibásicos, mezclas de dimetil ésteres de ácido adípico, glutárico y succínico
Cetonas	Isoforona
Hidrocarburos procedentes del petróleo	Fracciones aromáticas comerciales, xilol

**Tabla 14.7: Disolventes utilizados más frecuentemente en recubrimientos orgánicos [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]**

Otra fuente indica que, en los Estados Unidos, los disolventes utilizados más frecuentemente incluyen el xileno, tolueno, metil etil cetona (MEK), butanol, diacetona alcohol, isoforona, butil carbinol, alcoholes minerales, etanol, nitropropano, tetrahidrofurano, metil isobutil cetona, isopropanol y di-isoamil cetona, así como muchas mezclas de otros disolventes especiales [57, Rentz, et al., 1999].

Existe una creciente aplicación de recubrimientos en forma de capa fina (alrededor de 3 µm) especialmente en la industrial del automóvil, así como una reducción del uso de plastisoles de cloruro de polivinilo.

Las pinturas de base disolvente que se aplican actualmente tienen un contenido sólido en el rango del 30 – 70 % en peso. El grosor de la capa aplicada en el caso de sistemas de base de acrilato, epoxi, poliuretano o poliéster varía desde menos de 1 hasta 50 µm. Sin embargo, el grosor más frecuente se encuentra alrededor de las 25 µm.

Para plastisoles con un contenido de disolvente del 5 – 10 %, el grosor de la capa es típicamente de 200 µm.

En sistemas de recubrimiento en polvo, el grosor de la capa se encuentra generalmente en el rango de 60 – 100 µm.

Las cifras de consumo típicas por metro cuadrado de bobina recubierta, aplicando una capa de 50 – 60 µm de grosor de un recubrimiento en polvo o líquido se muestran en la Tabla 14.9.

Sistema de pintura	Consumo de pintura (g/m <sup>2</sup> de bobina)
De base disolvente (50 % en peso)	32 – 53
Pintura en polvo	60 – 80
Nota: debido a la diversidad de sistemas de recubrimiento y de estructura de capas, estas cifras representan sólo una aproximación.	

**Tabla 14.8: Consumos de pintura típicos en el recubrimiento de bobinas [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]**

En Alemania, en el año 2000 se aplicaron alrededor de 22 000 toneladas de pintura de base disolvente. En las instalaciones, los disolventes se utilizan a razón de cientos de kilos por hora.

Los consumibles que contienen elementos no disolventes listados en la Tabla 14.10 incluyen productos químicos destinados a la limpieza y pretratamiento.

Proceso	Producto	Método de aplicación	Sustrato	Componentes principales	Ritmo de consumo (kg/1000 m <sup>2</sup> )
Limpieza	Líquido alcalino	Pulverización	Acero laminado en frío Acero recubierto con zinc	Hidróxido de potasio Hidróxido de sodio Fosfatos Agente complejante de base de azúcares Surfactantes	1,6
Limpieza	Líquido alcalino	Pulverización	Aluminio	Hidróxido de potasio Hidróxido de sodio Fosfatos Agente complejante de base de azúcares Surfactantes	2,5
Limpieza	Líquido ácido	Pulverización	Aluminio	Ácido sulfúrico Ácido fosfórico Ácido fluorhídrico Surfactantes	1,3
Pretratamiento	Óxido alcalino (fase 1)	Pulverización e inmersión	Acero recubierto con zinc	Hidróxido de sodio Agente complejante de base de azúcares Nitrato férrico Nitrato de cobalto	4,8
Pretratamiento	Óxido alcalino (enjuagado final)	Pulverización	Acero recubierto con zinc	Cr <sup>6+</sup> , Cr <sup>3+</sup> , Zn, HF	0,94
Pretratamiento	Cromo (sin enjuagado)	«Recubrimiento químico»	Acero laminado en frío Acero recubierto con zinc	Cr <sup>6+</sup> , Cr <sup>3+</sup> , ácido fosfórico	0,52
Pretratamiento	Fosfato de zinc	Pulverización	Acero recubierto con zinc	Fosfato de zinc	6,6
Pretratamiento	Cromo (enjuagado)	Pulverización	Acero recubierto con zinc	Cr <sup>6+</sup> , Cr <sup>3+</sup>	11
Pretratamiento	Libre de cromo (sin enjuagado)	«Recubrimiento químico»	Acero recubierto con zinc	Titanio, manganeso, zirconio, ácido fosfórico, polímero orgánico	0,4
Pretratamiento	Cromo (sin enjuagado)	«Recubrimiento químico»	Aluminio	Cr <sup>6+</sup> , Cr <sup>3+</sup> , ácido fosfórico	0,52
Pretratamiento	Cromo (enjuagado)	Spray	Aluminio	Cr <sup>6+</sup> , Cr <sup>3+</sup> , ácido fosfórico, ácido fluorhídrico	2,00
Pretratamiento	Libre de cromo (sin enjuagado)	«Recubrimiento químico»	Aluminio	Titanio, manganeso, zirconio, ácido fosfórico, polímero orgánico	0,40
Pretratamiento	Libre de cromo (enjuagado)	Pulverización	Aluminio	Titanio, zirconio	2,00
Pretratamiento	Libre de cromo (sin enjuagado)	Pulverización e inmersión		Zirconio	

**Tabla 14.9: Productos químicos que contienen componentes no disolventes**  
[58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 14.3.2.2 Agua

El principal uso del agua está destinado a las estaciones de limpieza y de pretratamiento, aunque también se utiliza una cierta cantidad en el enfriamiento, a continuación del recubrimiento y el gofrado. En el BREF STM se incluyen técnicas y MTD para controlar y reducir el uso de agua. Las técnicas fundamentales son la evaluación comparativa de consumos, véase la sección 20.1.3, y las técnicas analizadas en la sección 20.4, (reutilización y reciclado, regeneración, enjuagado en cascada y controles) [128, TWG, 2005].

### 14.3.2.3 Energía

Generalmente, se utiliza gas natural como combustible para los hornos de curado de la pintura y para la unidad de oxidación térmica (proceso de combustión). Generalmente, se emplea una unidad de oxidación térmica regenerativo o recuperativo. El calor generado se puede utilizar eventualmente en el proceso o para generar vapor o agua caliente. El gas natural también se puede utilizar para calentar el horno en un sistema de recubrimiento sin enjuagado, que sirve para secar la solución de cromato que se aplica sobre la plancha. Para garantizar el control de los parámetros del horno se emplean reguladores y sensores de temperatura. En una planta de acería integrada, la recuperación de energía puede ser conectada al sistema general de suministro de la ubicación.

El uso principal de la electricidad son las operaciones del proceso y los desplazamientos de las bobinas mediante grúas-puente y las transmisiones de la línea, que funcionan todos con energía eléctrica. Los niveles de consumo típicos se muestran en la Tabla 41.10 y la Tabla 14.11 a continuación.

Potencia eléctrica (kWh/1000 m <sup>2</sup> ) Aluminio			Potencia eléctrica (kWh/1000 m <sup>2</sup> ) Acero		
Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
270	360	375	250	350	440

**Tabla 14.10: Uso de electricidad para sustratos de aluminio y acero**  
[58, ECCA, 2004]

Combustibles fósiles (MJ/1000 m <sup>2</sup> ) Aluminio			Combustibles fósiles (MJ/1000 m <sup>2</sup> ) Acero		
Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
4000	7000	9800	3000	6500	10 200

**Tabla 14.11: Consumo de combustibles fósiles para sustratos de aluminio y acero**  
[58, ECCA, 2004]

### 14.3.3 Emisiones

#### 14.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

[13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004] [57, Rentz, et al., 1999].

Los disolventes se liberan en forma de emisiones de COV, especialmente durante las fases del proceso de recubrimiento (aproximadamente el 8 %), secado (aproximadamente el 90 %) y enfriamiento con agua o aire (aproximadamente el 2 %).

En general, existen cuatro fuentes principales de emisiones a la atmósfera en una línea típica de recubrimiento de bobinas. Éstas son:

- vapores (niebla) procedente de la sección de recubrimiento de conversión cuando no se utiliza una zona de secado ni una aplicación por inmersión,
- vapores de las pinturas/disolventes procedentes de los aplicadores de recubrimiento y de los hornos,
- vapores de las zonas de preparación de pinturas y de mezclado,
- emisiones procedentes del sistema de refrigeración. Éstas pueden ser emisiones procedentes de una fuente puntual o emisiones fugitivas.

Las emisiones típicas a la atmósfera se muestran en la Tabla 14.12, a continuación.

Fuente de emisión	Especies emitidas
Unidad de oxidación térmica	COV, CO, NO <sub>x</sub>
Enfriado al aire del horno de acabado	COV
Campana de vapores de laboratorio	Vapores diversos en niveles bajos
Ventilación destinada a la salud en el trabajo de las salas de recubrimiento	COV
Emisiones de escape del lavador de pretratamiento	Ácido crómico Hidróxido de potasio Hidróxido de sodio
Lavador de prelavado	Hidróxido de potasio Hidróxido de sodio
Lavador con tanque de HCl	Vapor de HCl
Vapores del tanque de floculación	SO <sub>2</sub>

**Tabla 14.12: Emisiones a la atmósfera típicas procedentes de procesos de recubrimiento de bobinas (todas ellas son fuentes puntuales)**  
[58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

Las emisiones típicas a la atmósfera procedentes de fuentes puntuales utilizando equipamiento de depuración son COV y óxidos de carbono y de nitrógeno.

Las emisiones de COV y CO de líneas con depuración pueden variar según el producto que se esté fabricando. Aquellos con mayores cargas de disolventes pueden dar lugar a valores superiores de emisiones que aquellos con cargas pequeñas. Los recubrimientos más gruesos (p. ej. plastisoles y laminados) pueden dar lugar a menores emisiones que los recubrimientos en capa fina.

Los niveles de COV procedentes de puntos de emisión sin depuración pueden variar intermitentemente y en ocasiones pueden ser  $> 50 \text{ mg/m}^3$  a causa de actividades intermitentes localizadas que se llevan a cabo en el interior del recinto donde se realiza el recubrimiento, tales como limpiezas rutinarias y limpieza de bandejas. Sin embargo, su volumen en comparación con las emisiones sometidas a depuración continua siendo muy reducido, si bien las emisiones deberán ser revisadas en cada ubicación en particular.

En todo el sector, se consiguen concentraciones en aire limpio de  $< 20 - 50 \text{ mgC/m}^3$ . No se emiten fluoruros procedentes de los sistemas de pintura orgánica, y se utilizan isocianatos bloqueados en algunos recubrimientos puesto que esto elimina las emisiones de isocianatos. Cualquier emisión de  $\text{COV} > 50 \text{ mg/m}^3$  podría incumplir los límites de la SED y por consiguiente sería necesario utilizar métodos de depuración.

La Tabla 14.13, muestra algunos valores específicos de emisión de COV correspondientes a distintos sistemas de recubrimiento con un grosor promedio de recubrimiento de  $55 \mu\text{m}$ . El contenido de COV de los hornos de la planta se encuentra en el rango de  $8,75 - 9,3 \text{ g/m}^3$ , lo cual supone alrededor del 22 % del límite inferior de explosión, que es de  $40 \text{ g/m}^3$ .

Es posible conseguir una eficiencia de captación del 97 % de todas las emisiones de COV que se producen a lo largo del proceso de recubrimiento de bobinas; resultando en un 3 % de emisiones fugitivas de COV. En la situación en que se utiliza un sistema de recubrimiento con un 50 % de contenido de disolvente en combinación con una eficiencia de eliminación del 99 % en el incinerador, se emiten alrededor de 0,04 kg de disolventes por kg de sólidos de recubrimiento empleados.

Sistema de recubrimiento	Emisión específica de COV (g/m <sup>2</sup> de bobina recubierta)	Técnica de depuración
De base disolvente	0,73 – 0,84	Incinerador conectado al horno
De base disolvente (50 % en peso)	28 – 29 <sup>1</sup>	Ninguna
Recubrimiento en polvo	0 – 0,8 <sup>2</sup>	Ninguna
Notas: <sup>1</sup> Valores de concentración obtenidos sin más depuración del flujo de aire <sup>2</sup> Las emisiones de COV guardan más relación con las reacciones de curado que con los disolventes		

**Tabla 14.13: Emisiones de COV de distintos sistemas de recubrimiento**  
 [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

Otras emisiones posibles incluyen isocianatos procedentes de productos de poliuretano o fluoruros procedentes de recubrimientos que contengan fluoruros, casos en que los niveles de emisión son típicamente < 0,1 mg/m<sup>3</sup>.

### 14.3.3.2 Emisiones al agua

[13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004] [59, EIPPCB, 2006]

La principal fuente de agua residual procedente de una línea de recubrimiento de bobinas es la sección de limpieza situada a la entrada y algunos procesos de pretratamiento que requieren un enjuagado posterior (p. ej. pasivación, cromatación). Esta cuestión se analiza en el BREF STM. Los procesos de pretratamiento, independientemente de si contienen cromo o no, también pueden ser aplicados utilizando el denominado «método sin enjuague» (aplicación mediante rodillos). Este método no genera cantidades significativas de aguas residuales. Las soluciones de pretratamiento y limpieza y el agua de enjuagado asociada a ellas, pueden ser tratadas en una planta de tratamiento de efluentes en la misma ubicación o bien retiradas de la misma para su tratamiento o eliminación.

Existen algunas emisiones procedentes del agua de enfriamiento utilizada después del curado de las aplicaciones de capa de imprimación y capa protectora, así como después del gofrado, pero éstas no son especialmente relevantes. Puesto que todos los sistemas de pintado requieren enfriamiento, no hay diferencias en las cantidades de agua residual generada por los distintos sistemas de pintado, pero sí pueden existir ligeras diferencias en los niveles y los tipos de contaminantes. El tipo de emisiones procedente de las secciones de limpieza y pretratamiento de una línea de recubrimiento de acero depende del sustrato metálico y de la naturaleza química de las secciones de limpieza y pretratamiento. Las emisiones pueden incluir zinc, aluminio, cromo, cobalto, hierro, sólidos en suspensión y ácidos o bases que provocan variaciones de pH. Según una referencia también es posible encontrar cobre y níquel. El recubrimiento orgánico utilizado en la línea de recubrimiento de acero también puede influir en los componentes que aparecen en las aguas residuales.

### 14.3.3.3 Residuos

[13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

Para la limpieza de los dispositivos de recubrimiento se utilizan agentes limpiadores que contienen disolventes. Éstos generalmente se recogen y se tratan para su reutilización. La cantidad de disolventes utilizada en una planta es de alrededor de 7000 kg/a. Los residuos de pintura se generan en pequeñas cantidades y se eliminan o se reutilizan para recubrir la cara posterior de las bobinas.

La cantidad de sulfato de hierro cristalino procedente del proceso de galvanizado en una planta es de alrededor de 4000 kg/a y se reutiliza externamente en procesos de fundición. La cantidad de hidróxido de zinc es de alrededor de 7000 kg/a y también se reutiliza en procesos de fundición.

Los residuos generales (residuos no peligrosos) generalmente se recolectan en contenedores de residuos de distintos tamaños y diseños ubicados por toda la planta y, dependiendo de los contenidos de cada contenedor, se envían a distintos lugares para su eliminación. Los residuos generales incluyen, por ejemplo, material de envase y desperdicios en general.

Los residuos peligrosos generalmente se trasladan en cisternas fuera de la instalación para su eliminación o recuperación. Éstos pueden incluir disolventes, pinturas, paños contaminados, aceites y cualquier otro material peligroso. Generalmente, se identifica una ruta adecuada de reciclado/eliminación para cada material y se llevan a cabo las comprobaciones necesarias para garantizar que éste se transfiere a una instalación autorizada. Para transportar el material se utiliza un transporte autorizado. Los residuos van acompañados del necesario albarán de envío o nota de expedición de residuos especiales.

La Tabla 14.14, indica algunas características de los principales residuos derivados del proceso de recubrimiento de bobinas y su ruta de reciclado o eliminación.

Fuente en la planta de procesamiento	Residuo o subproducto	Ruta de reciclado o eliminación	Estado físico
Chatarra	Chatarra	Reciclado	Sólido
Recubrimiento	Pintura sobrante	Eliminación autorizada	Líquido
	Disolvente usado	Eliminación autorizada	Líquido
	Residuos de pretratamiento	Planta de tratamiento/eliminación autorizada	Líquido
	Limpiadores alcalinos, limpiadores ácidos	Planta de tratamiento/eliminación autorizada	Líquido
	Aguas de enjuagado	Planta de tratamiento/eliminación autorizada	Líquido
	Agua de enfriamiento	Aguas superficiales/desagüe	Líquido
General	Materiales contaminados con aceite	Eliminación autorizada	Sólido
	Residuos generales (incluyendo embalaje)	Residuos generales para eliminación en vertedero	Sólido
	Residuos de papel (oficina)	Reciclado por un contratista autorizado	Sólido
	Aceites industriales residuales	Eliminación autorizada	Líquido

**Tabla 14.14: Residuos típicos de una línea de proceso de recubrimiento de bobinas [58, ECCA, 2004]**

### Chatarra

Generalmente, la chatarra resultante del proceso puede ser reciclada o reutilizada. La cantidad de chatarra producida durante el proceso dependerá en gran medida de la anchura y del calibre del sustrato que se utilice y, por consiguiente, normalmente no está relacionado de forma directa con el sistema de pintura que se esté fabricando. El aluminio se recupera mediante la refundición en hornos especiales, donde se consigue su recuperación utilizando la energía equivalente a tan sólo un 5 % de la energía utilizada en su producción inicial. La chatarra de acero generalmente se recupera cargando la chatarra, incluyendo productos pintados, como materia prima en el reactor de obtención de acero por soplado con oxígeno. Los estudios han mostrado que el acero recubierto con plastisol también se puede reciclar de este modo, sin que se produzcan efectos adversos sobre las emisiones resultantes de este proceso. El recubrimiento genera energía como resultado de refundir la plancha de acero/aluminio.

## 14.4 Técnicas a tener en cuenta en la determinación de las MTD para el recubrimiento de bobinas

En el capítulo 20, se analizan técnicas que también podrían ser aplicables al recubrimiento de bobinas. En la sección 20.7, se analizan técnicas relacionadas con la aplicación de pinturas. Estas técnicas también pueden ser aplicables al recubrimiento de bobinas. En la Tabla 14.15, se muestran las técnicas generales relevantes para el recubrimiento de bobinas descritas en el capítulo 20 o sección 20.7. Estas técnicas no se repiten en esta sección, a menos que se disponga de información específica para este sector. En Tabla 20.1 se describe el tipo de información analizada para cada técnica.

La hoja de resumen EGTEI para el recubrimiento de bobinas (véase el anexo 24.1.1) proporciona algunos datos sobre el coste- beneficio de algunas técnicas para reducir las emisiones de COV en el ámbito europeo. Sin embargo, la aproximación EGTEI necesita limitar su complejidad, así que sólo se indican las técnicas esenciales sin considerar los demás factores de las MTD, tales como efectos entre distintos medios o las características técnicas de las instalaciones específicas.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 14.15: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector



## 14.4.1 Gestión del agua

### 14.4.1.1.1 Reutilización del agua dentro de la planta

Para una descripción general, véase la sección 20.4.1.2. Esta técnica es ampliamente utilizada en el sector del recubrimiento de bobinas.  
[58, ECCA, 2004]

### 14.4.1.1.2 Control del agua de enjuague antes de su vertido mediante medidas de conductividad

Para una descripción general, véase la sección 20.4.1.4. Esta técnica es ampliamente utilizada en el sector del recubrimiento de bobinas.  
[58, ECCA, 2004]

### 14.4.1.2 Enjuagado en cascada inversa

Para una descripción general, véase la sección 20.4.1.3. Esta técnica es ampliamente utilizada en el sector del recubrimiento de bobinas.  
[58, ECCA, 2004]

## 14.4.2 Recubrimientos convencionales de base disolvente

**Descripción:** La mayoría de las pinturas para el recubrimiento de bobinas son de base de disolvente, con contenidos de disolventes desde menos del 10 % hasta más del 70 % para algunas aplicaciones específicas. Los COV emitidos se captan y se depuran.

Para más detalles, véase la sección 20.7.2.1, la Tabla 14.4 y la Tabla 14.5

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

## 14.4.3 Reemplazo de los recubrimientos de base disolvente (sustitución)

### 14.4.3.1 Recubrimientos de alto contenido en sólidos

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.2. Se aplican sistemas de recubrimiento de alto contenido en sólidos del 70 – 95 % en procesos de recubrimiento de bobinas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La reducción de los COV extraídos supone menores exigencias en el equipamiento de depuración. La menor carga de disolventes en el interior de los hornos puede permitir la reducción del flujo de aire extraído o el aumento de la velocidad de la línea para una cierta concentración en el aire. Esto reduce el uso de gases en la unidad de oxidación térmica, reduce el uso de disolventes y disminuye los volúmenes a transportar.

**Efectos cruzados:** La reducción de vapores de disolvente en la corriente residual puede dar lugar a un aumento en la necesidad de combustible gas/fósil en la unidad de oxidación térmica, o una reducción de la energía recuperada para precalentar el aire en el horno.

**Información operativa:** Los recubrimientos de plastisol de PVC generalmente contienen menos del 10 % de disolvente. Éstos suponen alrededor del 15 % de capas de protección en el recubrimiento de bobinas, pero se aplican en grosores mucho mayores. Existe una tendencia para reducir los contenidos de disolvente utilizando otras composiciones químicas de recubrimiento, consistentes con las exigencias sobre las propiedades de la aplicación y sobre el rendimiento del producto final.

**Aplicabilidad:** No son adecuados para todas las aplicaciones. Las alternativas de recubrimientos de alto contenido en sólidos todavía no están disponibles para cumplir con las especificaciones de rendimiento de muchos de los usos finales del recubrimiento de bobinas. El uso de la tecnología de recubrimientos de alto contenido en sólidos se ve limitado por su capacidad para cubrir las exigencias sobre las propiedades de aplicación y el rendimiento.

**Aspectos económicos:** Los recubrimientos de alto contenido en sólidos requieren la aplicación de una capa húmeda de grosor inferior para alcanzar un mismo grosor de la capa una vez seca. Esto supone un mayor esfuerzo de los rodillos de aplicación y puede dar lugar a mayores costes de mantenimiento y un mayor consumo de energía eléctrica para impulsar el sistema de recubrimiento.

**Motivo principal para su aplicación:** La menor carga de disolventes en el interior de los hornos puede permitir mayores velocidades de línea – mayor eficiencia, menor necesidad de energía. SED.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002], [58, ECCA, 2004]

### 14.4.3.2 Recubrimientos de base acuosa

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.3. Las pinturas de base acuosa contienen resinas solubles o dispersables en agua. Generalmente se basan en resinas de poliéster, acrílico, melamina o epoxi. La mayoría de las pinturas diluibles en agua disponibles también contienen hasta un 20 % de disolventes orgánicos como coalescentes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Eliminación o importante reducción de las emisiones de disolventes procedentes de los sistemas de recubrimiento. La aplicación de sistemas de recubrimiento de base acuosa representa una posibilidad para la reducción de las emisiones de COV en origen.

**Efectos cruzados:** A causa del contenido en disolventes, alrededor del 20 %, y de la elevada carga anual, es necesario un tratamiento de gases residuales con el alto consumo de energía asociado.

El agua tiene una energía de vaporización mayor que los disolventes orgánicos, de modo que los recubrimientos de base acuosa pueden necesitar mayores aportaciones de energía en los hornos de curado y, a menos que estén totalmente libres de disolventes, se necesitará, de todos modos,

la depuración de los gases de salida, lo cual, de nuevo, puede dar como resultado un elevado consumo de gas. Los sistemas de base acuosa pueden presentar dificultades en las operaciones de limpieza del equipamiento del sistema de recubrimiento, exigiendo agentes limpiadores más potentes que los recubrimientos de base disolvente

**Información operativa:** Los sistemas de base acuosa generalmente utilizan aminas para la estabilización del pH. Los experimentos con estas aminas en una compañía han puesto de manifiesto problemas importantes en relación con la protección de los empleados.

**Aplicabilidad:** Los sistemas de pintura al agua no son aplicables para una amplia gama de usos. Actualmente, las pinturas al agua procesadas no superan el 0,2 % del consumo total de pinturas en los procesos de recubrimiento de bobinas en la Europa occidental. Si se utilizan recubrimientos de base acuosa, en la mayoría de los casos la aplicación se limita a imprimaciones y recubrimiento de la cara posterior o recubrimientos iniciales. Los sistemas de recubrimiento de base acuosa han sido utilizados en algunas líneas de recubrimiento de bobinas durante muchos años, pero no son aplicables a una amplia variedad de especificaciones de usos finales. Se pueden utilizar en líneas dedicadas a una gama limitada de productos donde el desarrollo de una formulación específica satisfaga las exigencias de rendimiento.

**Aspectos económicos:** Los sistemas de recubrimiento de base acuosa no suponen aumentos importantes en los costes, pero se pueden producir problemas de corrosión en el almacenamiento, equipamiento de bombeo y de aplicación así como en los hornos y los conductos de gases de escape. El reemplazo de equipamiento con alternativas de acero inoxidable es típicamente más caro.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Una planta en Austria.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004]

### 14.4.3.3 Recubrimientos en polvo

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.6. Estos sistemas de recubrimiento son recubrimientos de polvo muy fino, generalmente de base de resinas de poliéster. Normalmente las partículas de polvo se aplican mediante carga electrostática en pistolas pulverizadoras o en una cámara de nebulización y a continuación son atraídas por la plancha metálica conectada a tierra a medida que pasa. El pretratamiento de la superficie es parecido al de la aplicación de productos de base disolvente. El secado o curado generalmente se lleva a cabo mediante una combinación de infrarrojos y aire caliente circulante. Se alcanzan temperaturas de objeto de 180 – 250 °C. El proceso de curado se completa generalmente en 1,5 – 2 minutos. La aplicación generalmente se lleva a cabo sobre una cara de la plancha con una sola capa de un grosor típico de 50 a 60 µm.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Una eliminación completa de las emisiones de disolventes procedentes del sistema de recubrimiento. Existe potencial para un menor consumo de gas, puesto que es posible que no sea necesaria la incineración de los gases de escape.

**Efectos cruzados:** Las limitaciones en el grosor de la capa aumentarán la cantidad de materiales de recubrimiento utilizados. La formación de productos de reacción emisores de olores en el horno de curado durante la fusión y reacción del polvo, puede dar lugar a que de todos modos sea necesaria la aplicación de una técnica de depuración.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Se produce una severa reducción de la velocidad de la línea para la aplicación del polvo, fusión, soldadura, flujo y curado (limitada a 15 m/min). Además, existe una gama

muy limitada de calidades de recubrimiento en polvo que se puedan aplicar y curar en estos tiempos tan breves. La tecnología actual todavía no puede conseguir recubrimientos en polvo uniformes con grosores de capa de menos de 30 micras. En conjunto, estas limitaciones suponen que en la actualidad no sea factible la transición a recubrimientos en polvo en instalaciones convencionales. Esta técnica es especialmente utilizada en el sector de la construcción, por ejemplo para paneles planos, marcos de ventanas, cabinas sanitarias y por la industria del procesamiento de láminas metálicas (cajas de ordenador y otros). También se utiliza en productos de nicho de pequeño volumen. El recubrimiento en polvo sobre las dos caras en una línea de recubrimiento de bobinas todavía resulta problemático.

**Aspectos económicos:** Los costes de producción son superiores a los de los procesos con recubrimientos líquidos, a causa de las severas restricciones sobre la velocidad y de las dificultades para controlar el grosor de la capa aplicada.

**Motivo principal para su aplicación:** Eliminación de los disolventes.

**Ejemplos de instalaciones:** Existen una cuantas instalaciones de recubrimiento en polvo sobre el ancho completo de la plancha en Europa, dedicadas a bobinas de aluminio y acero.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004] [128, TWG, 2005]

### 14.4.3.4 Recubrimientos de películas laminadas

**Descripción:** Para algunos usos finales específicos, las plantas de recubrimiento de bobinas aplican películas sólidas de polímeros libres de disolventes. Estas películas se pueden basar en polímeros como:

- PVC (cloruro de polivinilo),
- PVF (fluoruro de polivinilo),
- PET (tereftalato de polietileno),
- acrílicos,
- polipropileno.

En algunos casos, las películas son coloreadas u opacas y pueden estar decoradas con patrones impresos. En otros casos, se trata de películas transparentes que ofrecen propiedades específicas de dureza, resistencia a la corrosión, etc. En casi todos los casos, la película se aplica sobre un recubrimiento base de pintura líquida o una capa adhesiva.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Eliminación del disolvente de una de las capas del sistema de recubrimiento, evitando las emisiones de disolvente a la atmósfera.

**Efectos cruzados:** Las películas de polímero se producen fuera de las instalaciones mediante un proceso de extrusión o de calandrado.

**Información operativa:** Las películas se aplican ejerciendo presión mediante un rodillo sobre un recubrimiento precalentado de una capa base/de adhesivo, por lo general inmediatamente a la salida del horno de curado.

**Aplicabilidad:** Generalmente utilizado para conseguir propiedades muy específicas para un uso final.

**Aspectos económicos:** Más caros que los recubrimientos convencionales líquidos.

**Motivo principal para su aplicación:** Especificaciones de producto e innovación.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004]

## 14.4.4 Técnicas y equipamiento para la aplicación de recubrimientos

### 14.4.4.1 Recubrimiento con rodillos

**Descripción:** El proceso de recubrimiento con rodillos domina la aplicación de recubrimientos líquidos en las líneas modernas de recubrimiento.

Un tren de dos o tres rodillos sirve para «recoger», «dosificar» y «aplicar» el recubrimiento a gran velocidad sobre la plancha en movimiento. Las direcciones, velocidades de rotación, espaciados y presiones de los rodillos son controlados para fijar el grosor de la capa y para optimizar las propiedades de transferencia y de flujo del recubrimiento húmedo.

La eficiencia de transferencia es muy elevada, siendo la única pérdida la asociada con el material que permanece en los contenedores y en las canalizaciones al final de la producción de un producto. Éste generalmente se drena y se devuelve al contenedor original para ser utilizado en ocasiones posteriores. Después del drenaje, se limpian las trazas restantes del recubrimiento de los rodillos y de la bandeja de recogida con paños impregnados con un disolvente adecuado.

Los sistemas de recubrimiento generalmente se encuentran confinados para minimizar la liberación de vapores de disolventes orgánicos en el área de la fábrica. Las cámaras de recubrimiento se ventilan hacia el exterior del edificio con flujos diseñados para mantener condiciones satisfactorias de trabajo en todo momento para los operarios que se encuentran en la cámara de recubrimiento.

Los rodillos aplicadores generalmente disponen de un recubrimiento grueso elastomérico de poliuretano que puede sufrir daños, haciendo necesaria la reparación en un torno. En última instancia, el recubrimiento debe ser renovado por un proveedor especializado. Los rodillos de recogida y dosificación generalmente son metálicos y menos propensos a sufrir daños.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Eficiencia de transferencia muy elevada, cercana al 100 %, alcanzando así el mínimo desperdicio de materiales.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Utilizada virtualmente en todas las líneas de recubrimiento de bobinas europeas.

**Aspectos económicos:** Costes iniciales elevados, pero establecido como estándar en el sector.

**Motivo principal para su aplicación:** Eficiencia de transferencia muy elevada y, por consiguiente, mínimo desperdicio de materiales.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004]

### 14.4.4.2 Limpieza del equipamiento de aplicación

**Descripción:** En las plantas de recubrimientos de bobinas, existen dos métodos reconocidos para la limpieza de las piezas de maquinaria y de equipamiento:

- toda la limpieza se lleva a cabo in situ, esto es, en el interior de la cámara/sala de recubrimiento

- limpieza in situ del equipamiento fijo. Los elementos móviles, tales como bandejas de pintura, bombas y agitadores, se retiran a una estación de limpieza auxiliar tal como se describe arriba.

Al limpiar manualmente la planta y el equipamiento, se utilizan paños impregnados con disolventes. Los paños sucios desechables se conservan en contenedores herméticos y generalmente se eliminan por incineración. Los paños sucios reutilizables también se conservan en contenedores herméticos y generalmente se lavan.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La extracción localizada hacia los hornos/depuración reduce las emisiones fugitivas de disolventes.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Algunas, aunque no todas, de las cámaras de recubrimiento están equipadas con extracción localizada, que se dirige directamente hacia el horno/sistema de tratamiento de gases residuales, con el resultado final liberado a la atmósfera. Allí donde se utiliza una unidad auxiliar de limpieza, generalmente se depura la extracción. En otros casos, todo el aire de la sala de recubrimiento se ventila directamente hacia la atmósfera, puesto que generalmente se considera que la instalación de equipos de depuración no es una opción práctica, puesto que los volúmenes de aire por motivos de salud en el trabajo, son elevados con pequeñas concentraciones emitidas. En comparación con las emisiones procedentes de secadores/hornos, las emisiones procedentes de las cámaras de recubrimiento se consideran insignificantes.

**Aplicabilidad:** La practicidad de la actualización de cámaras de recubrimiento con extracción localizada dependerá de la edad, diseño y capacidad de la combinación de equipamiento de curado (secado) y de purificación.

**Aspectos económicos:** Los costes dependerán del sistema de extracción existente y de la capacidad de la técnica de tratamiento de los gases residuales. La reforma podría ser, sin embargo, muy cara.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004]

### 14.4.5 Recubrimientos de conversión

Los recubrimientos de conversión que incluyen cromo hexavalente, así como las técnicas de sustitución y de control se analizan en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006] .

#### 14.4.5.1 Recubrimiento de conversión con cromo

Véase la sección 20.7.1.2.3.

#### 14.4.5.2 Recubrimientos de conversión libres de cromo

Véase la sección 20.7.1.2.4.

### 14.4.6 Aplicación de recubrimientos de conversión

Los recubrimientos de conversión de cromo hexavalente y sus técnicas asociadas también son analizados en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006].

#### 14.4.6.1 Aplicación por «pulverización, escurrido y enjuague»

**Descripción:** El pretratamiento convencional tiene que ver con productos que se aplican mediante procesos de pulverización e inmersión para todos los sustratos. La aplicación mediante pulverización se lleva a cabo en cabinas cerradas. En todos los casos, es absolutamente necesario el uso de un enjuagado posterior con agua.

Sobre planchas de acero laminado se utilizan productos para la fosfatación del hierro conjuntamente con un enjuague posterior que contiene cromato. Los recubrimientos de conversión alcalinos (de base de cobalto), en combinación con lavados posteriores conteniendo cromato, proporcionan una excelente adhesión de la pintura y protección frente a la corrosión de los sustratos recubiertos con zinc o aleaciones de zinc. Ambas tecnologías han sido utilizadas durante muchos años en líneas de recubrimiento de bobinas de todo el mundo.

Además, la cromatación de planchas de aluminio o recubiertas con zinc, es un proceso habitual entre los tratamientos superficiales convencionales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se obtiene una gran durabilidad.

**Efectos cruzados:** Esta técnica requiere un elevado consumo de productos químicos para el tratamiento de la superficie. Se produce un arrastre importante que genera agua de enjuagado para un posterior tratamiento de aguas residuales y residuos adicionales.

**Información operativa:** La temperatura del proceso se encuentra entre la temperatura ambiente y alrededor de los 70 °C. La presión de pulverización aplicada se encuentra entre 0,5 y 2 bar.

**Aplicabilidad:** Se trata de una tecnología de aplicación habitual y bien conocida. Sin embargo es muy exigente con el control de los procesos químicos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Es una tecnología bien conocida y segura.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004]

#### 14.4.6.2 Aplicación «sin enjuague» o de «secado in situ»

**Descripción:** La tecnología «sin enjuague» o de «secado in situ» para la aplicación de recubrimientos de conversión no requiere enjuagues posteriores con agua. Consiste en aplicar los productos de pretratamiento mediante rodillos de recubrimiento o de escurrido sobre la superficie de la plancha. Puesto que se evita la formación de aerosoles, no se detectan cromatos en el aire. Sin enjuague alguno, la capa húmeda se seca in situ, utilizando radiación IR o calor por convección, y se pinta directamente a continuación. Este tipo de proceso no limita la velocidad de la línea en la sección de pretratamiento (no hay tiempo de reacción), no requiere fases de enjuagado después de la sección de pretratamiento y genera una cantidad extremadamente reducida de aguas residuales. Otra ventaja en comparación con los productos del proceso convencional con enjuagado, es su aplicabilidad como pretratamiento de multimetales.



**Beneficios ambientales obtenidos:** Esta técnica genera residuos en volúmenes muy pequeños, mientras que la técnica descrita anteriormente (véase sección 14.4.6.1) produce un mayor volumen de residuos. Además, el consumo de productos químicos es muy inferior en comparación con dicha técnica porque la eficiencia de la aplicación y el uso de materiales ronda el 100 %. Esto hace que el flujo hacia el agua residual sea innecesario, al igual que cualquier técnica de depuración de gases.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Generalmente, el recubrimiento de conversión contiene cromo, lo cual significa que el tratamiento involucra la reducción del estado de oxidación del cromo de (VI) a (III), haciéndolo así menos peligroso antes de su eliminación.

La calidad del agua en el último enjuagado antes de la aplicación del recubrimiento de conversión «sin enjuague» debe ser controlada cuidadosamente mediante medidas de conductividad.

**Aplicabilidad:** Ampliamente usada en algunas partes de Europa. Esta tecnología de aplicación es actualmente bien conocida y aprobada.

**Aspectos económicos:** Existen costes de inversión implicados en la unidad de aplicación. Se producen ahorros gracias a la reducción del consumo de productos químicos para el tratamiento de la superficie y a la necesidad de tratar mucha menos agua residual.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004]

### 14.4.7 Secado

#### 14.4.7.1 Secado o curado por convección

Para una descripción general, véase la sección 20.8.1.1. Habitualmente se utilizan hornos de combustión de gas con recirculación forzada de aire a temperaturas alrededor de los 350 °C. Los gases de salida se extraen y se envían hacia el equipo de depuración. El uso de intercambiadores de calor permite precalentar el aire para introducir en el horno a una temperatura máxima de alrededor de 400 °C.

[58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004]

#### 14.4.7.2 Procesos de curado mediante radiación

Para una descripción general, véase la sección 20.8.2. No se conocen aplicaciones con carácter comercial en recubrimiento de bobinas, pero véase la sección acerca de las técnicas emergentes, 22.14.2.

[58, ECCA, 2004]

### 14.4.8 Tratamiento de gases residuales

#### 14.4.8.1 Extracción de aire de una estación de recubrimientos de conversión

Cuando se aplican recubrimientos de conversión que contienen cromo (véanse las secciones 14.4.5.1 y 14.4.6), la niebla resultante de la aplicación mediante pulverización y del secado del

recubrimiento de conversión se extrae y se dirige hacia un sistema de tratamiento de gases residuales, tal como un depurador húmedo (véase la sección 20.11.3.8). Véase el BREF STM para detalles sobre las técnicas y MTD.  
[128, TWG, 2005]

#### 14.4.8.2 Juntas de estanqueidad a la entrada y salida de los hornos/secadores

Para una descripción general, véase la sección 20.11.2.2. Esta técnica es de uso común en el sector del recubrimiento de bobinas.  
[58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004]

#### 14.4.8.3 Presión negativa durante el secado

Para una descripción general, véase la sección 20.11.2.3. Esta técnica es de uso común en el sector del recubrimiento de bobinas.  
[13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004]

#### 14.4.8.4 Extracción de aire procedente de la preparación del recubrimiento

Para una descripción general, véase la sección 20.11.2.4.

**Descripción:** Los recubrimientos se preparan mediante agitación para garantizar que cualquier pigmento añadido quede bien mezclado y que el recubrimiento tenga la viscosidad correcta para su aplicación. Las materias primas de base disolvente se mezclan, por ejemplo para alcanzar una cierta viscosidad o color. En plantas de recubrimiento de bobinas, el mezclado y agitado de la pintura se lleva a cabo bien en la cámara/sala de recubrimiento o bien en una sala separada a menudo denominada «cocina» de pinturas. Generalmente, las cámaras de recubrimiento están equipadas con extracción localizada. El aire extraído se dirige hacia el horno/sistema de tratamiento de gases residuales, y el resultado final se ventila hacia la atmósfera.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV procedentes de la cámara de recubrimiento/cocina de pinturas.

**Efectos cruzados:** Para conseguir unas condiciones seguras de trabajo y un contenido reducido de COV en el flujo de aire, son necesarias grandes cantidades de energía (p. ej. gas) para el tratamiento.

**Información operativa:** Puesto que, por motivos de salud en el trabajo, los volúmenes de aire son elevados y las concentraciones de emisión reducidas, en algunas instalaciones todo el aire de la sala de recubrimiento se ventila directamente hacia la atmósfera. Generalmente, se considera que la instalación de equipamiento de depuración no es una opción práctica en estos casos.

En comparación con las emisiones procedentes de hornos/secadores, las emisiones procedentes de las cámaras de recubrimiento se consideran insignificantes.

**Aplicabilidad:** La practicidad de la remodelación de las cámaras de recubrimiento con extracción localizada dependerá de la edad, diseño y capacidad de la combinación del equipamiento de curado (secado) y de purificación.

**Aspectos económicos:** En líneas de recubrimiento de bobinas existentes donde se necesita una mayor capacidad del equipamiento de depuración, el coste puede ser elevado.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004]

#### 14.4.8.5 Extracción del aire procedente de la estación de aplicación de pintura

Para una descripción general, véase la sección 20.11.2.4.

**Descripción:** La estación de aplicación de pintura es un área cerrada (véase sección 20.11.2.1) y parte del aire extraído, o su totalidad, se introduce en los hornos, y de ahí pasa a un sistema de depuración de gases de salida.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Alrededor del 8 % de los disolventes procesados se liberan como emisiones de COV en las cabinas de aplicación de pinturas y, mediante la aplicación de esta técnica, son extraídos y tratados.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es de uso común.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [58, ECCA, 2004]

#### 14.4.8.6 Extracción de aire procedente del horno/secador

Para una descripción general, véase la sección 20.11.2.5.

**Descripción:** El secado/curado del recubrimiento de bobinas se lleva a cabo en hornos/secadores que se encuentran conectados a un sistema de depuración, por ejemplo, una unidad de oxidación térmica (véase la sección 20.11.4.2).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Hasta un 2 % de los disolventes procesados se liberan en forma de emisiones de COV hacia los hornos/secadores. Éstos son recogidos y transferidos a una planta de purificación.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** El contenido de COV en los hornos de una planta de ejemplo se encuentra en el rango de 8,75 - 9,3 g/m<sup>3</sup>, que es alrededor de un 22 % del límite inferior de explosión (40 g/m<sup>3</sup>).

El flujo de vapores se mide continuamente. La concentración de COV en el horno/secador se puede medir. El control de calidad del producto garantiza que todos los disolventes son extraídos de la pintura.

**Aplicabilidad:** Es de uso común.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004]

#### 14.4.8.7 Extracción del aire procedente de la zona de enfriamiento

Para una descripción general, véase la sección 20.11.2.

**Descripción:** Después del curado, generalmente la plancha se enfría con agua pulverizada. El área donde se enfría la plancha está refrigerada y cerrada y provista de un ventilador para los gases de escape locales. El gas residual, que contiene disolventes, se dirige a continuación hacia el equipamiento de depuración, p. ej. una unidad de oxidación térmica. El agua se enfría y se recicla.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Aproximadamente un 2 % o menos de los disolventes procesados se liberan en forma de emisiones de COV en la zona de enfriamiento. Debido a que los hornos funcionan en régimen de presión negativa, se minimizan las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** El consumo de energía para tratar el aire con bajas concentraciones de disolvente será apreciable.

**Información operativa:** En algunos casos, un primer paso del enfriamiento de la plancha se consigue utilizando grandes volúmenes de aire soplado.

**Aplicabilidad:** La extracción del aire que contiene disolventes procedentes de esta actividad es de uso común. Sin embargo, por lo general no se trata en un sistema de depuración porque implica un elevado consumo de gas. Esta energía es necesaria para tratar grandes volúmenes de aire extraído con una concentración muy reducida y a baja temperatura.

El enfriamiento con agua es de uso común en el sector del recubrimiento de bobinas. El enfriamiento con aire se aplica en algunos casos especiales dependiendo del mercado y de la calidad de los productos (pero se usa habitualmente en la industria del recubrimiento de bobinas de aluminio).

**Aspectos económicos:** Implica costes elevados.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004]

#### 14.4.8.8 Oxidación térmica recuperativa

Para una descripción general, véase la sección 20.11.4.3. La oxidación térmica recuperativa ha sido de uso habitual en la industria del recubrimiento de bobinas en Europa desde los años 70. [58, ECCA, 2004]

#### 14.4.8.9 Oxidación térmica regenerativa – doble lecho

Para una descripción general, véase la sección 20.11.4.4. Esta técnica ha sido aplicada habitualmente en la industria del recubrimiento de bobinas en Europa desde finales de los años 90. [58, ECCA, 2004]

## 14.4.9 Tratamiento de aguas residuales

### 14.4.9.1 Tratamiento del agua de enjuagado antes de su vertido

**Descripción:** Las aguas utilizadas para el proceso generalmente se tratan en una planta de tratamiento de aguas residuales mediante una secuencia de etapas de proceso. Los metales disueltos en el agua de enjuagado se precipitan, por ejemplo utilizando cal o hidróxido de sodio (véase la sección 14.4.9.3). El líquido se procesa a continuación a través de un filtro prensa para separar los sólidos de los líquidos. Algunos productos químicos se gestionan de la forma más eficaz posible tratándolos por separado antes de mezclarlos con otros efluentes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Para algunas sustancias, el tratamiento y eliminación de los contaminantes sólo es posible después de un tratamiento separado. El uso de disoluciones alcalinas residuales (tales como desengrasantes) para neutralizar disoluciones ácidas residuales ahorra productos químicos.

**Efectos cruzados:** Dependerá del caso.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** En el punto de descarga de cada proceso se debería analizar si es mejor llevar a cabo el tratamiento por separado, antes de mezclar flujos para un tratamiento posterior.

Al utilizar flujos alcalinos residuales para neutralizar ácidos residuales, es posible que sean necesarios productos químicos adicionales para obtener un pH adecuado para la eliminación a través de un sistema de floculación.

**Aspectos económicos:** Los costes de capital y de tratamiento se pueden reducir significativamente tratando las aguas residuales individuales por separado.

**Motivo principal para su aplicación:** La química del proceso específico determinará qué productos químicos puede ser necesario separar. Separar flujos para su tratamiento puede ser más eficiente y rentable.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004] [59, EIPPCB, 2006]

### 14.4.9.2 Tratamiento de aguas residuales que contienen cromo

**Descripción:** Los compuestos de cromo hexavalente (cromatos o dicromatos) son difíciles de precipitar y, por lo general, se reducen a cromo trivalente, que a continuación precipita en forma de hidróxido de cromo (III) durante su neutralización. La reducción se lleva a cabo con valores de pH inferiores a 2,5. El agente reductor más frecuentemente utilizado es el bisulfito sódico.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción y eliminación de cromo (VI). Frecuentemente se alcanzan valores < 0,1 mg Cr (VI)/litro.

**Efectos cruzados:** Se debe tener cuidado con el uso de bisulfito sódico, puesto que se forman vapores de SO<sub>x</sub>. Puede ser necesario ventilar el espacio de trabajo.

**Información operativa:** Si sólo está presente una pequeña cantidad de cromo (VI) a valores elevados de pH, la reacción también puede llevarse a cabo en el área alcalina mediante ditionito de sodio o compuestos de hierro (II); en este último caso no es necesaria la formación de sales mediante aumento de la acidez.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es ampliamente utilizada. Los flujos que contienen cromato deben ser tratados separadamente antes de mezclarlos entre sí o con otras aguas residuales. La reducción del cromato tiene lugar a valores de  $\text{pH} < 2,5$ . Para limitar el uso de productos químicos adicionales, las aguas residuales ácidas se pueden neutralizar con aguas residuales alcalinas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Legislación sobre la protección frente a la contaminación del agua.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004] [59, EIPPCB, 2006]

#### 14.4.9.3 Precipitación de hidróxidos

**Descripción:** La eliminación de los metales de transición se lleva a cabo mediante neutralización seguida de precipitación a valores de  $\text{pH}$  de 9–11. Como resultado de la precipitación se obtiene una mezcla de agua y sólidos. Es posible alcanzar valores de emisión inferiores si, además, se utiliza un proceso de filtración fina.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Eliminación de metales de transición del efluente.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Los tanques de precipitación necesitan espacio y su instalación puede ser costosa. Una disolución cáustica generalmente precipita los metales pesados en forma de hidróxidos o fosfatos. Si en el efluente se encuentran varios metales a la vez, se facilita la precipitación de cualquier metal que sea más difícil de precipitar.

La solubilidad de los metales aumenta al aumentar la concentración de sales neutras. Los metales precipitan parcialmente en forma de partículas muy finas. Por tanto, es necesario añadir agentes floculantes (cloruro de hierro (III), cal) o floculantes (polielectrolito) para conseguir una mejor separación y filtración.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es ampliamente utilizada.

**Aspectos económicos:** Los costes de inversión pueden ser significativos.

**Motivo principal para su aplicación:** Legislación sobre la protección frente a la contaminación del agua.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004] [59, EIPPCB, 2006]





## 15 RECUBRIMIENTO E IMPRESIÓN DE ENVASES METÁLICOS

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 15.1 Información general

En el ámbito europeo, el sector de los envases metálicos comprende más de 260 ubicaciones que emplean a más de 40 000 personas con unas ventas anuales de 7000 millones de Euros. La industria de los envases metálicos convierte materias primas en contenedores metálicos y componentes que se suministran al envasador/rellenador quien, a su vez, provee a los minoristas.

Los envases metálicos se fabrican a partir de acero y aluminio, y generalmente toman el nombre de latas, cubos y bidones utilizados para el almacenamiento y protección de productos, así como para facilitar su transporte. Los envases metálicos incluyen contenedores domésticos de menos de 25 litros de capacidad y contenedores industriales (bidones) de más de 20 litros de capacidad. Estos envases se utilizan para una amplia gama de productos distintos, por ejemplo:

- comida, p. ej. conservas, sopas y bebidas,
- pintura,
- cosméticos,
- productos farmacéuticos,
- productos químicos,
- aceites,
- tabaco,
- tapas para jarras y botellas,
- aerosoles.

Existen cuatro procedimientos clave de fabricación que se llevan a cabo en este sector y uno o más de ellos, junto con los subprocesos asociados, se pueden llevar a cabo en una instalación específica. Éstos se reflejan en la Tabla 15.1.

Procesos de la fabricación de envases metálicos	Información
Fabricación de latas de dos piezas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fabricación de latas embutidas y estiradas (DWI) El recubrimiento y la impresión se llevan a cabo principalmente mediante un proceso de offset en seco</li> <li>• fabricación de tapas con abrefácil. Se aplica un recubrimiento por pulverización en los extremos de acero</li> </ul>
Envases metálicos fabricados a partir de láminas planas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• recubrimiento e impresión de láminas planas. Principalmente recubrimiento con rodillos e impresión por litografía (offset húmedo)</li> <li>• fabricación de latas de tres piezas. Recubrimiento protector aplicado sobre la soldadura lateral</li> <li>• fabricación de tapas (tapas con y sin apertura fácil). Se aplica sellador en la hendidura de la tapa como preparación para su montaje en la lata</li> </ul>
Fabricación de tubo de aluminio extrusionado por impacto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aerosoles monobloque y flexibles</li> </ul>
Bidones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fabricación de bidones</li> <li>• recubrimiento protector externo e interno aplicado principalmente mediante pulverización, pero también mediante rodillos e impresión litográfica (offset húmedo)</li> </ul>

**Tabla 15.1: Visión general de las técnicas de fabricación de envases metálicos**  
[76, TWG, 2004]

La Tabla 15.2, proporciona una visión general de las técnicas utilizadas para el recubrimiento y la impresión en los distintos sectores de la industria de los envases metálicos.

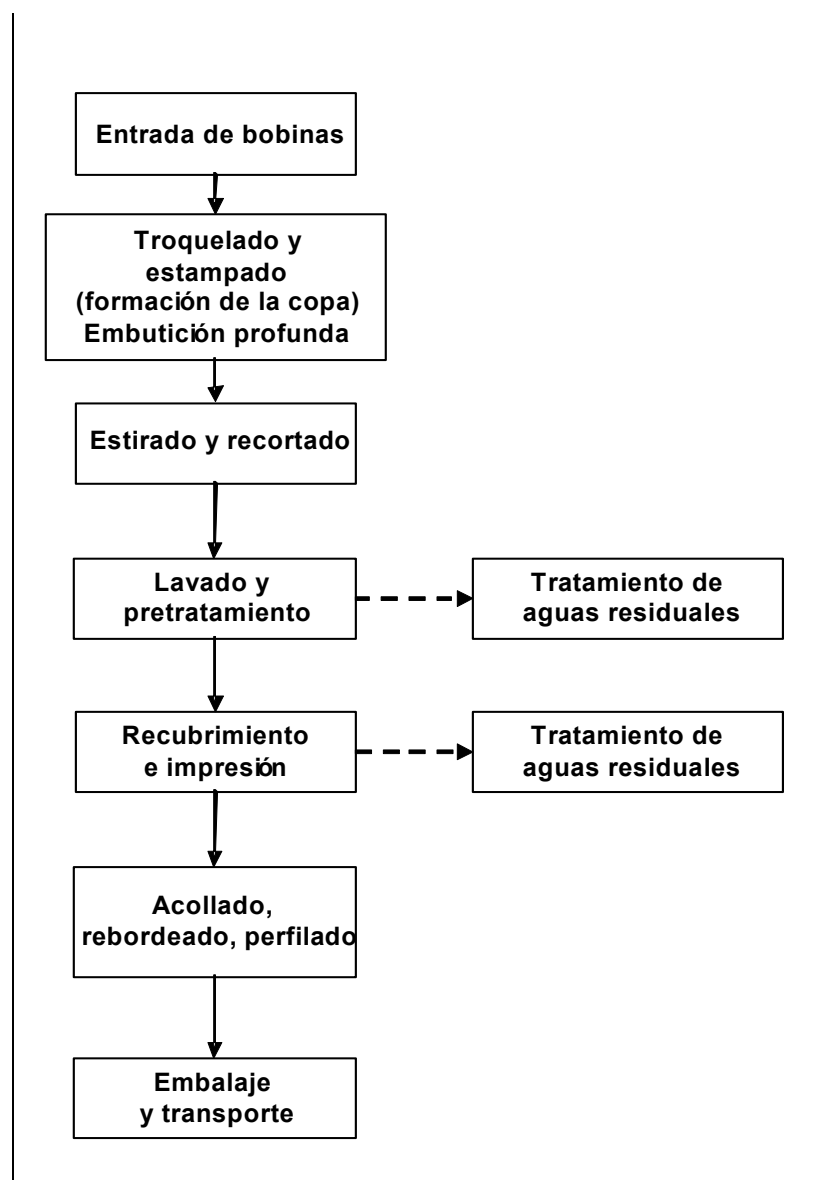
Superficie a tratar	DWI	Hoja para extremos, latas, componentes	Latas de tres piezas	Componentes			Tubos de aluminio extrusionado	Bidones
				SAF	CAF	Tapones/cierres		
1) Recubrimiento (protección)								
Rodillo								
- Recubrimiento de toda la superficie	X	X	X*				X	
- Recubrimiento localizado		X						
Pulverización	X		X*		X			X
2) Impresión (decoración)								
- Offset en seco	X						X	
- Litografía (offset húmedo)		X						
3) Revestimiento compuesto (Sellado)				X	X	X		X
Aplicaciones típicas	Bebidas, comida, aerosoles	Fabricación de productos intermedios: extremos, latas, tapones y cierres	Línea general comida, bebidas, aerosol	Latas de tres piezas	Latas de dos y tres piezas	Bebidas comida en conjunción con jarras y botellas	Tubos para aerosol flexibles para productos farmacéuticos y cosméticos	Productos industriales
Notas: * cordón lateral SAF: tapas sin abrefácil; CAF: tapas con abrefácil; DWI: latas de dos piezas								

**Tabla 15.2: Técnicas utilizadas para el recubrimiento e impresión de envases metálicos [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]**

## 15.2 Procesos y técnicas aplicados en el recubrimiento e impresión de envases metálicos

### 15.2.1 Fabricación de latas de dos piezas (DWI)

La Figura 15.1 muestra el esquema del proceso de producción de latas para bebidas.



**Figura 15.1: Proceso de fabricación de latas para bebidas**  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

La descripción genérica siguiente abarca la fabricación de latas para bebidas, las cuales generalmente llevan un diseño impreso en el exterior, y de latas para comida, que están generalmente terminadas con un recubrimiento externo transparente incoloro y sin impresión. La totalidad del proceso, incluyendo el traslado entre las distintas fases, está totalmente automatizado.

El aluminio o acero para envases se proveen en forma de bobinas de plancha continua y se introducen automáticamente a través de una embutidora especial, una prensa mecánica donde se troquelan y embuten en profundidad en forma de vaso. Los vasos se transportan hasta los formadores del cuerpo, prensas de desplazamiento largo donde las paredes del vaso se alargan por estiramiento y se forma el perfil de la base. Inmediatamente después del estiramiento de las paredes, se recorta el metal sobrante del borde superior de la lata.

Las operaciones de embutido del metal utilizan un lubricante sintético de base acuosa y una pequeña cantidad de biocida, ambos eliminados posteriormente en el limpiador. También existe la posibilidad de que las piezas se ensucien con aceite hidráulico procedente de las prensas mezclado con el lubricante. El lubricante en exceso se trata y reutiliza en un sistema de ciclo cerrado. La chatarra resultante de las operaciones de troquelado y recortado se recupera.

Las latas que salen de la recortadora, que están cubiertas de lubricante y residuos, se limpian a continuación. Este proceso es distinto para sustratos de aluminio y de acero. Las latas de acero se limpian con agua introduciéndolas en cabinas de pulverización configuradas en cascada inversa, a continuación se enjuagan con agua desmineralizada y finalmente se secan en un horno alimentado con gas natural. Las latas de aluminio se limpian de forma similar. Adicionalmente, para proporcionar la superficie grabada necesaria para las operaciones de entintado, las latas de aluminio se pretratan a continuación utilizando disoluciones acuosas ácidas o alcalinas antes de ser enjuagadas con agua desmineralizada. Antes de que las latas de aluminio se sequen finalmente en el horno, se les puede aplicar un potenciador de movilidad.

Los gases residuales procedentes de la limpieza y secado de las latas se emiten directamente a la atmósfera a través de una chimenea. El agua excedente del proceso de limpieza puede ser reciclada para sustituir el agua de la red de abastecimiento. Se produce un traslado de agua de forma natural a través de las latas húmedas que se introducen en el horno. El agua residual procedente del limpiador de aluminio se trata antes de su eliminación.

En los casos en que las latas no vayan a ser decoradas, que es el caso habitual cuando se trata de latas para alimentos, se aplica un recubrimiento protector exterior sobre la lata alzada mediante una máquina de recubrimiento en cortina, entre el limpiador de latas y el horno secador. A continuación las latas recubiertas disponen de un período de drenaje, antes de introducirse en el horno para su secado y para el curado del recubrimiento externo. El sistema de recubrimiento por el reverso externo es un sistema recirculante cuyo proceso está diseñado para recoger tanto recubrimiento sobrante como sea posible. El agua residual procedente del limpiador, la unidad de desionización y el recubrimiento por el reverso es tratada antes de su eliminación.

Después de la limpieza, las latas pasan automáticamente por el proceso de decoración exterior. Este proceso consiste bien en una capa de imprimación y tinta por encima o bien tinta y barnizado final por encima. En el aplicador del recubrimiento de imprimación, las paredes de la lata se recubren con una capa que puede ser coloreada o transparente. El lacado se aplica mediante un proceso de offset con rodillos sobre la lata en rotación. A continuación las latas se hacen circular a través de un horno de convección térmica.

Después del curado de la capa de imprimación, las latas se transfieren a la máquina de impresión donde se aplica la decoración utilizando tintas de impresión (que típicamente contienen un 25 – 40 % de disolventes orgánicos) mediante un proceso de offset en seco. Si se requiere un barniz final (que típicamente contiene un 15 – 50 % de disolventes orgánicos), se aplica como un disolvente orgánico húmedo sobre húmedo, directamente después de la impresión, en la misma máquina, mediante un proceso de offset con rodillos. Las latas de aluminio generalmente se recubren desde el reborde inferior externo mediante rodillos aplicadores. Esta operación se lleva a cabo antes de entrar en el horno decorador donde se cura el barniz del reborde junto con las tintas y el barniz de acabado opcional.

A continuación las latas se trasladan hacia la acolladora, que termina los cuellos de las latas para poder ajustar las tapas. La operación de conformado del cuello se acompaña de aire comprimido y pequeñas cantidades de lubricantes sintéticos.

Para protegerlas de la oxidación, las latas de acero generalmente se recubren mediante pulverización sobre la parte externa inferior antes de la aplicación de la pulverización en el interior. Este recubrimiento de la base se seca a temperatura ambiente. El interior de la lata se recubre a continuación mediante una técnica de pulverización sin aire con materiales que contienen del 15 al 20 % de disolventes orgánicos. Un conjunto de boquillas pulveriza la laca en el interior de la lata en rotación hasta alcanzar la distribución del peso de recubrimiento deseado (típicamente un grosor de capa de 5 – 15  $\mu\text{m}$ ). A continuación las latas atraviesan un horno térmico donde tanto el lacado interior como el recubrimiento pulverizado en la parte inferior se someten al curado final.

Después de cada operación de lacado, las latas atraviesan inmediatamente hornos de múltiples zonas alimentados con gas a temperaturas típicas de secado de 180 – 200 °C. Las emisiones del proceso de curado se recogen en una canalización y se extraen mediante ventiladores a la atmósfera o a los equipos de depuración. En general, también se captan los gases volátiles generados en las máquinas de aplicación del lacado.

Finalmente, antes de su paletización, todas las latas deben pasar a través de un analizador de luz y una cámara para su inspección. Todas aquellas con daños potenciales son rechazadas.

El secado de las capas de recubrimiento aplicadas tiene lugar en secadores convencionales a temperaturas de 180 – 200 °C. Los gases residuales que contienen COV, procedentes de los secadores y también de las unidades de aplicación, se tratan generalmente mediante combustión térmica regenerativa. El calor del proceso puede ser utilizado mediante intercambiadores de calor, por ejemplo para el proceso de limpieza.

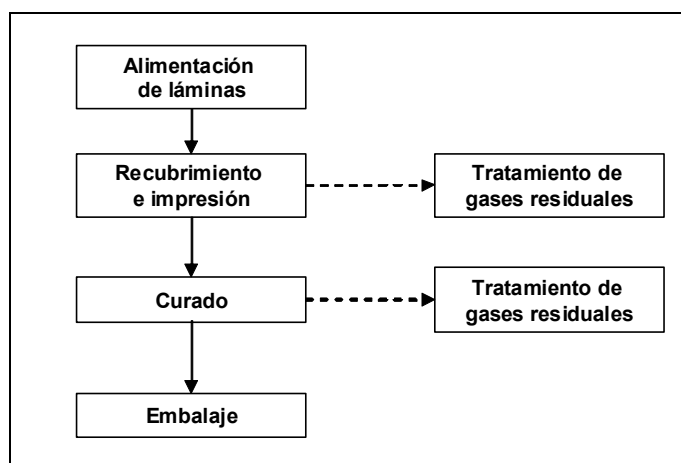
### 15.2.2 Recubrimiento e imprimación de láminas planas

Las operaciones de recubrimiento e impresión de láminas planas siguen cuatro procesos clave:

- recubrimiento interno (a excepción de: aerosoles, latas de alimentos para productos no agresivos, envases promocionales),
- recubrimiento de base exterior o cola. Sin embargo, es posible aplicar impresión convencional directamente sobre hojalata,
- impresión,
- barnizado o recubrimiento final.

El curado de recubrimientos y tintas de base disolvente tiene lugar en hornos térmicos a velocidades de hasta 8000 hojas por hora a temperaturas entre 150 y 220 °C. Las velocidades y temperaturas dependen del tamaño de las hojas, el grosor y la especificación del recubrimiento.

El recubrimiento e impresión de láminas planas es la primera operación distinguible necesaria para la fabricación de latas de tres piezas y latas embudidas, extremos o tapones y cierres. La Figura 15.2, muestra el proceso de producción de láminas planas metálicas



**Figura 15.2: Proceso de producción de láminas planas metálicas**  
[76, TWG, 2004]

Los materiales de sustrato utilizados en los procesos de impresión y recubrimiento de láminas planas son principalmente hojalata (tinplate y blankplate), acero libre de estaño, chapa negra o aluminio. El material se recibe bien en forma de hojas precortadas o bien en forma de bobinas que deben ser procesadas in situ para obtener las hojas cortadas.

Las hojas metálicas pueden tener que atravesar las líneas de impresión y recubrimiento varias veces puesto que en ocasiones es necesario aplicar varias capas y aplicaciones de decoración. Los recubrimientos internos de las latas, en función de los requisitos del producto que va a ser envasado, generalmente se aplican en primer lugar. Esto puede ir seguido de la aplicación de una capa base externa, un diseño impreso y una capa de barniz exterior en diversas combinaciones según las necesidades del producto acabado.

En las líneas de recubrimiento, el material necesario para el diseño se bombea desde un depósito situado en la máquina hasta los rodillos de aplicación. El material sobrante se recoge y se devuelve al depósito. El peso de la capa se configura con precisión en la máquina de recubrimiento tal como requieran los estándares y medidas de calidad.

En las líneas de impresión, la tinta se aplica manualmente sobre los rodillos de aplicación con una cuchara. Todo el material en exceso resultante se recoge y se devuelve al contenedor al completar la fase de fabricación. La aplicación de la tinta sobre la lámina se mide para garantizar que se aplica la cantidad mínima necesaria para alcanzar la profundidad de color deseada. Las técnicas de impresión generalmente utilizadas son el offset litográfico, el offset en seco y, en algunos casos, es posible utilizar un proceso litográfico sin agua.

Es necesaria una limpieza periódica de los rodillos de recubrimiento e impresión para eliminar la acumulación de los constituyentes del recubrimiento y de la tinta. El recubrimiento en exceso se retira del rodillo inferior mientras la máquina está en funcionamiento mediante un raspador, para evitar la contaminación de la cara inferior de la lámina.

Durante los cambios se lleva a cabo una limpieza más a fondo de las máquinas de recubrimiento y de impresión utilizando diversos disolventes orgánicos, incluyendo disolventes recuperados, ya sea manual o automáticamente. El disolvente orgánico residual a menudo se destila y se mezcla de nuevo ya sea in situ o en otra ubicación.

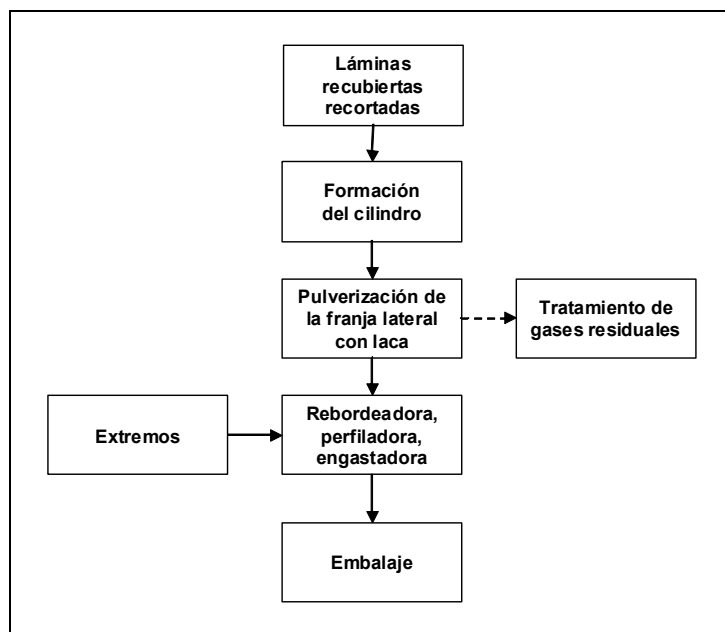
A continuación se transfiere la lámina recubierta o impresa al horno de curado térmico donde se calienta a la temperatura de curado requerida. Los COV procedentes del disolvente orgánico utilizado en los materiales aplicados se captan en la salida de gases del horno y en las campanas de las máquinas mediante conductos y se extraen mediante ventiladores a la atmósfera o se envían a los equipos de depuración.

A continuación, la lámina curada se enfría recogiendo aire del exterior mediante ventiladores y conductos y soplándolo sobre la lámina. Esto reduce la posibilidad de que los materiales se peguen entre sí. Finalmente la pila de láminas se reconstruye sobre bandejas para su posterior transferencia al paso siguiente del proceso.

Cuando se utilizan tintas de curado por radiación UV, se utilizan lámparas UV. Este proceso no emite COV pero crea pequeñas concentraciones de ozono que se extrae a la atmósfera.

### **15.2.3 Fabricación de latas de tres piezas**

El proceso de producción de latas de tres piezas se muestra en la Figura 15.3.



**Figura 15.3: Proceso de producción de latas de tres piezas [76, TWG, 2004]**

La fabricación de latas de tres piezas cubre diversos productos, tales como latas para alimentos, botes para pinturas, envases oblongos y aerosoles. Las láminas de hojalata recubiertas o decoradas, tal como se describe anteriormente en la sección 0 acerca del recubrimiento e imprimación de láminas planas, se dividen en cuerpos individuales troquelados. Estos cuerpos troquelados se introducen automáticamente en una máquina de soldadura que enrolla el cuerpo troquelado sobre un tubo y a continuación lo suelda a lo largo de su longitud para producir un cilindro de paredes rectas soldado. Durante el recorte, la hojalata sobrante se recorta y se recicla. Los rodillos y el cabezal de soldadura son refrigerados por agua utilizando agua recirculante enfriada. Para garantizar una soldadura de calidad, se introduce hilo de cobre sobre los rodillos de soldadura interno y externo de modo que toda la longitud de cada soldadura se produce utilizando hilo nuevo de cobre como electrodo. El hilo de cobre usado se recorta, se recoge y se devuelve a los fabricantes para su refundición. Una forma alternativa de unir la costura lateral es mediante sujeción mecánica. En algunos casos, los cilindros circulares pueden ser embutidos de nuevo para tomar otras formas, por ejemplo, rectangulares.

Inmediatamente después de la soldadura, y mientras la lata todavía se encuentra en la máquina de soldadura, la superficie interna y externa de la soldadura pueden recibir un recubrimiento protector dependiendo de las especificaciones de la lata de tres piezas que se esté fabricando. Este recubrimiento protector se denomina franja lateral y puede ser un recubrimiento orgánico de base disolvente, o bien de base acuosa, o en polvo, dependiendo del uso final deseado para el contenedor. En el caso de aplicar lacas para la franja lateral, éstas se aplican utilizando rodillos o pistolas de pulverización sin aire y la niebla de pulverización se recoge y se conduce hacia la atmósfera. En el caso de recubrimientos en polvo, éstos se aplican electrostáticamente y la niebla de pulverización se recoge y se recicla.

Tras la aplicación de la soldadura/franja lateral, los cilindros atraviesan un horno para curar la franja lateral aplicada. Estos hornos son, generalmente, de aire caliente o de inducción y aplican calor localizado sobre el área de la soldadura del cilindro. Las emisiones procedentes del horno de la franja lateral, se emiten directamente a la atmósfera a través de chimeneas de salida de gases.

A continuación del curado de la franja, algunas especificaciones de latas de tres piezas (típicamente latas destinadas a alimentación) se introducen automáticamente en una máquina de perfilado que permite crear un perfil rebordeado que refuerza la pared del cilindro. Este proceso



es puramente mecánico y no requiere materiales adicionales de procesado. Tras el perfilado o el curado de la franja lateral, dependiendo de la especificación de la lata, los cilindros soldados se introducen automáticamente ya sea en una máquina acolladora y rebordecadora o sólo rebordecadora, de modo que los dos extremos del cilindro se perfilan hasta quedar listos para poder colocar una terminación sobre ellos. Una vez más, la definición del cuello y el rebordeado son dos procesos puramente mecánicos que no requieren materiales adicionales de procesamiento.

A continuación, el cuerpo fabricado pasa automáticamente a una engastadora, donde un componente de extremo, manufacturado previamente, se introduce y se engasta sobre el extremo del cilindro fabricado. La operación de engastado también es puramente mecánica y no requiere ningún material de procesamiento adicional.

Para algunas especificaciones, tales como latas destinadas a alimentación, la lata de tres piezas se provee al usuario con tan sólo un extremo engastado y en este caso, el engastado del extremo va seguido de la paletización. Sin embargo, otras latas de tres piezas, tales como botes de pintura, latas oblongas y aerosoles atraviesan una segunda máquina de engastado y se les engasta un segundo extremo antes de su paletización.

### 15.2.4 Fabricación de terminaciones, tapones y cierres

El proceso de producción de tapas, tapones y cierres se muestra en la Figura 15.4.

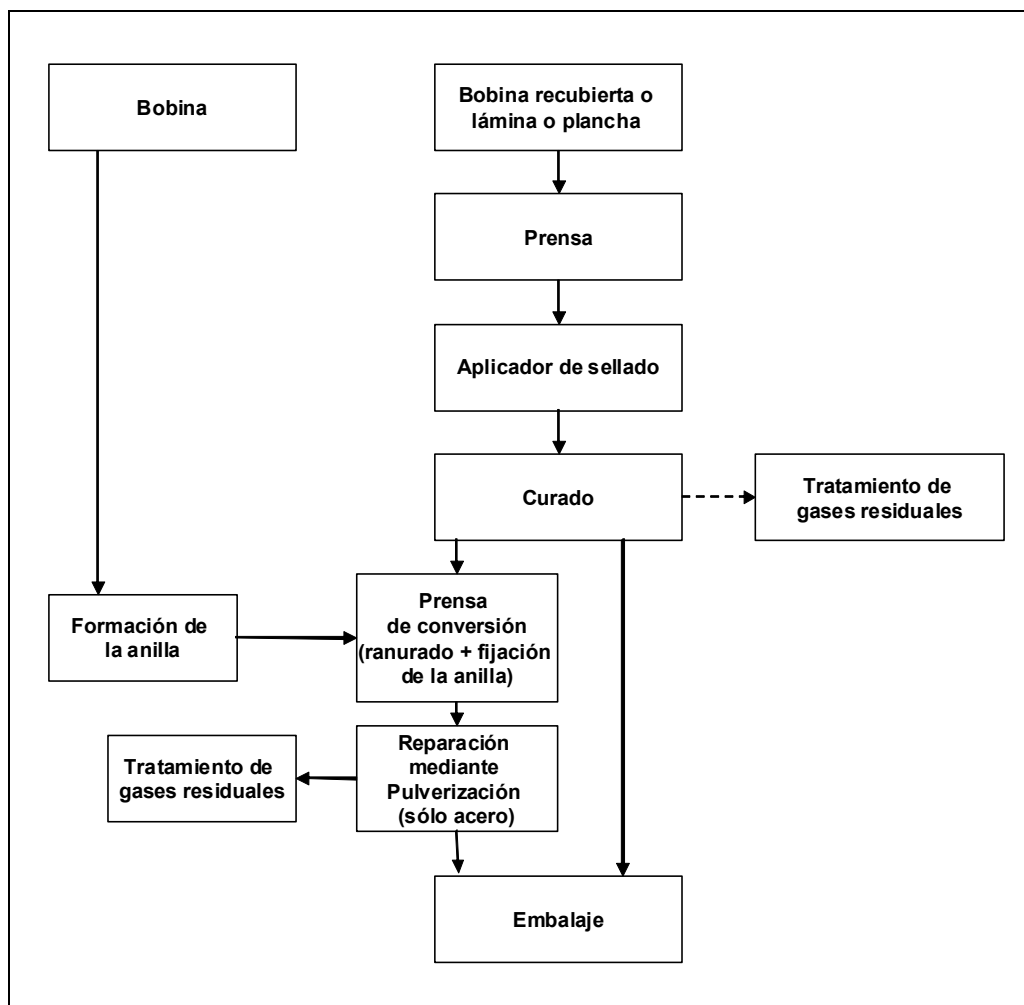


Figura 15.4: Proceso de producción de tapas, tapones y cierres [76, TWG, 2004]

La fabricación se lleva a cabo ya sea a partir de láminas como de bobinas, lisas o previamente recubiertas/decoradas, de aluminio o de acero para envases. El metal puede ser lubricado antes de la fabricación. El metal se introduce en una prensa de estampar donde se lleva a cabo el moldeado inicial. Para completar el perfil se llevan a cabo operaciones adicionales de moldeado. La carcasa completada se traslada a una máquina de revestimiento donde se aplica un sellador (a veces denominado masilla de relleno) o una junta (a veces denominada relleno). El sellador puede contener disolventes orgánicos.

Adicionalmente, para tapas con abrefácil, una vez que el relleno ha sido aplicado, se dirigen hacia una prensa de conversión donde se fabrica y monta la lengüeta y se aplica una presión final para completar la tapa. Para extremos con abrefácil fabricados a partir de hojalata, las rayas del extremo se reparan con laca pulverizada. Algunos selladores y juntas requieren una pasada a través de un horno para un secado o curado forzado. Una vez terminados, los extremos, tapones o cierres se envasan y se paletizan para su envío a los clientes.

### 15.2.5 Fabricación de tubos de aluminio extrusionado

El proceso de fabricación de tubos de aluminio extrusionado se muestra en la Figura 15.5.

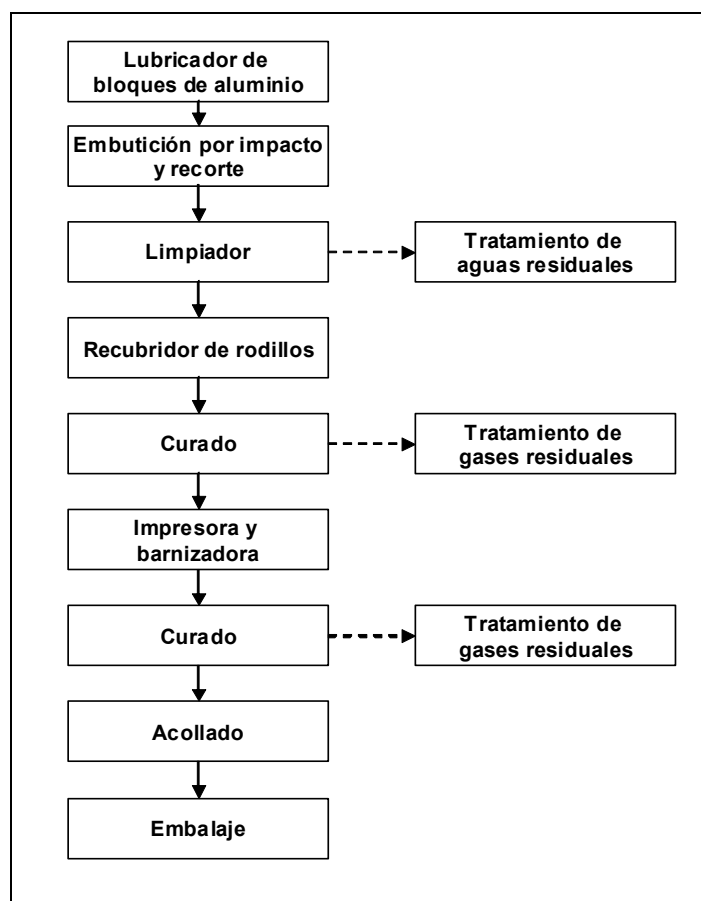


Figura 15.5: Proceso de fabricación de tubos de aluminio extrusionado [76, TWG, 2004]

Cada bloque de aluminio de partida, que es de un 99,5 % de aluminio puro, se lubrica y se convierte a continuación, a través de una serie de operaciones de embutición de alto impacto, en un tubo con un único extremo abierto. El extremo abierto se recorta para obtener un cilindro uniforme y la parte recortada se recoge para su reciclado. Otro material separado durante las operaciones de moldeado puede ser utilizado en la formación de una bóveda en el extremo cerrado para una mayor resistencia a la presión (aerosol), la perforación para añadir

posteriormente un tornillo de plástico y un tapón, o su moldeado posterior en forma de rosca de tornillo (estos dos últimos para tubos flexibles).

El artículo moldeado, se limpia a continuación en un limpiador continuo para eliminar el lubricante residual y para preparar la superficie para la aplicación de recubrimientos orgánicos. Los productos químicos utilizados en el proceso de limpiado y de grabado químico comprenden detergentes aniónicos de base de componentes cáusticos. El agua residual contaminada se puede verter parcial o totalmente a la red de alcantarillas con una autorización local o se puede reutilizar para alimentar el sistema de limpieza cáustica descrito más abajo, como forma de depuración de vapores.

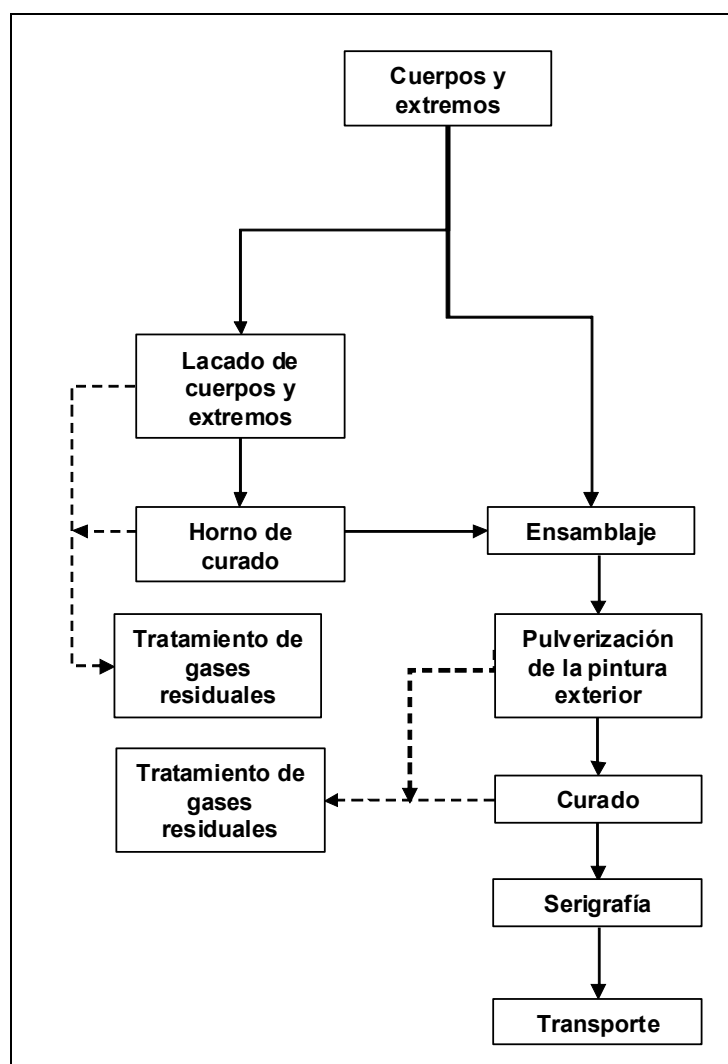
Los cilindros lavados, se transfieren a continuación a un recubridor para aplicar una capa, donde se aplica un recubrimiento uniforme de base transparente o pigmentado mediante un rodillo sobre el cilindro en rotación. El material de recubrimiento se almacena en un depósito que alimenta el rodillo de recogida, y el material sobrante es eliminado por el rodillo dosificador y devuelto al depósito. Los recubrimientos base típicos son de base disolvente pero también es posible utilizar recubrimientos de base acuosa. La cabina de recubrimiento se encuentra ventilada mediante ventiladores y por lo general el aire extraído se conduce hasta la atmósfera mediante chimeneas altas. A la salida del recubridor que aplica la capa base, las latas recubiertas pasan automáticamente a un horno de secado/curado, del cual se recogen los gases extraídos y envían directamente a la atmósfera a través de chimeneas altas o a un sistema de depuración.

El recubrimiento base curado proporciona la clave del diseño impreso a continuación, que se aplica mediante un decorador policromo utilizando el proceso de offset en seco. Las tintas se aplican manualmente sobre los rodillos del reservorio y un sistema de precisión de rodillos dosifica cuidadosamente cada color por separado sobre el rodillo aplicador, que recoge los colores a registro y transfiere la imagen completa sobre la pieza. Como operación final se aplica un barniz de acabado protector antes de que el cilindro pase automáticamente a un horno para su secado y curado. Se dispone de una extracción de vapores en el decorador, que se canalizan hasta la atmósfera después de atravesar un lavador cáustico, y de una canalización separada de los gases extraídos del horno hacia la atmósfera o un sistema de depuración.

En el caso de latas de aerosol, el cilindro atraviesa operaciones de moldeado posteriores, con la aplicación controlada de un lubricante mineral, para la definición del cuello y el enrollado del extremo abierto, para adecuarlo al montaje de la válvula que se colocará después del llenado.

### **15.2.6 Fabricación de bidones**

Los bidones de acero se fabrican principalmente para usos industriales. El principio de la fabricación de bidones es parecido al proceso de fabricación de latas de tres piezas. Éste se muestra en la Figura 15.6.



**Figura 15.6: Proceso de producción de bidones**  
[76, TWG, 2004]

Generalmente, el cuerpo, la parte superior y la parte inferior se producen por separado en líneas de corte y moldeado, utilizando acero desnudo. Si es necesario, los cuerpos y extremos formados del bidón se recubren por separado con laca para el interior y se curan. En la máquina de engastado, justo antes de ensamblar estos componentes, se aplica el componente de cierre. Como paso final, el bidón se recubre por el exterior con pintura para el exterior del bidón y el recubrimiento se seca y se cura simultáneamente. Los recubrimientos internos de los bidones se aplican generalmente mediante discos rotativos (para el cuerpo) o mediante pulverización sin aire en caliente. La mayoría de los recubrimientos internos son de base disolvente a causa de la resistencia química requerida frente a los productos con que se llenará el bidón, y por consiguiente contienen entre un 45 y un 65 % de disolventes orgánicos. Las pinturas exteriores de los bidones generalmente se aplican mediante pulverización sin aire en caliente. Las pinturas exteriores de los bidones generalmente son de base disolvente y contienen alrededor del 50–55 % de disolventes orgánicos. En casos específicos, se utilizan pinturas de base acuosa para el exterior de los bidones, conteniendo menos del 10 % de disolventes orgánicos. Las emisiones de COV procedentes del proceso se emiten directamente a la atmósfera a través de chimeneas de emisión de gases o se tratan previamente mediante técnicas de purificación de gases.

## 15.3 Niveles actuales de consumo y de emisión en el recubrimiento e impresión de envases metálicos

### 15.3.1 Balances de masa

No se han enviado datos de balances de masa, pero véanse los datos a continuación.

### 15.3.2 Datos de consumo y de emisiones

[13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

En las tablas siguientes se indican datos de consumo y de emisiones para los distintos productos y preproductos:

Referencia de planta	Planta A <sup>1</sup>	Planta B	Planta C
Sustrato	Hojalata	Hojalata	Aluminio
Tamaño y geometría de las piezas	33/50 cl	33/50 cl	15, 20, 25, 29,6, 33 y 35 cl
Frecuencia de los cambios de color	Aprox. 500 cambios de decoración al año en la producción de latas de 33 cl y 1100 para latas de 50 cl	Aprox. 400 cambios de decoración al año por línea de producción	2200 cambios de decoración en 1999
Capacidad anual en millones de m <sup>2</sup> (base año 2000)	~ 120 hojalata	~ 100 hojalata	72,09 <sup>2</sup> aluminio
Consumo de disolventes (g de disolventes/m <sup>2</sup> ) cantidad anual (toneladas)	máximo 7,2 máximo 864	máximo 6,7 máximo 670	3,2 <sup>2</sup> alrededor de 250 - 300
Tiempo de funcionamiento anual (h)	6500 – 8400	6500 – 8400	8300
Año de puesta en servicio	1978	1984	1968
Notas: A las tres plantas se aplican requerimientos de legislación alimentaria. <sup>1</sup> La planta A es una planta con una cámara de recubrimiento, que aplica filtros de polvo, dispone de una instalación de adsorción y una unidad de combustión térmica regenerativa para el tratamiento de los gases residuales. <sup>2</sup> Datos del año 1999.			

**Tabla 15.3: Datos correspondientes al recubrimiento e impresión de latas de bebida**  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

Actividades realizadas	Recubrimiento e impresión de láminas	Recubrimiento e impresión de láminas y latas de tres piezas
Producción de láminas lacadas (millones)	22	10
Producción de láminas impresas (millones)	68	21
Tonelaje de las láminas utilizadas (toneladas)	23 000	7410
Energía (electricidad) utilizada (MWh)	3600	2000
Energía (gas) utilizada (MWh)	6600	1600
Consumo de disolventes (toneladas)	210	105
Emisión de disolventes (toneladas)	44	100
Consumo de agua (toneladas)	2030	2610

**Tabla 15.4: Datos correspondientes al recubrimiento e impresión de láminas planas**  
[76, TWG, 2004]

Actividades realizadas	Latas de tres piezas
Producción de latas (millones)	434
Tonelaje de hojalata utilizado (toneladas)	25 300
Energía (electricidad) utilizada (MWh)	2300
Energía (gas) utilizada (MWh)	3260
Consumo de disolventes (toneladas)	33
Emisión de disolventes (toneladas)	30
Consumo de agua (toneladas)	2898

**Tabla 15.5: Datos correspondientes al recubrimiento e impresión de latas de tres piezas [76, TWG, 2004]**

Actividades realizadas	Tapones
Hojas lacadas (millones)	36
Hojas impresas (millones)	12
Producción de tapones (millones)	920
Tonelaje de hojalata utilizado (toneladas)	9126
Energía (electricidad) utilizada (MWh)	3840
Energía (gas) utilizada (MWh)	1890
Consumo de disolventes (toneladas)	300
Emisión de disolventes (toneladas)	45
Consumo de agua (toneladas)	1053

**Tabla 15.6: Datos correspondientes al recubrimiento e impresión de tapones [76, TWG, 2004]**

Actividades realizadas	Bidones metálicos
Pintura exterior/bidón	250 gramos
Tonelaje de pintura exterior/a	250 toneladas
Laca (recubrimiento interior)/bidón	300 gramos
Cálculo de la laca interior basada en	el 50 % de todos los bidones
% de COV en la laca interior del bidón	65 %
% fabricado con materiales de base disolvente (pintura exterior)	90 %
% fabricado con materiales de base acuosa (pintura exterior)	10 %
% de COV en los de base disolvente	55 %
% de COV en los de base acuosa	10 %
Consumo de disolventes/a (recubrimiento exterior)	126 toneladas
Consumo de disolventes/a (recubrimiento interior)	98 toneladas
Consumo total de disolventes/a	224 toneladas
Nota: Los valores se refieren a un balance de masa estimado sobre un millón de bidones grandes	

**Tabla 15.7: Balances de masa del recubrimiento e impresión de bidones [76, TWG, 2004]**

### 15.3.3 Consumos

[13, DFU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

#### 15.3.3.1 Materiales

##### Consumo de materias primas en el recubrimiento e impresión de latas de dos piezas

El consumo de disolventes de dos instalaciones (plantas A y B) depende del diseño y del contenido de las latas (bebida) y se encuentra alrededor de 7,2 g por m<sup>2</sup> recubierto de hojalata. Las capacidades de estas dos plantas fueron de alrededor de 100 – 120 millones de m<sup>2</sup> en el año

2000. Se procesaron 670 y 864 toneladas respectivamente de disolventes orgánicos correspondientes a recubrimientos y tintas de impresión.

Los materiales de recubrimiento aplicados en las plantas mencionadas arriba son de base acuosa. Sin embargo, para una mejor manipulación, contienen un 15 – 45 % de disolventes orgánicos. Típicamente se consumen 10 – 12 g por m<sup>2</sup> de hojalata. El barniz aplicado para recubrir el interior de la lata normalmente contiene un 10 – 15 % de disolventes orgánicos y típicamente se consumen 19 – 22 g/m<sup>2</sup> de barniz.

La lata puede ser recubierta con una capa base que sirva como soporte para la capa de tinta. La capa base contiene aproximadamente entre un 20 y un 50 % de disolventes orgánicos. A continuación se imprime la lata. En otros casos, no se utiliza esta base porque la lata se imprime directamente. La tinta de impresión puede contener entre un 18 y un 38 % de disolventes orgánicos y típicamente se consumen entre 0,5 y 0,7 g de tinta por m<sup>2</sup> de hojalata. La lata puede ser recubierta opcionalmente a continuación con una fina capa de barniz de acabado para proteger la impresión. El barnizado final contiene aproximadamente entre un 25 y un 35 % de disolventes orgánicos.

Los datos de consumo correspondientes al procesamiento de aluminio en una planta se muestran en la Tabla 15.8.

Paso del proceso	Material	Consumo (t/a)	Comentarios
Capa base	Laca	127	12,5 % en peso de disolventes
Impresión	Tintas de impresión	58	15 % en peso de disolventes
Barniz de acabado	Barniz de acabado	257	16 % en peso de disolventes
Barniz inferior (aplicación con rodillo)	Recubrimiento inferior	19	33,5 % en peso de disolventes
Recubrimiento interior	Laca	1050	15 % en peso de disolventes
Proceso completo de pintado	Agentes limpiadores, disolventes	26	
Total del proceso	Agua	135 000	
Proceso de limpieza		172	Ácido sulfúrico, tensioactivos
Proceso de limpieza		55,4	Ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido fluorhídrico
Pretratamiento de la superficie		53	Ácido fluorhídrico
Pretratamiento de la superficie		24	Potenciación de la movilidad
Rueda de adsorción	Carbón activo	2	
Tratamiento de aguas residuales	Cal	82,3	
	Agente antiespumante	2,1	
	Floculante	2,54	
	Agente disgregante	12,1	Ferrolina
	Agente disgregante	14,4	
	Sosa cáustica	35,1	
	Ácido clorhídrico	34,5	
	Ácido sulfúrico	5,78	

**Tabla 15.8: Consumo de materiales en una planta** [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

### Consumo de materias primas en el recubrimiento de bidones

En promedio para bidones de 217 litros, una línea de bidones produce alrededor de 400 bidones por hora (el ritmo máximo de salida es de 600 bidones por hora). Todos los bidones se pintan exteriormente. La cantidad de pintura exterior utilizada es de alrededor de 250 gramos por bidón y el



consumo de disolventes se encuentra alrededor de 50 – 55 kg/h si se utilizan recubrimientos de base disolvente. Algunas instalaciones disponen de varias líneas de bidones. El recubrimiento interior (50 % de los bidones) se puede llevar a cabo simultáneamente en una línea separada de recubrimiento (cabina de pulverización + hornos) dedicada ya sea a los cuerpos o a los extremos y el consumo adicional de disolventes es de 80 kg/h. Por motivos de estabilidad química se pueden utilizar recubrimientos fenólicos, que tienen un cierto contenido de fenoles. [128, TWG, 2005]

**Consumo de materias primas en el recubrimiento e impresión de láminas planas**

En la operación de recubrimiento, el consumo de disolventes cambia en gran medida dependiendo del uso final de la lata y del sustrato metálico utilizado. Los sólidos aplicados pueden suponer de 4 a 6 g/m<sup>2</sup> del recubrimiento exterior de oro en una lata estándar, y hasta 25 g/m<sup>2</sup> en el recubrimiento interior de oro en una lata diseñada para productos agresivos. El rango típico de contenidos de disolventes en los recubrimientos utilizados se encuentra entre el 45 y el 70 %. Para ciertas aplicaciones específicas, se utilizan recubrimientos de base acuosa con contenidos en disolventes entre el 10 y el 25 %. El uso de disolventes para la impresión supone alrededor del 10 % del consumo de disolventes durante la operación de recubrimiento. La Tabla 15.9, muestra los datos relativos al consumo de materias primas en los procesos de recubrimiento e impresión de láminas planas.

Aplicación		Peso típico de la capa (g/m <sup>2</sup> )	Contenido típico en sólidos (%)
Cuerpos de tres piezas	Interior	5 – 40	30 – 35
	Exterior oro	4 – 6	30 – 40
	Acabado exterior	2 – 3	25 – 35
	Blanco exterior	12 – 16	50 – 60
	Barniz exterior	5 – 7	35 – 45
	Barniz exterior (UV)	5 – 7	100
Componentes de los extremos	Interior	4 – 14	30 – 55
	Exterior oro	4 – 7	30 – 40
	Acabado exterior	2 – 3	25 – 35
	Blanco exterior	12 – 16	50 – 60
	Barniz exterior	5 – 7	35 – 45
	Barniz exterior (UV)	5 – 7	100
Tapones y cierre	Sistema interior	10 – 20	40 – 50
	Acabado exterior	2 – 3	30 – 40
	Blanco exterior	10 – 15	50 – 60
	Barniz exterior	2 – 4	35 – 45

**Tabla 15.9: Consumo de materias primas en el recubrimiento e impresión de láminas planas [76, TWG, 2004]**

**Consumo de materias primas en el recubrimiento e impresión de latas de tres piezas**

El recubrimiento protector de la franja lateral de la lata, puede ser de un material de base acuosa, de base disolvente o en polvo. La selección del recubrimiento de la franja lateral depende del tipo de lata, de su uso final y del peso de la capa necesaria para dotar de resistencia al producto. Una característica crítica del recubrimiento de la franja lateral es la capacidad para soportar la deformación del metal durante las fases de perfilado y rebordeado.

El rango de pesos de capa es de 5 a 25 g/m<sup>2</sup> para franjas laterales líquidas. Esto da lugar a niveles potenciales de COV entre 5 y 100 g/m<sup>2</sup> de franja lateral (esto es de 8 – 160 mg COV por lata típica de 0,5 kg).

Para franjas laterales en polvo, el rango de pesos de capa es de 70 a 140 g/m<sup>2</sup>. No hay emisiones de COV asociadas a la aplicación de franjas laterales en polvo.

Actualmente no hay ninguna tecnología ni material estándar para la franja lateral capaz de cubrir todas las especificaciones de fabricación de latas. La Tabla 15.10, muestra datos de consumo de materias primas durante el recubrimiento e impresión de latas de tres piezas.

Aplicación		Peso típico de la capa (g/m <sup>2</sup> )	Contenido típico en sólidos (%)
Franja lateral	Líquido	5 – 20	15 – 25
	Polvo	70 – 140	100

**Tabla 15.10: Consumo de materias primas en el recubrimiento e impresión de latas de tres piezas [76, TWG, 2004]**

**Consumo de materias primas en el recubrimiento e impresión de extremos, tapones y cierres**

Además de evitar fugas, los selladores y juntas también deben proporcionar una seguridad biológica esencial, especialmente en el caso de latas, terminaciones y cierres destinados a alimentos y bebidas.

El consumo de sellador y de masilla de relleno se mide en volumen en lugar de peso por unidad de área. Cuando se requiere una reparación con pulverización, la cifra típica es de 95 g por 1000 extremos (EOE) para un diámetro de 73 mm. Todos los productos para reparación por pulverización son únicamente de base disolvente. Los volúmenes típicos de sellador se muestran en la Tabla 15.11 a continuación.

Diámetro (mm)	Extremos para latas destinadas a alimentos	Extremos para latas destinadas a bebidas	Extremos para latas de línea general	Extremos superiores para aerosoles	Bases para aerosoles
48				35 – 55	
50		22 – 33			28 – 48
52	30 – 45	25 – 35		40 – 60	
54					30 – 50
57		30 – 40			
60				40 – 70	
63					35 – 60
65				45 – 75	35 – 60
70			40 – 65		
73	30 – 50				
83	40 – 60				
99			70 – 100		
153	80 – 110		150 – 225		
165			165 – 245		
Volumen de masilla (mm <sup>3</sup> ) para distintos diámetros de lata/extremo y aplicaciones					

**Tabla 15.11: Consumo de materias primas en el recubrimiento e impresión de extremos, tapones y cierres [76, TWG, 2004]**

**15.3.3.2 Agua**

No hay datos disponibles.

**15.3.3.3 Energía**

**Consumo de energía en el recubrimiento e impresión de latas de dos piezas**

El consumo de energía en las Ejemplos de instalaciones A y B durante el año 1999 – 2000 se muestra en la Tabla 15.12

	Planta A (MWh)	Planta B (MWh)
Gas natural	67 000	60 000
Electricidad	43 000	55 000
Energía regenerada	4000	
Nota: Las plantas A y B se describen en la sección 15.3.3.1		

**Tabla 15.12: Uso y recuperación de la energía en dos instalaciones**  
[13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

### 15.3.4 Emisiones

#### 15.3.4.1 Emisiones a la atmósfera

[13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

La Tabla 15.13 muestra un resumen de las emisiones de COV registradas.

	<sup>1</sup> Nivel de emisiones durante la aplicación (g/m <sup>2</sup> )	
	De base disolvente	De base acuosa
En contacto con alimentos		
• DWI para bebidas	6,7 – 10,5	3,2 – 4,5
• lámina para extremos, latas y componentes	4 – 93	1 – 30
• bidones	90 – 100	
Sin contacto con alimentos		
• lámina para extremos, latas y componentes	4 – 93	1 – 30
• bidones	60 – 70	11 – 20
Barniz para impresión		
• lámina para extremos, latas y componentes <sup>2</sup>	2,5 – 13	1 – 6
Notas: <sup>1</sup> Los valores también incluyen las emisiones fugitivas <sup>2</sup> Las aplicaciones de tintas UV y barnices se limitan a aplicaciones no alimentarias y especiales y pueden alcanzar niveles inferiores a 1 No se ha informado de datos en relación con tubos de aluminio		

**Tabla 15.13: Niveles de emisión de COV registrados en distintos procesos de recubrimiento e impresión de envases metálicos**  
[76, TWG, 2004] [124, SEFEL, 2005]

#### Emisiones a la atmósfera procedentes del recubrimiento y la impresión de latas de dos piezas

Debido a la extracción y tratamiento mediante combustión térmica regenerativa de los gases residuales procedentes de las máquinas de impresión y de las unidades de aplicación de recubrimientos y de secado, la cantidad de emisiones de COV es relativamente baja. La eficiencia del tratamiento de gases residuales es superior al 99 %. Sin embargo esto depende de la concentración de entrada. El caudal másico de C total en el gas limpio después del proceso de incineración regenerativa se encuentra en el rango de 0,6 - 1,2 kg/h. Se consiguen concentraciones en el gas limpio < 20 mg C<sub>total</sub>/Nm<sup>3</sup>.

La Tabla 15.14 muestra datos de emisión de la planta A utilizando un incinerador regenerativo con capacidad para tratar un caudal de gas de 76 000 Nm<sup>3</sup>/h procedente de dos líneas de producción, y aplicando una circuito de adsorción que trata un caudal de gases de 90 000 Nm<sup>3</sup>/h también correspondiente a dos líneas de producción:

Parámetro	Flujo másico (kg/h)	Flujo másico (kg/a)	Comentarios
COV	Sin datos	Sin datos	
Total C	0,61	5075	Tras la incineración
	1,2	10 080	Tras el circuito de adsorción
Polvo	0,00015	1,27	Tras la incineración
CO	1,37	11 400	Tras la incineración
NO <sub>x</sub>	1,52	12 600	Tras la incineración

**Tabla 15.14: Valores de emisión de gases limpios tras el tratamiento de los gases residuales de la planta A**  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

La Tabla 15.15 muestra datos de emisión de la planta B utilizando un incinerador regenerativo con capacidad para tratar un caudal de gas de 71 240 Nm<sup>3</sup>/h procedente de tres líneas de producción, y con un lavador biológico que trata un caudal de gases de 31 820 Nm<sup>3</sup>/h también correspondiente a dos líneas de producción:

Parámetro	Flujo másico (kg/h)	Flujo másico (kg/a)	Comentarios
COV	Sin datos	Sin datos	
Total-C	1,19	6764	Tras la incineración
	0,3	252	Tras el lavador biológico
Polvo	0,03	202	Tras la incineración
CO	0,69	3929	Tras la incineración
NO <sub>x</sub>	1,71	9721	Tras la incineración

**Tabla 15.15: Valores de emisión de gases limpios tras el tratamiento de los gases residuales de la planta B**  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

La Tabla 15.16 muestra los datos de las emisiones procedentes de la planta C que aplica un incinerador regenerativo con capacidad para tratar un caudal de gases de 35 000 Nm<sup>3</sup>/h, y un circuito de adsorción que trata un caudal de gases también de 35 000 Nm<sup>3</sup>/h. El aire cargado de disolventes procedentes de la aplicación del recubrimiento base y del recubrimiento protector se canaliza a través del circuito de adsorción, alcanzando una eficiencia del 54,4 % para el butoxietanol y el 16,7 % para el dibutilaminetanol. El gas de salida del adsorbente se dirige a continuación hacia el incinerador. El aire extraído de los secadores sólo se canaliza hacia la unidad de combustión, alcanzando una eficiencia de eliminación del 99,9 %.

Parámetro	Flujo másico (kg/h)	Flujo másico (kg/a)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	Comentarios
Total C	1,75	14 525	50	Tras la adsorción
	< 0,07	581	< 2	Tras la incineración
Polvo				
CO	2,55	21 206	73	Tras la incineración
CO <sub>2</sub>		8290		Incinerador y secadores
NO <sub>x</sub>	2,80	23 240	80	Tras la incineración

**Tabla 15.16: Valores de emisión de gases limpios tras el tratamiento de los gases residuales de la planta C**  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

Los COV se emiten principalmente en forma de emisiones fugitivas procedentes de, p. ej., procesos de transporte, cintas transportadoras o a la salida de los secadores. En las plantas A, B y C, se emitían alrededor de 31 – 46 t de COV anuales en forma de emisiones fugitivas. Las emisiones fugitivas estimadas para la planta C son de 34 t/a, que corresponden al 15 % de la entrada de disolventes.

Se indica que la emisión de COV procedentes del barnices y de la limpieza (antes del tratamiento) se encuentra en el rango de 10 – 12 g/m<sup>2</sup> de hojalata [23, España, 2000] .

#### **Emisiones a la atmósfera procedentes del recubrimiento e impresión de bidones**

La Tabla 15.17 muestra datos de las emisiones procedentes del recubrimiento e impresión de bidones.

<b>Purificación de gases residuales (WGT)</b>	30 %
<b>COV eliminadas mediante WGT</b>	67 toneladas
<b>Emisiones de COV a la atmósfera</b>	143 toneladas/a
Nota: Emisiones estimadas típicas por millón de bidones grandes	

**Tabla 15.17: Emisiones a la atmósfera procedentes del recubrimiento e impresión de bidones [76, TWG, 2004]**

#### **15.3.4.2 Emisiones al agua**

[13, DFIU e IFARE, 2002]

##### **Aguas residuales en el recubrimiento e impresión de latas de dos piezas**

Las aguas residuales proceden de los procesos de pretratamiento. Las concentraciones de estaño proceden de la limpieza de las latas embutidas en profundidad hechas de hojalata estañada. Tras la precipitación y floculación las concentraciones de estaño son de 4 y < 2 mg/l en las plantas A y B respectivamente.

Los valores de AOX tras el tratamiento son de 0,5 y < 1 mg/l en las plantas A y B respectivamente. La concentración de hidrocarburos tras el tratamiento fue, para ambas plantas, < 20 mg/l. El agua residual tratada procedente de la planta C tiene una concentración de DQO de 350 mg/l y de AOX de 0,5 mg/l.

#### **15.3.4.3 Residuos**

[13, DFIU e IFARE, 2002]

##### **Residuos procedentes del recubrimiento e impresión de latas de dos piezas**

Los residuos relevantes procedentes de los procesos de producción se muestran en la Tabla 15.18 La cantidad de residuos se expresa en toneladas por año y es un valor relativo a cada metro cuadrado de hojalata o de aluminio procesados.

Residuos	Planta A		Planta B		Planta C	
	(t/a)	(g/m <sup>2</sup> )	(t/a)	(g/m <sup>2</sup> )	(t/a)	(g/m <sup>2</sup> )
Lodos de recubrimientos procedentes de la limpieza de las instalaciones	2,95	0,025				
Disolventes y mezclas de disolventes	42,15	0,351			8	0,11
Disolventes orgánicos, agentes limpiadores y soluciones alcalinas	56,79	0,473				
Filtros contaminados con aceite, paños de limpieza y ropa protectora	61,66	0,514	43	0,43	5,2	0,02
Lodos de recubrimientos			87,00	0,87	32	0,40
Filtros de barniz			6	0,06		
Envases con contaminantes peligrosos			8	0,08		
Sedimentos procedentes de tanques de limpieza					11	0,15
Residuos de aceite					12,4	0,17
Lodos de cal					316	4,0
Residuos industriales mezclados					53	
Chatarra de aluminio					3,63	

Tabla 15.18: Residuos generados por el recubrimiento e impresión de envases metálicos [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

Se dispone de otros datos que muestran que por metro cuadrado de hojalata se emiten 1 – 2 g/m<sup>2</sup> de disolventes usados, que normalmente se limpian y reciclan dentro o fuera de la misma ubicación [23, España, 2000].

#### Residuos generados por el recubrimiento e impresión de bidones

La Tabla 15.19 muestra datos de las emisiones procedentes del recubrimiento e impresión de bidones.

Residuos	6,25 %
Residuos	14 toneladas
Nota: Emisiones estimadas típicas por millón de bidones grandes	

Tabla 15.19: Emisiones procedentes del recubrimiento e impresión de bidones [76, TWG, 2004]

## 15.4 Técnicas a tener en cuenta en la determinación de las MTD para el recubrimiento e impresión de envases metálicos

En el capítulo 20, se analizan técnicas que también podrían ser aplicables al recubrimiento e impresión de envases metálicos. En la sección 20.7, se analizan técnicas relacionadas con la aplicación de pinturas. Estas técnicas también podrían ser aplicables al recubrimiento e impresión de envases metálicos. En la Tabla 15.20 se muestran las técnicas generales relevantes para el recubrimiento e impresión de envases metálicos descritas en el capítulo 20 o sección 20.7. Estas técnicas no se repiten en esta sección, a menos que haya disponible información específica para este sector. En Tabla 20.1 se describe el tipo de información tenida en cuenta para cada técnica.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 15.20: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector

### 15.4.1 Sistemas de recubrimiento y tintas convencionales de base disolvente

**Descripción:** Para una descripción general, véase la sección 20.7.2.1. Los materiales de recubrimiento y las tintas típicamente son de base disolvente en los siguientes procesos de fabricación de envases metálicos:

- recubrimiento exterior aplicado a latas DWI,
- tintas decorativas aplicadas a latas DWI,
- aplicaciones especiales con alimentación por hojas,
- recubrimiento base y de tinta aplicados a tubos de aluminio extrusionado,
- recubrimiento interior y exterior de bidones.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de la frecuencia de limpieza (limpieza a fondo) y del consumo de materiales. Los materiales residuales se reciclan de forma rentable para la recuperación de los disolventes.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Los gases residuales procedentes de procesos realizados sobre láminas generalmente se tratan como sigue:

- los procedentes de procesos de recubrimiento generalmente se tratan,



- los procedentes de procesos de impresión generalmente se dispersan directamente a la atmósfera.

Los gases residuales procedentes de los procesos de fabricación de DWI y bidones mediante tecnologías basadas en láminas se tratan o se dispersan directamente a la atmósfera dependiendo de las condiciones locales.

Los gases residuales procedentes de los procesos de fabricación de tubos de aluminio extrusionado generalmente se tratan como sigue:

- los procedentes de la actividad de aplicación de capas de base generalmente se dispersan directamente a las atmósfera
- los procedentes de secadores se tratan en algunas ocasiones
- los gases residuales procedentes de aplicadores de tinta de decoración y de recubrimientos transparentes generalmente se dirigen hacia un limpiador cáustico y los gases procedentes del secado posterior normalmente se tratan mediante oxidación térmica.

**Aplicabilidad:** Adecuado para los procesos de recubrimiento e impresión de envases metálicos que estén sujetos a los siguientes requerimientos de especificación:

- características superiores de IPPC,
- resistencia a la permeabilidad de agua,
- barniz húmedo sobre húmedo,
- resistencia química mejorada,
- resistencia a la contaminación por aceites y lubricantes.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad del producto y seguridad.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [125, SEFEL, 2005]

### 15.4.1.1 Tintas de base disolvente en la fabricación de latas DWI de dos piezas

**Descripción:** Las tintas de impresión aplicadas contienen alrededor del 18–38 % de disolventes orgánicos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Las máquinas de impresión de DWI son capaces de alcanzar velocidades > 2000 latas/minuto, disponiendo de 4/6/8 secciones independientes que son capaces de aplicar secuencialmente hasta ocho colores y un recubrimiento de acabado. Las tintas se curan en hornos térmicos a temperaturas que van desde los 180 a los 450 °C durante de 7 a 60 segundos.

Las tintas se curan en un horno térmico y los gases residuales se pueden tratar mediante oxidación térmica. Los decoradores están diseñados para permitir la extracción de los gases residuales. Las prensas generalmente se encuentran encerradas para mejorar la extracción de gases residuales y su posterior tratamiento.

**Aplicabilidad:** Generalmente se aplican procesos de offset seco. Sin embargo, en las instalaciones más recientes también se utilizan rodillos de grabado. Las máquinas de decoración están diseñadas para permitir la extracción de los gases residuales.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [65, UKDEFRA, 2003] [76, TWG, 2004]

## 15.4.2 Reemplazo de recubrimientos y tintas que contienen disolventes (sustitución)

### 15.4.2.1 Sistemas de recubrimiento y tintas de base acuosa/disolvente

**Descripción:** Para una descripción general, véase la sección 20.7.2.3. Los siguientes son aplicados a latas DWI:

- recubrimiento exterior (parte inferior no incluida): contenido de disolventes orgánicos del 15 – 45 % en peso,
- recubrimiento interior: contenido de disolventes orgánicos del 10 – 15 % en peso,
- recubrimiento base para la parte inferior de la lata: contenido de disolventes orgánicos del 80 % en peso.

Para latas DWI de aluminio, esto es:

- recubrimiento interior y exterior: contenido de disolventes orgánicos del 12 – 16 %,
- recubrimiento de la parte inferior de la lata: contenido de disolventes orgánicos del 33 %.

Para bidones de acero, esto es:

- recubrimiento exterior: contenido de disolventes orgánicos del 5 – 15 %.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** El cambio a productos de base acuosa supone un mayor uso de energía (y por consiguiente emisiones de CO<sub>2</sub>) en secadores y oxidadores térmicos. Sin embargo, si la reducción de emisiones de COV es suficiente y se puede prescindir de los oxidadores, el uso de energía puede ser el mismo o inferior (véase el BREF ECM, anexo 14 acerca de la impresión basada en agua).

**Información operativa:** Los gases de salida procedentes de la aplicación mediante pulverización y de los secadores generalmente se tratan. Existen recubrimientos alternativos disponibles principalmente para los procesos de recubrimiento de latas embutidas y estiradas (DWI).

**Aplicabilidad:** Las latas de aluminio se recubren principalmente con recubrimientos de base acuosa (p. ej. lacas).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Planta de ejemplo:** Rexam, Berlin, Alemania (latas de hojalata).

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [65, UKDEFRA, 2003] [70, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 15.4.2.2 Sistemas de recubrimiento y masillas de base acuosa en la fabricación de envases metálicos basada en tecnología de alimentación por láminas

Esta sección proporciona información acerca de las latas de tres piezas así como otros envases metálicos que no son DWI.

**Descripción:** Para una descripción general, véase la sección 20.7.2.3. Los siguientes sistemas de recubrimiento de base acuosa/disolvente son aplicables a envases metálicos tal como se indica a continuación:

- latas de tres piezas para alimentos, bebidas, aerosoles y productos especiales,
- protección de la franja lateral soldada en latas de tres piezas Los recubrimientos de base acuosa pueden ser aplicados sobre la franja lateral de las soldaduras,
- extremos, tapones, tapas y cierres de latas de tres piezas, jarras y botellas,
- latas de dos piezas no DWI.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de disolventes orgánicos, porque no se utilizan.

**Efectos cruzados:** Mayor frecuencia de limpieza de las máquinas y del tiempo de inactividad. Aumento de los fangos en el sistema de extracción (condensados y resinas). Reducción de los riesgos para la salud y la seguridad de los operadores de las máquinas de recubrimiento por la menor exposición de base disolvente. Reducción de los riesgos de incendio y explosión. Requiere hornos térmicos de secado.

**Información operativa:** Los gases de salida procedentes del proceso de recubrimiento y de los secadores generalmente se tratan. Los sistemas de recubrimiento de base acuosa deben ser almacenados en un ambiente libre de escarcha. Reducción de los riesgos para la salud y la seguridad de los operarios de las máquinas de recubrimiento por la menor exposición a disolventes. Reducción de los riesgos de incendio y explosión.

**Aplicabilidad:** Las masillas de base acuosa están disponibles y se aplican a menudo. Aplicaciones de seco sobre húmedo sólo sujetas a parámetros de calidad. Aplicables a componentes de envases metálicos, tapas y cierres.

**Aspectos económicos:** Las bombas y las canalizaciones que intervienen en el proceso deben ser de acero de alta calidad. Se produce un aumento de los costes de mantenimiento por el desgaste de las hojas de las rasquetas, y los costes de limpieza del sistema de extracción- Es necesaria una inversión en hornos secadores y en sistemas de canalizaciones de alta calidad para aprovisionamiento y distribución.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplimiento de la legislación ambiental.

**Ejemplos de instalaciones:** Impress Hoogeveen e Impress Deventer, ambas en los Países Bajos.

**Bibliografía de referencia:** [65, UKDEFRA, 2003], [76, TWG, 2004]

### 15.4.2.3 Recubrimiento alimentado por hojas

Esta sección proporciona información acerca de las latas de tres piezas así como otros envases metálicos que no son DWI.

**Descripción:** Existen materiales de base acuosa adecuados para ciertos productos de envases metálicos, pero se limitan a poliésteres, acrílicos y epoxifenólicos (excluye el organosol). Sin

embargo, todos los recubrimientos de base acuosa contienen algunos disolventes orgánicos, principalmente para mejorar la capacidad de humectación.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de disolventes orgánicos. Reducción de los riesgos para la salud y la seguridad de los operarios de las máquinas de recubrimiento por la menor exposición a disolventes. Reducción de los riesgos de incendio y explosión.

**Efectos cruzados:** Mayor desgaste de las hojas de las rasquetas y producción de condensación.

**Información operativa:** El tiempo de parada para limpieza es generalmente 30 minutos más largo que con materiales de base disolvente.

**Aplicabilidad:** Adecuado para aplicaciones de húmedo sobre seco únicamente. Aplicado a la fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas.

**Aspectos económicos:** Aproximadamente el coste es equivalente entre materiales de base acuosa y de base disolvente.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplimiento de las estrategias de reducción de disolventes.

**Ejemplos de instalaciones:** Impress Hoogeveen, Países Bajos.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

#### 15.4.2.4 Franja lateral líquida

Esta sección proporciona información sólo sobre latas de tres piezas.

**Descripción:** Sobre las áreas externa e interna de la región de la soldadura del cilindro de la lata se aplica una franja lateral de laca. El peso de la capa por lata típica es de aproximadamente 0,02 g/lata y el tipo de laca se selecciona de acuerdo con la naturaleza agresiva de los productos con que se vaya a rellenar la lata. Existen materiales de base acuosa disponibles para ciertos productos de latas tras haber superado extensas pruebas como embalaje autorizado.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Emisiones de disolventes orgánicos reducidas.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Las lacas de base acuosa se pueden utilizar con equipamiento estándar de aplicación de franjas laterales. Reducción de los riesgos para la salud y la seguridad de los operarios de las máquinas de recubrimiento por la menor exposición a disolventes. Reducción de los riesgos de incendio y explosión.

**Aplicabilidad:** Los materiales de base acuosa no son adecuados para la aplicación de franjas laterales en la cara interior de latas destinadas a productos agresivos.

**Aspectos económicos:** Aproximadamente el coste es equivalente entre materiales de base acuosa y de base disolvente.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplimiento de las estrategias de reducción de disolventes.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [65, UKDEFRA, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 15.4.2.5 Pulverización de reparación

Esta sección proporciona información sólo acerca de latas con extremos dotados de abrefácil.

**Descripción:** Las rayas sobre el acero del extremo con abrefácil se producen después de la primera operación de aplicación de la capa base y de prensado. Estas rayas deben ser reparadas mediante pulverización para prevenir la corrosión del acero. Las lacas adecuadas para esta operación se encuentran disponibles actualmente sólo entre las lacas de base disolvente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Los disolventes orgánicos generalmente se dispersan directamente a la atmósfera.

**Información operativa:** Buenas propiedades humectantes y resistencia a los aceites superficiales.

**Aplicabilidad:** Extremos de acero con abrefácil. Aplicado a la fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 15.4.2.6 Recubrimiento de la franja lateral mediante pulverización de polvo

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.6.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No se producen emisiones de disolventes orgánicos.

**Efectos cruzados:** El peso de la capa es típicamente 10 veces la necesaria para una franja lateral líquida.

**Información operativa:** Requiere el control electrostático de la pulverización.

**Aplicabilidad:** Aplicado a la fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas. Protección de la cara interior de la franja lateral en latas destinadas a contener productos agresivos. Los recubrimientos en polvo se pueden aplicar sobre la soldadura y se denominan «franjas laterales». Los recubrimientos en polvo se utilizan para la protección de la franja lateral de las latas soldadas de tres piezas.

**Aspectos económicos:** Los costes de aplicación del polvo son superiores a los de las lacas líquidas.

**Motivo principal para su aplicación:** Legislación ambiental.

**Ejemplos de instalaciones:** Impress Deventer, Países Bajos.

**Bibliografía de referencia:** [65, UKDEFRA, 2003] [76, TWG, 2004]

### 15.4.2.7 Materiales recubiertos en bobina

Esta sección proporciona información acerca de las latas de tres piezas así como otros envases metálicos que no son DWI.

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.6. Es posible aplicar materiales recubiertos en bobina.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción significativa de las emisiones de COV según las actividades de recubrimiento que son reemplazadas por la utilización de materiales recubiertos en bobina.

**Efectos cruzados:** Pérdida de materiales como residuos estructurales en un promedio del 20 %, que incluye material recubierto.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Aplicado únicamente a algunos extremos y bóvedas para latas destinadas a aerosoles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

### 15.4.2.8 Bobina prerecubierta

**Descripción:** Esta técnica puede ser utilizada para la producción de latas de tres piezas así como para otros envases metálicos que no sean DWI.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No se producen emisiones de disolventes orgánicos en las instalaciones de fabricación de envases metálicos.

**Efectos cruzados:** La chatarra resultante del proceso (triturada) contiene recubrimiento.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Se aplica a la fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación de láminas y a procesos alimentados mediante bobinas. Las bobinas recubiertas están disponibles procedentes de un número limitado de proveedores de metales y son adecuadas sólo para una selección de extremos, cierres y cierres fabricados por embutición. No es adecuada para latas DWI.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Restricciones ambientales o la necesidad de subcontratar la actividad de producción de los recubrimientos.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

### 15.4.2.9 Compuestos UV (barnices y tintas)

**Descripción:** Véase la sección 2.4.2.2.1. Las tintas UV se aplican a una amplia gama de productos: aerosoles, alimentación, línea general, cierres y tapones. Los barnices UV también se utilizan para aerosoles, alimentación y algunos productos de línea general.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No se producen emisiones de disolventes orgánicos. No requieren hornos térmicos de curado ni las implicaciones asociadas a la energía y las emisiones.

**Efectos cruzados:** Se emite ozono.

**Información operativa:** Se debe tener precaución con el uso de materiales UV y su adecuación a cualquier tipo de producto de relleno.

**Aplicabilidad:** esta técnica es aplicable a las latas de tres piezas así como otros envases metálicos que no son DWI.

El uso de tintas UV para envases metálicos se ha incrementado en las aplicaciones fuera del ámbito de la alimentación y son de uso común. Aplicado a la fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas. El curado mediante lámparas UV reemplaza los hornos térmicos de secado convencionales. Las aplicaciones de barnices UV están muy limitadas por los estándares existentes de flexibilidad en las herramientas y la resistencia a la abrasión.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplimiento de normativas ambientales.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [65, UKDEFRA, 2003] [76, TWG, 2004]

### 15.4.3 Aplicación de recubrimientos y tinta

#### 15.4.3.1 Rodillos para la fabricación de latas DWI

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.1. El recubrimiento mediante rodillos y el offset seco se utilizan generalmente para la aplicación del recubrimiento externo y las tintas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Utilización óptima de materiales.

**Efectos cruzados:** A veces los gases emitidos durante los procesos de recubrimiento y de impresión se dispersan directamente a la atmósfera.

**Información operativa:** Los rodillos aplicadores para las capas de recubrimiento se encuentran confinados y el material excedente de recubrimiento se recoge y se devuelve al depósito.

**Aplicabilidad:** Generalmente se utilizan recubridores de rodillos para la aplicación del recubrimiento externo y offset seco para la aplicación de las tintas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Utilización óptima de materiales.

**Ejemplos de instalaciones:** Rexam, Berlin, Alemania (latas de acero).



**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [65, UKDEFRA, 2003] [70, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004]

### 15.4.3.2 Rodillos para tecnología de alimentación por hojas

Esta sección proporciona información acerca de las latas de tres piezas así como otros envases metálicos que no son DWI.

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.1. Las capas del recubrimiento se controlan con una precisión de 3 a 10 micras típicamente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Aplicación optimizada de la laca y reducción de las emisiones de disolventes orgánicos.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Los rodillos aplicadores para las capas de recubrimiento se encuentran confinados y el material excedente de recubrimiento se recoge y se devuelve al depósito.

**Aplicabilidad:** Los recubridores de rodillo se utilizan exclusivamente para recubrir las láminas. Las franjas laterales también pueden ser aplicadas mediante rodillos. La industria de los envases metálicos utiliza, para operaciones seleccionadas, rodillos de recubrimiento en continuo y de aplicación puntual para la aplicación de lacas.

**Aspectos económicos:** Ahorro en materiales de recubrimiento.

**Motivo principal para su aplicación:** Coste y control de calidad de la aplicación de recubrimientos.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [65, UKDEFRA, 2003], [76, TWG, 2004]

### 15.4.3.3 Rodillos para la fabricación de tubos de aluminio extrusionado

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.1. Los recubridores de rodillo se utilizan para aplicar el recubrimiento de base. El cilindro rota y el rodillo permanece estático. El rodillo recogedor atraviesa un depósito que contiene el material de recubrimiento. El material en exceso es retirado a continuación por el sistema de dosificación y se introduce de nuevo en el depósito. Tras el proceso de impresión, se aplica un barniz de acabado (recubrimiento transparente) utilizando los rodillos. La estación de recubrimiento está normalmente confinada y el aire residual se extrae y se trata mediante una unidad de depuración. El proceso siguiente de secado se purifica mediante una unidad de oxidación térmica.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de disolventes a la atmósfera.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [65, UKDEFRA, 2003] [76, TWG, 2004]

### 15.4.3.4 Pulverización con aire comprimido

**Descripción:** Para una descripción general, véase la sección 20.7.3.8 .

**Beneficios ambientales obtenidos:** La eficiencia de aplicación de la pulverización en el interior se encuentra en el intervalo de 93 – 97 % para la fabricación de latas de dos piezas DWI.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** La niebla de pulverización generalmente se separa mediante la aplicación de sistemas de filtros en seco. El recubrimiento de la niebla de pulverización no se reutiliza ni se recicla.

**Aplicabilidad:** La pulverización con aire comprimido es de uso común para la aplicación del recubrimiento interior en la fabricación de latas de dos piezas DWI y en la fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas.

**Aspectos económicos:** Minimiza el uso de laca mediante la aplicación sobre un perfil preciso.

**Motivo principal para su aplicación:** Beneficios ambientales y motivos económicos.

**Ejemplos de instalaciones:** Rexam, Berlin, Alemania (latas de acero).

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [65, UKDEFRA, 2003] [70, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004]

### 15.4.3.5 Pulverización sin aire

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.1. Las franjas laterales pueden ser aplicadas mediante el uso de pistolas de pulverización sin aire. La pulverización sin aire (eléctrica) es de uso común para la aplicación del recubrimiento interior.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La eficiencia de aplicación de la pulverización en el interior es del 90 % en la fabricación de latas de dos piezas DWI. Minimiza el uso de laca mediante la aplicación sobre un perfil preciso.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** La niebla de pulverización generalmente se recoge mediante sistemas de filtros en seco. El recubrimiento procedente de la niebla de pulverización no se reutiliza ni se recicla.

**Aplicabilidad:** La pulverización sin aire es de uso común para la aplicación del recubrimiento interior en la fabricación de latas de dos piezas DWI y en la fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas.

**Aspectos económicos:** Alta eficiencia de aplicación y menor uso de materias primas. Véanse los Motivos de la implementación a continuación.

**Motivo principal para su aplicación:** Reduce las emisiones a la atmósfera y resulta rentable.

**Ejemplos de instalaciones:** Rexam, Berlin, Alemania (latas de acero).

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [65, UKDEFRA, 2003] [70, UBA Alemania, 2003], [76, TWG, 2004]

#### 15.4.3.6 Pulverización electrostática

**Descripción:** Las franjas laterales obtenidas con recubrimiento en polvo se aplican utilizando pistolas de pulverización electrostática.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** El material de recubrimiento en exceso se recoge y se devuelve al depósito.

**Aplicabilidad:** Fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [65, UKDEFRA, 2003]

#### 15.4.3.7 Pulverización de polvo

**Descripción:** El sector del envasado metálico utiliza equipos de pulverización electrostática para la aplicación de franjas laterales en latas soldadas de tres piezas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La recirculación del polvo en circuito cerrado evita las emisiones de polvo.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Utilizado para latas de tres piezas con franja lateral lacada. Aplicado a la fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas.

**Aspectos económicos:** El coste de los materiales aplicados es superior al de las lacas líquidas aplicadas a las franjas laterales.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplimiento de normativas ambientales.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

### 15.4.3.8 Recubridor en cortina

**Descripción:** Esta es una técnica de recubrimiento utilizada para la protección exterior frente a la corrosión de latas DWI destinadas a productos de alimentación donde se requiere un acabado protector liso (no decorativo). Normalmente el recubrimiento también contiene un lubricante para favorecer la movilidad de la lata durante los procesos posteriores de fabricación y rellenado. El recubrimiento es aplicado mediante el paso de las latas, previamente lavadas y enjuagadas, en posición vertical (con la base hacia arriba), ya sea en grandes cantidades o sobre una cinta transportadora ancha, bajo una única o múltiples cascadas o cortinas de un recubrimiento diluido, de base acuosa. El recubrimiento líquido en exceso se desprende de las latas y va a parar a un sistema de recogida y recirculación. El recubridor en cortina se construye normalmente como parte integrante de la instalación completa del lavado, enjuagado y secado de las latas. La aportación continua de agua desionizada sobre la lata procedente del proceso anterior de enjuagado diluye el recubrimiento líquido en el sistema, que se reconcentra mediante la ultrafiltración o la adición periódica de recubrimiento líquido concentrado. El recubrimiento líquido se basa esencialmente en agua pero contiene una pequeña cantidad de COV para contribuir a la humectabilidad de la superficie de la lata.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El uso de materiales de recubrimiento de base acuosa minimiza el contenido en disolventes.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Cuando las latas no van a ser decoradas, tal como es el caso habitual de las latas para alimentos, entonces se aplica un recubrimiento protector transparente sobre la lata en posición vertical mediante un recubridor en cortina. Los sistemas de recubrimiento de cortina incorporan una instalación de recogida y recirculación en circuito cerrado.

**Aplicabilidad:** Protección exterior de latas para alimentos. Aplicada en la fabricación de embases embutidas y estiradas (DWI).

**Aspectos económicos:** Optimización de materiales.

**Motivo principal para su aplicación:** Costes y beneficios ambientales.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [65, UKDEFRA, 2003] [76, TWG, 2004]

### 15.4.3.9 Curado por radiación

Para una descripción general, véase la sección 20.7.2.5.

## 15.4.4 Impresión

### 15.4.4.1 Litografía (offset húmedo) para tecnología de alimentación por hojas

Esta sección proporciona información acerca de las latas de tres piezas así como otros envases metálicos que no son DWI.

**Descripción:** Véase la sección 2.4.1. Para una descripción general, véase la sección 15.2. Las prensas de impresión litográfica modernas son capaces de alcanzar velocidades superiores a las 6000 hojas por hora. El número de colores de impresión empleado depende del diseño, p. ej.

- los envases de leche en polvo pueden tener 10/11 colores,
- los envases metálicos promocionales pueden tener 13/14 colores.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las tintas de impresión utilizadas para procesos litográficos típicamente contienen menos del 10 % en disolventes orgánicos, dando lugar a emisiones de COV reducidas.

**Efectos cruzados:** Los disolventes orgánicos generalmente se dispersan directamente en el aire desde los hornos de secado.

**Información operativa:** Las líneas de impresión comprenden entre uno y seis puntos de impresión y pueden aplicar entre uno y seis colores en secuencia. Algunos diseños se pueden conseguir con un proceso de cuatro colores, mientras que otros se consiguen con el conjunto hexacromático de seis colores de impresión. Sin embargo, una gran parte de los diseños todavía se realiza utilizando colores fijos (esto es, tintas de colores ajustados a una tonalidad específica para cubrir las necesidades del diseño).

**Aplicabilidad:** Tecnología de uso común en la industria de la impresión de envases metálicos fabricados con láminas planas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Esta técnica es de uso común.

**Bibliografía de referencia:** [65, UKDEFRA, 2003], [76, TWG, 2004]

#### 15.4.4.2 Litografía sin agua

**Descripción:** Véase la sección 2.4.1.6.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Ahorro de recursos, materias primas y eliminación de emisiones procedentes de las soluciones humectantes. Tiempos reducidos de preparación para los cambios de decoración. Para reducir el consumo de material para el barnizado exterior, la lata puede ser impresa directamente a través del proceso offset y a continuación recubierta con una fina capa de barniz (recubrimiento transparente) para proteger la impresión.

**Efectos cruzados:** Se requiere la refrigeración de la planta.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Este proceso normalmente se utiliza cuando el registro de la impresión sobre el producto no es posible, tal como sucede sobre superficies circulares. Algunos ejemplos son latas de bebida, tapones y tubos de aluminio extrusionado. Esta técnica puede ser aplicada para determinados productos de envases metálicos. En instalaciones nuevas, se utilizan rodillos de grabado para la aplicación de la tinta de impresión.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Esta técnica es de uso común.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [65, UKDEFRA, 2003] [76, TWG, 2004]

#### **15.4.4.3 Litografía offset sin agua para la fabricación de tubos de aluminio extrusionado**

**Descripción:** Véase la sección 2.4.1.6. El recubrimiento de base curada proporciona la clave del diseño impreso a continuación, que se aplica mediante un decorador polícromo utilizando el proceso de offset sin agua.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Las planchas son depositadas manualmente sobre los rodillos del depósito y un preciso sistema de rodillos mide con exactitud cada color por separado sobre el rodillo de aplicación. Generalmente, se dispone de un extractor de vapores en el decorador, que se canalizan hacia la atmósfera después de atravesar un limpiador cáustico.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [65, UKDEFRA, 2003]

#### **15.4.5 Tratamiento de gases residuales**

##### **15.4.5.1 Sistemas de filtro seco**

Para una descripción general, véase la sección 20.11.3.6. Esta técnica es de uso común en la fabricación de latas de dos piezas DWI y en la fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas para la eliminación de partículas de recubrimiento. [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

##### **15.4.5.2 Filtro electrostático**

Para una descripción general, véase la sección 20.11.3.7. Esta técnica se utiliza comúnmente para la eliminación de partículas de recubrimiento. Los filtros electrostáticos no se utilizan en el sector de la fabricación de envases metálicos. [76, TWG, 2004]

##### **15.4.5.3 Oxidación térmica**

Para una descripción general, véase la sección 20.11.4.2. Las emisiones de COV pueden ser reducidas eficazmente mediante la postcombustión de los gases residuales procedentes de los secadores utilizados en las prensas de recubrimiento y de impresión y en otras actividades de impresión. La recuperación de calor puede ser aplicada para el calentamiento del agua de enjuague de pretratamiento y es una técnica actual en algunas industrias.

Esta técnica se aplica a los secadores. Sin embargo, es menos frecuente en los aplicadores de recubrimiento y de impresión. No se utiliza típicamente cuando las estrategias de reducción de disolventes han dado lugar al uso de materiales de base acuosa. Esta técnica se aplica en los siguientes sectores:

- fabricación de latas de dos piezas embutidas y estiradas (DWI),
- fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas,
- fabricación de tubos de aluminio extrusionado,
- bidones.

[65, UKDEFRA, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### **15.4.5.4 Oxidación catalítica**

Para una descripción general, véase la sección 20.11.4.6. El uso de la oxidación catalítica se encuentra en desarrollo.

[65, UKDEFRA, 2003]

#### **15.4.5.5 Adsorción con carbón activo**

Para una descripción general, véase la sección 20.11.6. Las ruedas de adsorción pueden ser aplicadas como pretratamiento, previo a una oxidación térmica. Utilizada en el sector de la fabricación de latas de dos piezas DWI.

[13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

#### **15.4.5.6 Tratamiento biológico**

Para una descripción general, véase la sección 20.11.8. El uso del tratamiento biológico se encuentra en desarrollo.

[65, UKDEFRA, 2003]

### **15.4.6 Tratamiento de aguas residuales**

#### **15.4.6.1 Floculación/sedimentación**

Para una descripción general, véanse las secciones 20.12.1 y 20.12.2. Este procedimiento se aplica generalmente a las aguas residuales generadas por un limpiador de latas. Se utiliza en el caso de latas DWI. Para la fabricación de latas de acero, se ha registrado una concentración de estaño en la descarga  $< 2$  frente a un máximo de 4 mg/l.

[13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

#### **15.4.6.2 Ultra y nanofiltración**

Para una descripción general, véase la sección 20.12.6. Esta técnica puede ser aplicada a las aguas residuales generadas en los procesos de pretratamiento de las siguientes industrias:

- fabricación de latas de dos piezas embutidas y planchadas (DWI),
- fabricación de envases metálicos basada en tecnologías de alimentación por hojas,
- fabricación de tubos de aluminio extrusionado.

No se utiliza actualmente para el tratamiento de aguas residuales procedentes de plantas de fabricación de latas.

[76, TWG, 2004]





## 16 RECUBRIMIENTO DE PIEZAS DE PLÁSTICO

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004, 171, May, 2006]

### 16.1 Información general sobre el recubrimiento de piezas de plástico

Una amplia variedad de productos modernos incorporan piezas de plástico, aunque muchas son utilizadas tras adquirir el acabado adecuado en el proceso de moldeo y no requieren recubrimiento. En general, alrededor del 75 % de las pinturas provistas a esta industria se aplican a piezas de plástico de vehículos y se aplican predominantemente sobre parachoques, tapacubos y volantes. El 25 % restante de las pinturas se utiliza para recubrir carcasas de televisores, equipos de alta fidelidad y ordenadores.

Las piezas de plástico recubiertas para la industria del automóvil incluyen piezas que son recubiertas por el fabricante del vehículo (producción en línea del vehículo o en líneas separadas de recubrimiento), así como piezas que son recubiertas por proveedores de componentes. Las piezas de plástico integradas en el cuerpo del vehículo a menudo deben adquirir un color que coincida con el de éste. En la actualidad el diseño del color es cada vez más importante en el sector de la automoción, incluyendo la decoración interior. Por ejemplo, se busca que el color del volante vaya a juego con el del tablero de instrumentos o con el del interior. En muchos casos, los cuerpos de los automóviles y los componentes pueden ser recubiertos en instalaciones distintas utilizando dispositivos o materiales de recubrimiento distintos para su aplicación, y una buena coincidencia de colores es muy importante

Debido al incremento del uso de plásticos reciclables en la industria de los proveedores de componentes para vehículos en los últimos años, también se ha incrementado en gran medida el uso de poliolefinas. Estos materiales son monopolares y requieren una preparación de la superficie para garantizar la necesaria adhesión del recubrimiento.

Los plásticos generalmente presentan ciertas características básicas, y éstas afectan el tipo de preparación de la superficie que puede ser utilizada, el tipo de recubrimiento que se puede aplicar y el proceso empleado para su aplicación.

Algunas características esenciales de los plásticos son:

- resistentes a las tensiones mecánicas o térmicas,
- químicamente resistentes,
- no conductores eléctricos,
- presentan propiedades adicionales de IPPC y adhesión en comparación con las superficies metálicas,
- posibilidad de fuga o migración de los ingredientes plásticos.

Los sistemas de recubrimiento deben ser escogidos cuidadosamente en lo que al disolvente que contienen se refiere puesto que algunos disolventes agresivos pueden provocar dilataciones y fragilización, producir grietas en el plástico o reducir la adhesión del sistema de recubrimiento. El recubrimiento también debe ser más elástico que el sustrato para resistir las deformaciones.

### 16.2 Procesos y técnicas aplicados en el recubrimiento de piezas de plástico

Generalmente, en el recubrimiento en serie de piezas de plástico se deben resolver tres aspectos:

- preparación de la superficie,
- estructura del recubrimiento,
- sistema de recubrimiento y técnica de aplicación utilizados.

### **Preparación de la superficie**

El pretratamiento de la superficie puede ser aplicado para preparar la superficie para el recubrimiento, p. ej., para incrementar las propiedades adhesivas de la superficie (especialmente para aplicaciones de sistemas de recubrimiento de base acuosa), para activar la superficie, para incrementar la conductividad eléctrica de la superficie (p. ej. para utilizarla con dispositivos de aplicación soportados electrostáticamente) o para reducir los fallos en la superficie, p. ej., los ocasionados por la fuga de ingredientes. Los pretratamientos típicos incluyen pretratamientos químicos en baños, tratamiento a la llama, procesos con plasma, la técnica de efecto corona y la fluoruración, que ofrece las ventajas del recubrimiento de una sola capa y permite que las piezas puedan ser almacenadas por períodos más largos antes de ser provistas para someterlas a los procesos de recubrimiento siguientes.

### **Estructura del sistema de recubrimiento**

Según los requerimientos específicos pueden ser necesarias 2, 3 o cuatro capas de pintura. También puede ser aplicada una capa base dependiendo del compuesto. Sobre la superficie de superficies especialmente difíciles tales como el polipropileno, puede ser necesaria una imprimación adicional. Para PVC blando o espuma blanda de PUR, es necesaria una capa de base aislante o inhibidora para evitar la migración del alisado. Para alisar la rugosidad de la superficie, se aplica un relleno elástico. El recubrimiento protector puede ser de una o de dos capas y también es elástico.

### **Sistema de recubrimiento y técnica de aplicación utilizados**

La elección del sistema de recubrimiento y de la técnica de aplicación depende de las necesidades del producto final. En Alemania, se utilizan predominantemente sistemas de base disolvente de uno y dos componentes de base de PUR y pinturas de un componente basadas en acril melamina, aunque también se utilizan sistemas de base acuosa, sistemas UV reticulados y recubrimientos en polvo.

Técnicamente, se utiliza la pulverización con aire a alta presión para aplicar pinturas húmedas. Según de la geometría de la pieza, la eficiencia de aplicación se encuentra entre el 20 y el 40 %. El método de aplicación de pintura de gran volumen y baja presión (HVLP) también es común en algunas aplicaciones, con factores de eficiencia de aplicación alcanzables entre el 25 y el 50 %. Existe un incremento del uso de robots, puesto que permiten conseguir un grosor de capa más homogéneo que con la pintura manual.

Las técnicas de aplicación electrostática también están disponibles pero hasta el momento sólo se han utilizado para superestructuras multicapa. En este caso, en primer lugar se aplica una primera capa eléctricamente conductora mediante pistolas de pulverización convencionales, a menudo seguida de una capa de imprimación, también aplicada mediante pistolas convencionales. La aplicación de la capa de recubrimiento transparente se puede llevar a cabo a continuación electrostáticamente (por ejemplo mediante campanas electrostáticas de alta rotación). Los factores de eficiencia en la aplicación se pueden incrementar en gran medida utilizando técnicas electrostáticas. Por ejemplo, si se utilizan campanas electrostáticas de alta rotación es posible alcanzar factores de eficiencia en la aplicación de hasta el 85 %. En algunos casos, sólo es posible alcanzar un nivel máximo de eficiencia en la transferencia del 50 – 65 % (p. ej. en el caso de piezas complejas de algunos procesos de la industria de la automoción, por ejemplo sobre sustratos de baja conductividad en el caso de piezas de plástico). Sin embargo, la técnica de recubrimiento electrostático no se puede utilizar para recubrimientos de una sola capa, puesto que requiere una capa previa eléctricamente conductora.

En general, el secado y el curado se llevan a cabo a una temperatura máxima de 80 °C a causa de la sensibilidad del sustrato al calor. Sin embargo, en algunos casos, se pueden producir zonas de calentamiento de hasta 135 °C y zonas con temperaturas sostenidas de hasta 110 °C. Sobre algunos plásticos, el curado con UV o con haz de electrones puede provocar un amarilleo en colores pálidos.

Se utilizan las siguientes cabinas y técnicas de pulverización:

- cabina simple de pulverización,
- cabina de pulverización y secador,
- cabina de pulverización con separación húmeda,
- cabina de pulverización con separación seca,
- técnicas de emulsión de agua en una cabina de pulverización,
- cabina de pulverización de pintura en pintura.

### 16.2.1 Recubrimiento de parachoques

Un ejemplo de un proceso simplificado de recubrimiento de parachoques de base acuosa se muestra en la Figura 16.1. Las piezas objeto de recubrimiento consisten en pastas de poliuretano moldeadas y termoplásticas.

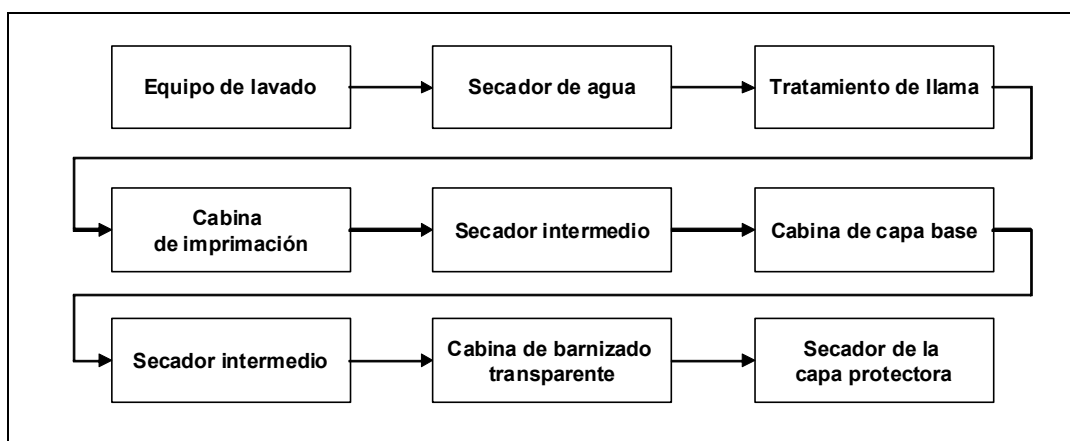


Figura 16.1: Proceso de recubrimiento de parachoques de base acuosa

#### Preparación de la superficie

Para la preparación de la superficie se pueden utilizar distintas técnicas. A menudo la limpieza mediante pulverización con agua se lleva a cabo automáticamente, con las piezas pasando progresivamente a través de distintas zonas, por ejemplo:

- primer desengrasado con un agente limpiador acuoso alcalino,
- aclarado con agua,
- segundo desengrasado con un agente limpiador acuoso alcalino,
- aclarado con agua,
- aclarado final con agua desionizada.

La limpieza mediante pulverización con agua y productos químicos puede ser evitada en el caso de parachoques de polipropileno, limpiando manualmente el parachoques con trapos impregnados en disolvente. En una instalación de ejemplo, los parachoques son limpiados manualmente con una mezcla de agua e isopropanol (la proporción de isopropanol es del 5 % en peso) y a continuación se secan en secadores por convección.

Normalmente se utiliza el aclarado en cascada para reducir el consumo de agua. El agua escurrida de las piezas se puede utilizar para sustituir las pérdidas por evaporación en la fase de desengrasado. También el agua desionizada puede ser reciclada. Estas medidas permiten una preparación de la superficie casi libre de aguas residuales (con la excepción del agua residual producida por el vaciado periódico de los tanques para su limpieza). Después del procedimiento de limpieza, las piezas se transportan a través de una unidad de secado y enfriado por soplado. Si se utiliza un secador por condensación, no es necesaria la unidad de enfriamiento.

Después del secado, las superficies de la pieza se activan típicamente mediante un tratamiento de llama o mediante ionización con plasma. Las piezas de poliuretano no necesitan ninguna preparación adicional.

### Aplicación del recubrimiento

En general, los parachoques se recubren con un recubrimiento de tres capas que consta de una capa de imprimación, una capa base y una capa transparente. La pintura es aplicada por robots o manualmente mediante pulverización asistida electrostáticamente o mediante pulverización con pistolas HVLP. En primer lugar se aplica una imprimación sobre las piezas de plástico. La imprimación puede estar basada en disolventes (p. ej. un recubrimiento inicial de dos componentes de base disolvente) o de base acuosa. La imprimación puede requerir un secado (p. ej. en un flujo de aire circulante a 80 °C) antes de la aplicación de las capas siguientes. La aplicación de la capa base se lleva a cabo mediante la misma técnica que la imprimación. En el caso en que la capa base utiliza una pintura con un contenido medio en sólidos, la proporción de disolventes puede llegar al 70 %. Las capas de base son sistemas de pintura de un componente, ya sean de base acuosa o de base disolvente. Tras la aplicación de la pintura, se aplica y se evapora un recubrimiento transparente convencional de dos componentes de base disolvente. Adicionalmente, también es posible utilizar la aplicación húmedo sobre húmedo, eliminando la necesidad de zonas de secado intermedias.

Tras la evaporación, las capas de pintura se secan en el secador. El aire de salida cargado de disolventes procedente de las áreas de vaporización instantánea (flash-off) y de los secadores se capta y se pasa a una unidad de tratamiento térmico. El factor de eficiencia alcanzado puede ser del 95 – 99 % (dependiendo de la carga dirigida hacia la unidad de combustión). Por ejemplo, una concentración de 277 mg C/m<sup>3</sup> en los gases de salida en bruto se reduce a 25 mg C/m<sup>3</sup> en el gas limpio. La limpieza de la niebla de pulverización se lleva a cabo mediante depósito húmedo. La Tabla 16.1 a continuación, muestra las proporciones de disolventes en distintos sistemas de recubrimiento.

Estructura y sistemas de recubrimiento	Proporción de disolventes (% en peso)
Capa protectora	
• de base disolvente	40 – 55
• basada en agua	15
Capa base	
• de base disolvente	50
• basada en agua	15
Capa transparente	
• de base disolvente	50
• basada en agua	30

**Tabla 16.1: Proporciones de disolventes en distintos sistemas de recubrimiento utilizados para el recubrimiento de parachoques**

### 16.2.2 Recubrimiento de tapacubos

El sistema de recubrimiento de tapacubos se caracteriza por dos capas. En primer lugar se aplica una capa base metálica convencional o basada en agua y a continuación se aplica un recubrimiento transparente de dos componentes de base disolvente o bien un recubrimiento UV transparente. Los requerimientos para este recubrimiento incluyen la resistencia al rayado, la resistencia al agua y la resistencia al impacto de gravilla, así como una alta calidad de la superficie. El recubrimiento se lleva a cabo automáticamente.

La Figura 16.2 a continuación ilustra el proceso de producción de tapacubos con pinturas de base disolvente.

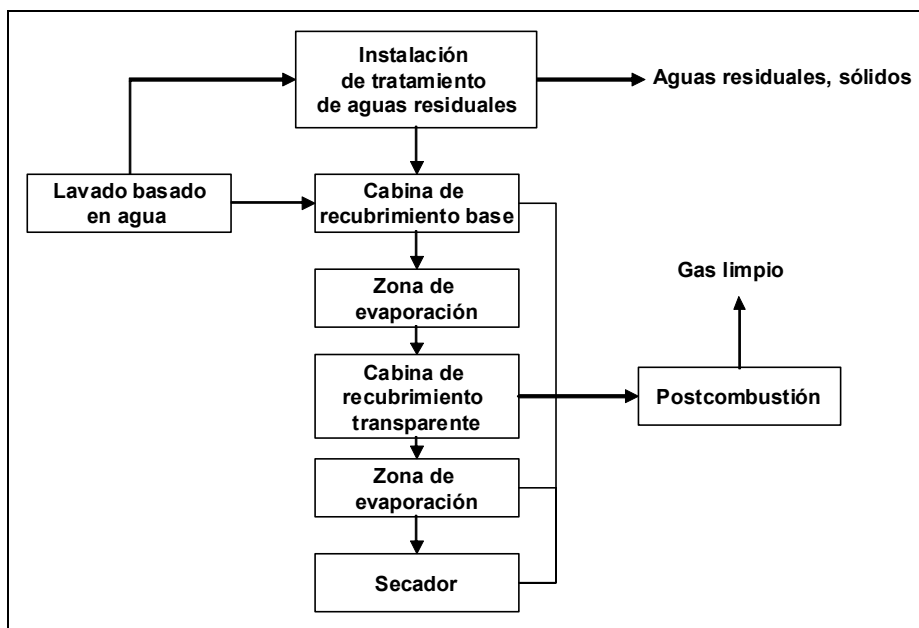


Figura 16.2: Flujo del proceso para el recubrimiento de tapacubos con un sistema de recubrimiento convencional

La Tabla 16.2 a continuación, compara algunos de los distintos sistemas en uso.

Estructura y sistemas de recubrimiento	Proporción de disolventes (% en peso)
Capa base	
• de base disolvente	75
• diluible en agua	10
Capa transparente	
• de base disolvente	50
• curada mediante UV	10
• diluible en agua	16

Tabla 16.2: Comparación de las proporciones de disolventes en sistemas de recubrimiento aplicados al recubrimiento de tapacubos

### 16.2.3 Recubrimiento de volantes

En el caso de los volantes, el recubrimiento debe garantizar propiedades tales como la resistencia a la radiación solar, a agentes limpiadores o al sudor de las manos. En la actualidad, los volantes generalmente se recubren mediante la técnica de recubrimiento en el molde. Para esta técnica, se aplica un agente de desmoldeado sobre el molde calentado y se pulveriza el recubrimiento en el interior del molde sobre el agente de desmoldeado. De este modo, la proporción de niebla de pulverización y por consiguiente, la pérdida de material, es comparativamente baja, de aproximadamente el 20 %. Tras un breve tiempo de evaporación, los componentes mezclados de PUR se vierten en el interior. Durante el proceso de formación de la espuma en el interior del molde cerrado, el material crea una fuerte conexión con el recubrimiento. El recubrimiento aplicado debe ser compatible con el agente de desmoldeado y con el sistema de poliuretano utilizado. Hasta este momento, se han utilizado sistemas de recubrimiento de uno y dos componentes de base disolvente.

#### **16.2.4 Recubrimiento de reflectores**

Los reflectores requieren una superficie extremadamente lisa y homogénea. La estructura del recubrimiento es de una capa.

#### **16.2.5 El recubrimiento en la producción de carcasas para televisores, equipos de alta fidelidad y ordenadores**

Actualmente, existe una tendencia en el sector del audio y el video para producir productos en colores más vivos y variados e incluso atienden peticiones de clientes individuales en relación con el diseño del color. Los requerimientos de calidad del recubrimiento de las cajas incluyen la resistencia a los alcoholes, a la grasa de la piel, etc., resistencia al rayado y a la abrasión, y buenas propiedades ópticas de las superficies. La situación actual de la técnica es el uso en serie de recubrimientos de base acuosa, aunque los sistemas de recubrimiento de base disolvente todavía son ampliamente utilizados. Es posible alcanzar una eficiencia de aplicación del 45 % en el recubrimiento de carcasas para televisores, con el recubrimiento llevado a cabo automáticamente.

### **16.3 Niveles de consumo y de emisión actuales en el recubrimiento de piezas de plástico**

Debido a la amplia diversidad de este capítulo, no es posible proporcionar detalles de los consumos y emisiones. Éstos dependerán de:

- los tipos de procesos aplicados,
- los tratamientos aplicados al final del proceso,
- los productos,
- el volumen de producción.

Esta industria está clasificada como «otros recubrimientos» en la SED [123, EC, 1999] (véase el anexo 24.6).

Se puede encontrar información general con las técnicas apropiadas en el capítulo 20 .

#### **16.3.1 Balances de masa**

No hay datos disponibles.

#### **16.3.2 Consumos**

##### **16.3.2.1 Materiales**

Es difícil obtener datos acerca del consumo de pintura en  $\text{g/m}^2$  debido a (i) las distintas geometrías de las piezas y (ii) que esta no es la forma usual de expresar la aplicación de pinturas y disolventes en este sector. (Debería ser expresado como  $\text{g/m}^2$  de superficie pintada y no electrodepositada en lo que a vehículos se refiere, véase el Anexo 24.5). Es más frecuente expresar esta información en forma de  $\text{kg}$  de COV/ $\text{kg}$  de entrada de sólidos (véase el anexo 24.2).

#### **Recubrimiento de parachoques**

Para una ubicación de ejemplo situada en Alemania (Volkswagen, Wolfsburg) en el año 2002 [171, May, 2006] :



- se pintaron alrededor de un millón de parachoques,
- área de la superficie (sólo cara externa): entre 0,9 y 1,5 m<sup>2</sup>,
- sustrato: polipropileno con modificación EPDM,
- sistema de recubrimiento de tres capas con imprimación, capa base y capa transparente
- atomización neumática de los materiales de recubrimiento mediante pistolas de pulverización montadas sobre robots,
- horno de secado después de la imprimación y de la capa transparente. Proceso húmedo sobre húmedo para la capa base y la capa transparente.

Las cifras de consumo de disolventes que figuran en la Tabla 16.3 se refieren a un sistema mixto de recubrimiento con un imprimación de base disolvente, una capa base basada en agua y una capa transparente de base disolvente. Los disolventes utilizados pueden incrementarse en un 20 % cuando se utiliza pintura con un contenido medio en sólidos. Si se utilizase un sistema completo de base disolvente, el consumo de disolventes subiría hasta las 550 t/a. El consumo de sólidos de pintura sería de 207 t/a. Las emisiones de COV de acuerdo con EVABAT se situarían entre los 51,75 y las 72,45 t/a. Las emisiones son de 0,25 a 0,35 kg COV/kg de sólido en las pinturas.

Sistema de recubrimiento	Disolventes utilizados*(t)	Total de disolventes utilizados
Capa de imprimación (de base disolvente)	125	
Capa base (basada en agua)	31	
Capa transparente (de base disolvente)	84	
<b>Total de disolventes en la pintura</b>		240
Diluyente de aclarado para la capa de imprimación	61	
Diluyente de aclarado para la capa base	9	
Diluyente de aclarado para la capa transparente	41	
<b>Total de diluyente de aclarado</b>		111
<b>Total de disolventes utilizados</b>		351
Nota: *Existen datos de que los disolventes utilizados pueden incrementarse en un 20 % cuando se utiliza pintura con un contenido medio en sólidos. Si se aplicase un sistema completamente de base disolvente, el consumo de disolventes sumaría 550 t/a		

**Tabla 16.3: Uso de COV en el año 2000**  
[76, TWG, 2004]

### Recubrimiento de techos para cabinas de camiones y otras piezas de plástico destinadas a vehículos comerciales

Un productor de recubrimientos para terceros de Alemania reporta los datos siguientes [171, May, 2006] :

- recubrimiento de alrededor de 30 000 techos de cabina para camiones y de conjuntos completos de piezas de plástico por año,
- área de la superficie (sólo cara exterior) entre 6 y 11 m<sup>2</sup> por techo,
- sustrato principalmente de poliéster SMC reforzado con fibras.

La combinación de técnicas utilizadas es:

- predominantemente sistemas de recubrimiento de dos capas con una capa de imprimación y una capa protectora de color sólido,
- atomización de los materiales de recubrimiento mediante campanas electrostáticas de alta rotación montadas sobre robots, asistidos por aire para dar forma pero sin carga electrostática,
- horno de secado después de la capa protectora, procedimiento húmedo sobre húmedo para la imprimación y la capa protectora de base disolvente.

En el caso de un sistema convencional con un contenido medio en sólidos, el consumo de disolventes fue de alrededor de 400 t/a, y el consumo de sólidos en la pintura fue (en el año 2005) de 253 t/a.

Debido a requerimientos tecnológicos específicos (es decir, recubrimiento de los defectos del sustrato, especificaciones del cliente, proceso húmedo sobre húmedo), el contratista para el recubrimiento de piezas de plástico prefiere continuar con la utilización de materiales de recubrimiento de base disolvente. En el área de camiones y vehículos comerciales, más del 95 % de los objetos son recubiertos con capas protectoras de una única capa en lugar del recubrimiento con capa base/capa transparente. La gama de colores se encuentra típicamente por encima de los 600, debido a la necesidad de obtener colores igualados en las flotas. Esto conlleva un número muy elevado de cambios de color, incluyendo el purgado de 5 a 7 m de mangueras de alimentación de los robots. Como consecuencia, se utilizan (y se recuperan) grandes cantidades de líquidos de purga.

Pintura	Consumo kg/a	COV %	COV kg/a	No-volátil %	No-volátil kg/a
Masilla	1000	8,5	85	91,5	915
Imprimación para pulido	3900	29,5	1150	70,5	2750
Imprimación para preparación de superficie	88 000	32,4	28 512	67,6	59 488
Capa protectora	133 000	42,2	56 126	57,8	76 874
Aditivo elástico	4100	22,3	914	77,7	3186
Capa base	5050	77,3	3904	22,7	1146
Capa transparente	10 400	54,0	5616	46,0	4784
Endurecedor	66 300	54,5	36 134	45,5	30 166
Diluyente	28 600	100	28 600	0	0
Productos especiales	275	46,3	127	53,7	148
Disolvente para purga	137 000	100	137 000	0	0
Capa protectora estructural	22 000	42,0	9240	58,0	12 760
Polvo	2000	0	0	100	2000
<b>Total</b>	<b>50 1625</b>		<b>307 408</b>		<b>194 217</b>

Tabla 16.4: Desglose de los materiales COV convencionales

La opción para lograr emisiones bajas de COV sería la introducción de pinturas con altos y muy altos contenidos en sólidos y un líquido de purga adaptado (véase la Tabla 16.5). Esto daría lugar a un valor de emisión de 0,29 kg de COV/kg de sólidos en pintura.

Los materiales con bajas emisiones incluyen:

- imprimación para la preparación de superficie de aplicación húmedo sobre húmedo y con un contenido en sólidos muy alto,
- capas protectoras de alto contenido en sólidos,
- líquido de purga con un bajo contenido en COV (70 % de materiales orgánicos no son clasificados como COV),
- productos adicionales de baja emisión (véase la Tabla 16.5).

Material de recubrimiento	Consumo kg	contenido de disolventes %	contenido de disolventes kg	Contenido de sólidos %	Contenido de sólidos kg
Masilla	600	8,5	51	91,5	549
Imprimación húmedo sobre húmedo	98 985	15	15 343	84,5	83 642
Imprimación para pulido	4260	29,5	1257	70,5	3003
Imprimación para preparación de superficie	140	56,7	79	43,3	61
Capa protectora	150 955	28,4	42 871	71,6	108 084
Endurecedor	49 507	25	12 376	75	37 130
Aditivo	624	22,3	139	77,7	485
Capa transparente	11 027	37	4080	63	6947
Capa base	5226	9,5	496	23,7	1239
Diluyente	27 618	100	27 618	0	0
Recubrimiento estructurado	17 022	8	27 618	54	9192
Endurecedor	2635	5	133	95	2505
Productos especiales	255	46,3	118	53,7	137
Líquido de purga	106 311	30	31 893	0	0
<b>Total</b>	<b>475 165</b>		<b>137 815</b>		<b>252 974</b>
Recuperación	197 185	33	65 071		
<b>Total de emisiones de COV</b>			<b>72 744</b>		

Tabla 16.5: Desglose de materiales de bajo contenido en COV para alcanzar emisiones reducidas de COV

### 16.3.2.2 Agua

No hay datos disponibles.

### 16.3.2.3 Energía

No hay datos disponibles.

## 16.3.3 Emisiones

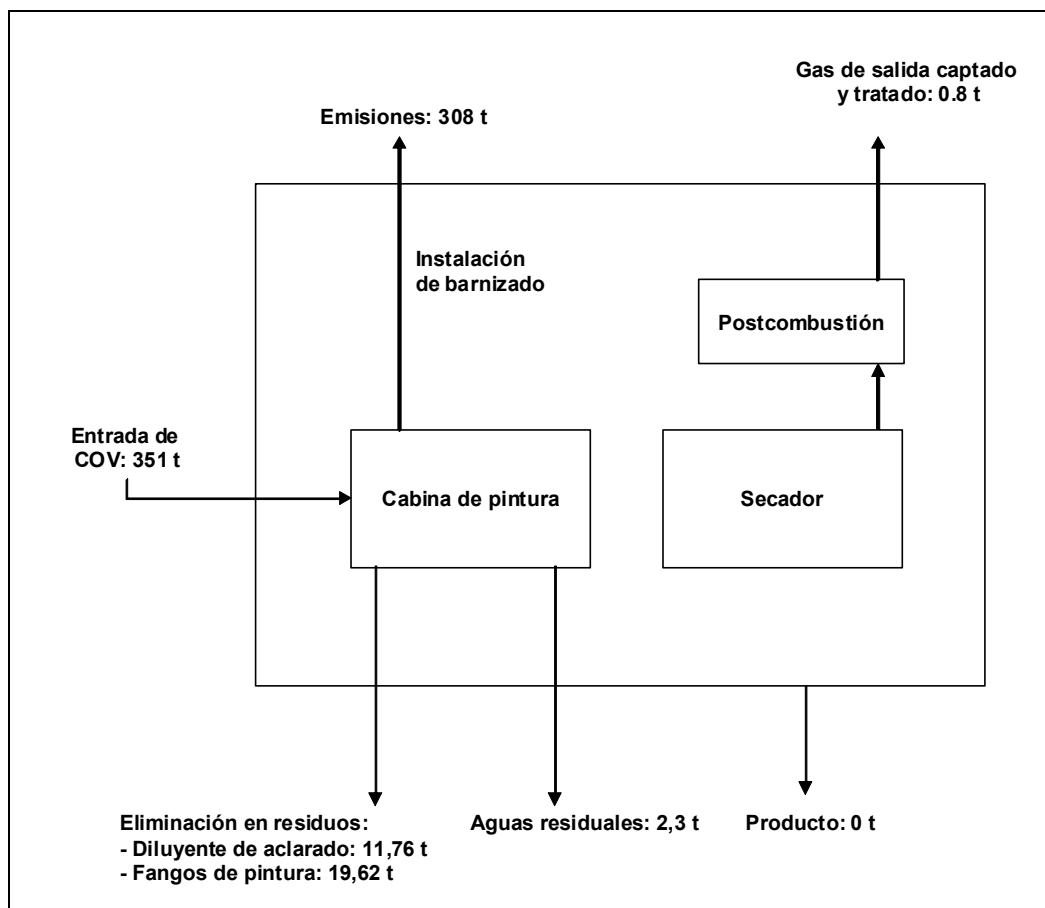
El recubrimiento de plásticos es una de las actividades agrupadas en la aplicación industrial de pinturas (véase el capítulo 13). Este grupo de actividades emite COV no metánicos originados del uso de pinturas que contienen disolventes, diluyentes, y disolventes limpiadores. Las emisiones de COV no metánicos procedentes de ese sector varían significativamente de un país a otro. En el ámbito de la UE-25 en el año 2000 (de acuerdo con el modelo RAINS), las emisiones de COV no metánicos fueron de 543,8 kt representando un 5,9 % del total de emisiones de COV no metánicos. La actividad total es de 1601 kt de pinturas utilizadas, el factor de emisión promedio está alrededor de los 339,6 g de COV no metánicos/kg de pintura consumida, indicativo de que las emisiones procedentes de este sector ya son tratadas parcialmente en UE-25 (los factores de emisión sin purificación de gases se sitúan entre los 690 y 750 g/kg de pintura de acuerdo con el subsector) [142, EGTEI, 2005].

### 16.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

#### Recubrimiento de parachoques

Las instalaciones de pintado de parachoques son menores que las de pintado de coches, con un uso de pinturas correspondientemente inferior.

La Figura 16.3 muestra el destino de los disolventes en las emisiones a la atmósfera.



**Figura 16.3: Destino de los COV introducidos en la planta de parachoques para coches (2000, Volkswagen, Wolfsburg, Alemania)**

### Recubrimiento de tapacubos

Los gases de salida de las cabinas de pulverización, secadores y zonas de evaporación se introducen en una unidad de postcombustión, y es posible conseguir concentraciones en los gases limpios de 20 mg C/m<sup>3</sup>. El proceso de limpieza se lleva a cabo con limpiadores alcalinos acuosos.

#### 16.3.3.2 Emisiones al agua

Las partículas de pinturas se eliminan a través de sistemas de depuración húmeda. Estos sistemas trabajan en circuito cerrado. Una o dos veces al año se vacían y se rellenan con agua nueva. El agua residual producida por el recubrimiento de parachoques se muestra en la Figura 16.3.

#### 16.3.3.3 Residuos

Los residuos producidos por el recubrimiento de parachoques se muestran en Figura 16.3.

## 16.4 Técnicas a tener en cuenta en la determinación de la MTD para la pintura en serie de piezas de plástico

En el capítulo 20, se analizan técnicas que también podrían ser aplicables a la pintura en serie de piezas de plástico. En la sección 20.7, se analizan técnicas relacionadas con la aplicación de pinturas. Estas técnicas podrían ser aplicables también a la pintura en serie de piezas de plástico. En la Tabla 16.6 se muestran las técnicas generales relevantes para el pintado de piezas de plástico descritas en el capítulo 20 o sección 20.7. Estas técnicas no se repiten en esta sección, a menos que haya disponible información específica para este sector. En la Tabla 20.1 se describe el tipo de información tenida en cuenta para cada técnica.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

**Tabla 16.6: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector**

La hoja de resumen EGTEI para la aplicación industrial de pinturas (véase el anexo 24.1.1) proporciona algunos datos sobre el coste-beneficio de algunas técnicas para reducir las emisiones de COV en el ámbito europeo. Sin embargo, la aproximación EGTEI necesita limitar su complejidad, así que sólo se indican las técnicas clave sin considerar los demás factores de las MTD, tales como efectos cruzados o las características técnicas de las instalaciones o de los productos específicos [142, EGTEI, 2005].

### 16.4.1 Minimización del consumo de materias primas

**Descripción:** Algunas técnicas para reducir la cantidad de residuos en el proceso de pintado son:

- la optimización del proceso de pintado, incluyendo la automatización (véase la sección 20.2.5),
- escurrido de los fangos de pintura,

- reciclado de los fangos de pintura o de la emulsión acuosa.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducir la cantidad de residuos (p. ej. niebla de pulverización) producidos con el proceso.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Recubrimiento de parachoques

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Volkswagen, Wolfsburg, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [106, ACEA, 2005]

### 16.4.1.1 Pintado por lotes/agrupación de colores

Para una descripción general, véase la sección 20.6.3.6. Esta técnica es de aplicación común en el recubrimiento de parachoques.

La formación de bloques de color puede reducir el consumo de materiales de recubrimiento y de diluyentes de aclarado. Además, el diluyente de aclarado puede ser recogido y reutilizado. De este modo, se pueden ahorrar alrededor de 66 toneladas de diluyentes de aclarado por año, para una proporción de recuperación del 90 %.

[13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.1.2 Sistemas de rascado de tuberías

Para una descripción general, véase la sección 20.6.3.7. Esta técnica es de uso común en sistemas automatizados.

[13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.1.3 Incrementar el número de campanas de alta rotación

**Descripción:** Para un mayor incremento de la eficiencia de aplicación de imprimaciones y capas de base diluibles en agua, se están utilizando un creciente número de campanas de alta rotación para las técnicas de aplicación automatizada. En las instalaciones con técnicas de aplicación automatizada se utilizan circuitos en anillo limpiables con rasquetas para minimizar los sobrantes de pintura y las pérdidas en aclarados.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de la cantidad de residuos generados.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** En el caso de recubrimientos de base ya se utilizan recubrimientos de base acuosa. Aplicado al recubrimiento de parachoques.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.2 Gestión del agua

**Descripción:** Véase la sección 20.7.5. Algunas técnicas a tener en cuenta son la minimización del vaciado de los tanques de las cabinas de pintura para reducir el consumo de agua y las descargas de efluentes minimizando la acumulación de los fangos de pintura. La optimización de la eficiencia de transferencia de la pintura también reduce la necesidad de cambiar el agua. El agua residual puede ser tratada en una planta de tratamiento de aguas residuales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las técnicas descritas anteriormente pueden alcanzar los niveles de emisión que se muestran en la Tabla 16.7.

Parámetro del agua residual	Concentración (mg/l)
Sólidos en suspensión	< 1000
DBO	< 100
DQO	< 2500

Tabla 16.7: Niveles de emisión en las aguas residuales procedentes del recubrimiento de piezas de plástico

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Recubrimiento de parachoques

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [106, ACEA, 2005]

### 16.4.3 Materiales convencionales de base disolvente

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.1. Los sistemas de recubrimiento de base disolvente se aplican a la capa de imprimación y la capa base, aunque también se aplica normalmente a la capa transparente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En comparación con sistemas de base acuosa, se requiere menos energía para el secado.

**Efectos cruzados:** Los materiales de base disolvente generan COV durante el secado que, en muchos casos, debe ser purificado.

**Información operativa:** Las pinturas de base disolvente requieren tiempos de secado más cortos y, por consiguiente, es posible obtener una mayor capacidad de producción.

**Aplicabilidad:** Actualmente los volantes se recubren exclusivamente con sistemas de recubrimiento de uno o dos componentes de base disolvente mediante la llamada técnica en el molde.



**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Los tiempos cortos de secado son un aspecto importante en el uso de la tecnología de base disolvente. La depuración de COV es generalmente necesaria para satisfacer los requisitos legales estatales.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

### 16.4.4 Reemplazamiento de los materiales de base disolvente (sustitución)

#### 16.4.4.1 Pinturas de base acuosa

**Descripción:** Para una descripción general, véase la sección 20.7.2.3. Los sistemas de recubrimiento de base acuosa se pueden aplicar a la capa de imprimación, la capa base y en algunos casos a la capa transparente. Los sistemas de pinturas de base acuosa siguientes son comúnmente aplicados:

- dispersión de acrilato de un componente: 5 % en peso de disolventes orgánicos,
- sistema de PUR de dos componentes: 10 – 15 % en peso de disolventes orgánicos,
- resina epoxi de dos componentes: 5 % en peso de disolventes orgánicos

**Beneficios ambientales obtenidos:** La cantidad de disolventes utilizados se puede reducir hasta en un 48 % mediante el uso de recubrimientos de imprimación de base acuosa. Las emisiones de disolvente pueden ser reducidas consecuentemente de acuerdo con esta reducción en el caso del recubrimiento de parachoques.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** En la industria de fabricación de componentes para el automóvil, las pinturas de base acuosa ya se utilizan como rellenos y capas de base sobre, por ejemplo, parachoques y tapacubos. Las pinturas de base acuosa pueden dar lugar a limitaciones mecánicas de las características físicas del plástico. En el pintado de carcasas para televisores, equipos de alta fidelidad y ordenadores, el uso de recubrimientos de base acuosa en serie es algo habitual. Para volantes, actualmente los sistemas de recubrimiento en el molde de base acuosa se encuentran en fase de pruebas. Los primeros resultados indican que serán necesarios tiempos de secado ligeramente más largos en comparación con los sistemas convencionales y por consiguiente debería ser posible la integración en los procesos existentes.

La cuestión pendiente es la introducción de un recubrimiento transparente de base acuosa (50% de contenido de sólidos, 13% de disolventes orgánicos). Los productos han sido formulados y probados pero todavía no han sido autorizados ni comercializados. Esto podría llevar, por ejemplo en la planta de referencia que se muestra en la sección 16.3.3.1, una reducción adicional de 50 t/a de COV. Se esperan las primeras autorizaciones durante el año 2007.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004, 171, May, 2006]

#### 16.4.4.2 Recubrimiento en polvo – secado convencionalmente

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.6. Los recubrimientos en polvo con un secado por convección convencional no se utilizan ampliamente en la actualidad debido a la falta de conductividad eléctrica y la sensibilidad de los plásticos a la temperatura. Sólo en pequeños lotes para el recubrimiento de piezas pequeñas, tales como piezas compuestas de metales y plásticos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Los desarrollos de recubrimientos en polvo con curado térmico a baja temperatura son prometedores.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

#### 16.4.4.3 Pinturas de curado mediante radiación

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.5. Los recubrimientos con curado mediante radiación UV se aplican a recubrimientos transparentes, p. ej. sobre tapacubos, y contienen un 10 % en peso de disolventes orgánicos. Una técnica progresiva es la aplicación automatizada de UV durante el recubrimiento de reflectores; el sistema de recubrimiento contiene alrededor del 5 – 10 % en peso de disolvente orgánico. Otra aplicación industrial relativamente nueva del polvo curado con radiación UV es el recubrimiento de baldosas de PVC para suelos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las pinturas de base acuosa y libres de disolventes que se curan con radiación UV no generan emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** Las pinturas de curado por radiación UV pueden ser aplicadas mediante diversas técnicas, tales como aplicación a brocha, aplicación con rodillos, vertido, pulverización y recubrimiento al vacío.

**Aplicabilidad:** Estas pinturas pueden ser aplicadas a todas las capas de pintura.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

#### 16.4.4.4 Recubrimiento de una capa tras la fluoruración

**Descripción:** Si el pretratamiento de la superficie de plástico se realiza mediante la preparación con flúor, la capa de relleno no es necesaria en parte porque esta técnica ya crea una superficie homogénea independiente de la geometría de la pieza.

Otra ventaja de la fluoruración es que las piezas tratadas se pueden almacenar por largo tiempo antes de ser provistas para un proceso de pintado siguiente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de COV emitidos y de los materiales de recubrimiento.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

#### 16.4.5 Técnicas y equipos de aplicación de pinturas

##### 16.4.5.1 Pintado en el molde

**Descripción:** Esta técnica se aplica a volantes fabricados a partir de materiales de PUR de 2 componentes que se vierten en el interior de un molde. La producción y el pintado del volante se llevan a cabo a la vez. Para el recubrimiento del volante, se aplica un agente de desmoldeado sobre el molde calentado y se pulveriza el recubrimiento en el interior del molde sobre el agente de desmoldeado. Tras un breve tiempo de evaporación, el material de PUR del volante se vierte en el molde y éste se cierra. El proceso de formación de la espuma de PUR se inicia a la vez que el material de recubrimiento se adhiere al PUR.

Hasta el momento sólo se han aplicado materiales de recubrimiento de base disolvente; los sistemas de recubrimiento de base acuosa se encuentran actualmente en fase de pruebas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La proporción de niebla de pulverización y por consiguiente la pérdida de material es del 20 % del material introducido.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.5.2 Pulverización convencional a alta y baja presión

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.8. Generalmente, la pulverización con aire a presión con el método de alta presión se utiliza para procesar pinturas húmedas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Según la geometría de la pieza, el factor de eficiencia de aplicación de pintura puede variar entre el 20 y 40 %.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.5.3 Pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP)

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.9.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Según la geometría de la pieza, el factor de eficiencia de aplicación de pintura puede variar entre el 25 y 50 %.

**Información operativa:** Existe un incremento del uso de robots, puesto que especialmente con esta técnica, permiten conseguir un grosor de capa más homogéneo que con la pintura manual.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es de uso común para algunas aplicaciones.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.5.4 Campanas electrostáticas de alta rotación

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.15.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Es posible alcanzar eficiencias de aplicación de hasta el 85 %.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Hasta este momento, las técnicas de recubrimiento electrostáticas no se pueden utilizar con recubrimientos de una sola capa, porque sólo es posible utilizar este método con

prerrecubrimientos eléctricamente conductores. Los recubrimientos transparentes se aplican generalmente mediante campanas de alta rotación.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.5.5 Pulverización electrostática con aire comprimido, sin aire y asistida con aire

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.17. Generalmente, en primer lugar se aplica una capa de imprimación eléctricamente conductora mediante una pistola de pulverización convencional. A continuación, la capa base se aplica también a menudo mediante pistolas convencionales. Por ejemplo, el recubrimiento de parachoques se lleva a cabo automáticamente y manualmente mediante pistolas de pulverización electrostática o HVLP.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Hasta este momento, esta técnica se ha utilizado exclusivamente para superestructuras multicapa. Las investigaciones actuales en relación con esta aplicación han demostrado que el pintado electrostático de piezas de plástico es posible, en parte, bajo condiciones de producción sin pasos de trabajo adicionales, y sin la aplicación de pintura eléctricamente conductora. Esta investigación demostró una potencial reducción en el consumo de pintura y en el uso de disolventes del 40 – 55 %.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

### 16.4.5.6 Procesado de recubrimientos en polvo – pulverización asistida electrostáticamente

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.18. Los recubrimientos en polvo pueden ser aplicados mediante todas las técnicas corrientes de pulverización. Sin embargo, los mejores resultados se consiguen mediante la pulverización asistida electrostáticamente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

## 16.4.6 Secado

### 16.4.6.1 Secado por convección

**Descripción:** Véase la sección 20.8.1.1. Después del procedimiento de limpieza, las piezas se transportan a través de una unidad de soplado y enfriamiento. Los secadores por convección se utilizan en parte para la eliminación del agua retenida. Si se utiliza un secador por convección, no es necesaria la unidad de enfriamiento.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Es posible ahorrar alrededor del 25 % de la energía suministrada en comparación con el uso de secadores convencionales, puesto que no es necesaria la zona de enfriamiento subsiguiente, que consume energía de forma intensiva.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Los secadores por convección son de uso común en el recubrimiento de parachoques de plástico.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.6.2 Curado mediante radiación ultravioleta (UV)

**Descripción:** Véase la sección 20.8.2.3. En general, el secado y el curado se llevan a cabo a una temperatura máxima de 80 °C a causa de la sensibilidad del sustrato al calor. Una técnica utilizada es la aplicación automatizada de sistemas de recubrimiento con curado UV (con una proporción de disolventes de alrededor del 5 al 10 % en peso).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Mediante esta técnica, las emisiones de disolventes se reducen significativamente en comparación con los sistemas de recubrimiento convencionales con proporciones de disolvente y hasta el 70 % en peso. El proceso de recubrimiento se acelera y la calidad aumenta (resistencia al rayado, elevada opacidad). Debido al rápido proceso de curado y a la tensión térmica durante el proceso de recubrimiento, se ahorra espacio y se reduce el consumo de energía.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Para algunos plásticos, se puede producir un amarilleo de los colores pálidos a causa del curado con radiación UV.

**Aplicabilidad:** Es de uso común. Por ejemplo, la técnica se aplica al recubrimiento de reflectores.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.6.3 Curado con haz de electrones

**Descripción:** Véase la sección 20.8.2.4. En general, el secado y el curado se llevan a cabo a una temperatura máxima de 80 °C a causa de la sensibilidad del sustrato al calor.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Para algunos plásticos, se puede producir un amarilleo de los colores pálidos a causa del curado con haz de electrones.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** Esta técnica se utiliza actualmente sólo para grandes volúmenes de superficies a causa de los elevados costes de inversión.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.6.4 Uso de secadores de condensación

**Descripción:** Los secadores de condensación pueden ser utilizados para secar las capas de sistemas de recubrimiento de base acuosa.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Es posible ahorrar alrededor del 25 % de la energía suministrada en comparación con el uso de secadores convencionales, puesto que no es necesaria la zona de enfriamiento subsiguiente. Si el agua desionizada fluye en un circuito cerrado, es posible evitar la generación de aguas residuales en la sección de limpieza. Además, el consumo de agua nueva puede ser reducido mediante el uso del flujo en cascada.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.



**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

## 16.4.7 Tratamiento de gases residuales

### 16.4.7.1 Filtro electrostático

Para una descripción general, véase la sección 20.11.3.7. Se utilizan cabinas de pulverización. Sin embargo, no existe información sobre de qué modo se tratan los gases residuales. [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.7.2 Separación de partículas por efecto Venturi

Para una descripción general, véase la sección 20.11.3.5. Se utilizan cabinas de pulverización con separación húmeda.

Sin embargo, no existe información sobre de qué modo se tratan las aguas ni los gases residuales. [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 16.4.7.3 Lavador

Para una descripción general, véase la sección 20.11.3.8. Se utilizan cabinas de pulverización con separación seca. Sin embargo, no existe información sobre de qué modo se tratan los gases residuales. [13, DFIU e IFARE, 2002].

### 16.4.7.4 Tratamiento de los gases residuales procedentes de las cabinas de pintura

**Descripción:** Los gases residuales procedentes de las cabinas de pintura pueden ser captados y tratados. Es posible conseguir una reducción eficaz de las emisiones de COV mediante la captación y tratamiento de los flujos de gases residuales procedentes de las cabinas de pintura (véase la sección 20.11.2.1).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** El sistema es relativamente ineficaz a causa de los grandes volúmenes de aire que deben ser tratados y la concentración relativamente baja de COV, en especial en el caso de aplicaciones manuales donde se requieren grandes volúmenes de aire por motivos de seguridad en el lugar de trabajo.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** Se ha registrado que resulta costoso debido a la necesidad de recoger los gases residuales y al uso de energía en la extracción y posiblemente en la combustión complementaria.

**Motivo principal para su aplicación:** SED y otra legislación. En algunos Estados miembros los límites de emisión pueden ser alcanzados sin la necesidad de tratar los gases residuales.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

#### 16.4.7.5 Concentración y recirculación de los gases residuales procedentes de las cabinas de pintura

**Descripción:** Algunos fabricantes de piezas de plástico prefieren continuar utilizando materiales de recubrimiento de base disolvente. Esto se debe a los requerimientos técnicos específicos (esto es, características de los sustratos plásticos, especificaciones del cliente, flexibilidad de uso, posibilidad de utilizar procesos húmedos sobre húmedo).

Para contribuir a conseguir emisiones reducidas de disolventes, la industria del recubrimiento de plásticos concentra las corrientes de gases residuales externamente mediante adsorbedores rotativos (véase la sección 20.11.3.2). También utilizan la recirculación interna en las cabinas de pulverización con aplicación automática de la pintura.

La salida de aire de una cabina de pulverización (típicamente de 40 000 a 80 000 m<sup>3</sup>/h) se hace recircular después de una intensa filtración (típicamente un lavador húmedo Venturi más una etapa adicional de filtración), que consigue concentraciones de partículas por debajo de 0,1 mg/m<sup>3</sup> para evitar la aparición de defectos ópticos sobre las superficies de las piezas. Recalentando la salida de gases a continuación del lavador húmedo, es posible conseguir condiciones climáticas estables (alrededor del 70 % de humedad relativa). Consiguiendo de un 90 a un 95 % de recirculación de los volúmenes de aire, la concentración de disolventes en las cabinas de pulverización aumenta en un factor 10 o 20 (típicamente de 250 mg/m<sup>3</sup> a 2,5 g/m<sup>3</sup>). Por lo tanto, la concentración de disolventes debe ser controlada por motivos de seguridad (para permanecer suficientemente por debajo de los límites mínimos de explosión) y por motivos técnicos (la influencia sobre la evaporación de disolventes de las piezas). Entre 5 y un 10 % del volumen de aire se envía a depuración. El volumen de aire reducido y la elevada concentración de disolventes son buenas condiciones previas para la oxidación térmica.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La recirculación de corrientes de aire con una mayor concentración de disolventes sólo resulta adecuada para instalaciones que permitan un confinamiento eficaz de las cabinas de pulverización (aperturas pequeñas de entrada y de salida), donde la aplicación se lleve a cabo mediante dispositivos automáticos, y para piezas sin espacios vacíos en el interior. Por consiguiente, no es aplicable para cuerpos de automóvil, cabinas de camión y objetos similares. Donde sea adecuada, es posible conseguir una reducción de las emisiones de COV de alrededor del 90 %.

**Aspectos económicos:** Reducción en el coste del tratamiento térmico, debido al menor volumen, y mayor concentración de COV, que consiguen condiciones autotérmicas.

**Motivo principal para su aplicación:** SED. Véanse las Aspectos económicos mencionadas anteriormente.

**Ejemplos de instalaciones:** Volkswagen, Wolfsburg, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [171, May, 2006]

#### **16.4.7.6 Oxidación térmica**

Para una descripción general, véase la sección 20.11.4.2. Cuando se utilizan recubrimientos de base disolvente, generalmente los gases residuales procedentes de los secadores se tratan en una unidad de combustión. Los gases residuales procedentes de las cabinas de pintura generalmente no se tratan en una unidad de combustión. Sin embargo, en el recubrimiento de tapacubos con pintura convencional de base disolvente, los gases residuales procedentes de las cabinas de pulverización, secadores y zonas de evaporación se conduce hacia una unidad de postcombustión. Se alcanza una concentración en el gas limpio de 20 mg C/m<sup>3</sup>. La captación de gases residuales procedentes de secadores sólo afecta al 10 – 30 % del total de las emisiones de COV.

[13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004]

#### **16.4.7.7 Tratamiento biológico**

Para una descripción general, véase la sección 20.11.8.

[13, DFIU e IFARE, 2002]

### **16.4.8 Tratamiento de aguas residuales**

#### **16.4.8.1 Ultra y nanofiltración**

Para una descripción general, véase la sección 20.12.6. Las cabinas de pulverización con separación húmeda se utilizan y se equipan con una unidad de ultrafiltración para separar el material de pintado, que se recupera a continuación.

[13, DFIU e IFARE, 2002]



## 17 RECUBRIMIENTO DE MOBILIARIO Y MATERIALES DE MADERA

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [107, VDI, 2005] [128, TWG, 2005]

### 17.1 Información general acerca del recubrimiento de mobiliario y materiales de madera

La madera es una materia prima natural que se caracteriza por su inhomogeneidad y anisotropía, y que muestra propiedades irregulares en términos de estructuras superficiales, contenidos variables de distintas sustancias (p. ej. ceras, agua, resinas), y resistencia eléctrica variable. Las fibras de madera a menudo tienen la propiedad de hincharse y erguirse bajo la influencia de líquidos (en particular, con agua). Las superficies de madera se recubren para conservar o intensificar el color, la estructura de la superficie o la porosidad. El recubrimiento se aplica para proporcionar, por ejemplo, resistencia frente a:

- impactos químicos,
- tensión mecánica,
- impactos climáticos,
- manchas.

Actualmente, el sector de la madera y del mobiliario se enfrenta a nuevos requerimientos del mercado, que exige geometrías de producto complicadas y mayor calidad (por ejemplo, variedad de colores, nuevos efectos superficiales) Para alcanzar estos requerimientos en expansión, cada vez se utilizan más las técnicas de aplicación por pulverización.

Este sector se caracteriza por el fuerte predominio de compañías de tamaño medio, con un 75 % de empresas de menos de 100 empleados. En Alemania, existen las siguientes empresas:

- 45 000 ebanisterías (con un promedio de 4,5 empleados),
- 1500 talleres de pintura de madera y de mobiliario de madera (con un promedio de 75 empleados),
- aproximadamente ocho muy grandes empresas con más de 1000 empleados.

En el sector de la madera y del mobiliario alemán, se procesaron más de 80 000 toneladas de pinturas en 1999, de las cuales un 60 % se utilizó en aplicaciones industriales y el 40 % restante se consumió en empresas artesanales. A lo largo de los últimos años, las cantidades procesadas de pinturas se han reducido ligeramente, y se espera que esta tendencia continúe en el futuro. Esto se debe a diversas razones, que incluyen el traslado de las instalaciones de producción a Europa del este, la utilización creciente de láminas de plástico en el diseño de superficies, una reducción continua del grosor de las capas de recubrimiento y el creciente uso de pinturas con un elevado contenido en sólidos.

A lo largo de los últimos años, el nivel de automatización de la aplicación de pintura en el sector del mobiliario ha aumentado de forma significativa, principalmente a causa de los crecientes requerimientos de calidad, eficiencia y de las exigencias ambientales.

Materiales diversos se procesan y recubren en el sector de la madera y del mobiliario. Éstos pueden ser identificados en numerosos campos de aplicación:

- construcción exterior, complementos y mobiliario,
- construcción interior, complementos y mobiliario,
- aplicaciones comerciales y públicas, p. ej. escuelas,
- aplicaciones domésticas,
- aplicaciones en condiciones de humedad, p. ej. en piscinas, saunas, cocinas y baños.

## 17.2 Procesos y técnicas aplicados en el recubrimiento de mobiliario y materiales de madera

La aplicación de materiales de recubrimiento sobre madera y materiales de madera implica:

- el tratamiento de la superficie de madera,
- aplicación de una capa base,
- aplicación de una capa de acabado,
- aplicación de la pintura,
- vaporización instantánea (flash-off) y secado/curado.

Según la estructura superficial deseada (esto es, estructura porosa de celdas abiertas o cerradas), es posible utilizar distintos sistemas de pintura. Si los granos de la madera deben ser visibles, por ejemplo en el caso de madera maciza o chapa de madera, se utilizan pinturas incoloras (esto es, recubrimientos transparentes), aceites y ceras. Por ejemplo los tableros de fibra de densidad media (MDF) se recubren con pinturas pigmentadas del color deseado. Si se utilizan sistemas de pintura pigmentada, antes de la capa base se aplica una capa de barrera, que limita la permeación de la pintura hacia el interior de la superficie de la madera y permite aplicar una capa de pintura más uniforme.

### 17.2.1 Pretratamiento de la superficie de madera

Debido al crecimiento irregular y a la estructura superficial variable, y a causa del contenido distinto de ciertas sustancias tales como la resina o la cera, el pretratamiento adecuado de la superficie a recubrir es esencial. Este pretratamiento puede abordar distintos aspectos de la madera, tales como la planaridad de la superficie existente, la eliminación de marcas de trabajo, el tratamiento de diferencias de color, inhomogeneidades, fibras emergentes, grietas, ramas, así como la humedad de la madera. Las técnicas típicas de pretratamiento incluyen:

- pretratamiento mecánico, p. ej. pulido con arena
- métodos de coloreado tales como:
  - teñido,
  - abrillantado,
  - blanqueo.

Para algunos tipos especiales de madera, es necesario utilizar procesos de limpieza química que emplean soluciones de jabón, amoníaco y disolventes orgánicos, junto con una técnica de pulido con arena para la eliminación de sustancias de la madera incompatibles con la pintura tales como la resina y la cera.

#### **Pulido con arena**

Normalmente, para resultados óptimos del pintado, la madera y los materiales de base de madera requieren la aplicación de un pulido con arena intermedio tras la aplicación de una capa base, o tras la coloración o la aplicación de otras capas de pintura, puesto que la interacción con fluidos provoca el levantamiento de las fibras de madera. Este tipo de ratinado de la superficie de la madera es especialmente significativo cuando se utilizan sistemas de pintura de base acuosa.

#### **Teñido**

El objetivo del teñido es cambiar el color de la madera a un color más oscuro. La estructura de la madera y de los poros permanece inalterada. Según el tipo de teñido aplicado, el tiempo de secado varía considerablemente. Los tintes son suspensiones de pigmentos o soluciones de colorantes en agua o en disolventes orgánicos. Los tintes aplicados más frecuentemente son de base disolvente. Si se utilizan tintes químicos tales como, por ejemplo, tintes positivos de un componente, se deben tener en cuenta tiempos de residencia más largos. Al procesar tintes de

base acuosa, es de esperar que se produzca un hinchamiento y arrugado de la madera (ratinado). Es posible utilizar combinaciones de disolventes orgánicos diluibles en agua y agua (tintes combinados). El tinte aplicado tradicionalmente es un material de base acuosa. Las composiciones de algunos tipos distintos de tintes se listan en la tabla Tabla 17.1 a continuación:

	Contenido de agua (%)	Contenido de disolventes orgánicos (%)	Proporción de pigmentos (%)
Tinte de base acuosa	hasta el 95	0	hasta el 15
Tinte de base disolvente	0	85 – 95	5 – 15*
Tinte combinado	65 – 70	25 – 30	5
Nota: * En algunas aplicaciones mediante rodillos, la proporción de pigmentos puede llegar al 15 %			

**Tabla 17.1: Composición de distintos tipos de tintes para madera [76, TWG, 2004]**

La aplicación se lleva a cabo ya sea manualmente (con esponja, brocha, rodillos, pulverización) o automáticamente (pulverización automatizada, laminación, rodillos de espuma de goma). El secado posterior tiene lugar a temperatura ambiente o en secadores por convección, secadores de bandejas o por chorros de aire.

### **Abrillantado**

Los abrillantadores modernos son recubrimientos de madera con un alto contenido en líquidos de base de lacas de resinas. Los materiales alcanzan una buena penetración de la madera y a menudo contienen ingredientes hidrófugos y fungicidas para mejorar la madera. Pueden ser transparentes o pueden estar pigmentados con distintos colores. Se utilizan materiales distintos para usos en el interior o en el exterior. Los abrillantadores sin fungicidas así como los abrillantadores transparentes para madera, sólo son apropiados para usos en el interior.

### **Blanqueado**

En general, el blanqueado hace más brillante el color de la madera. En ocasiones es necesario blanquear varias veces, por ejemplo si se utiliza madera de arce. Para el blanqueado se utiliza peróxido de hidrógeno (30 – 35 %) y diversos aditivos o radiación. El tiempo de impacto debe ser ajustado en función de los efectos deseados. Puesto que el blanqueado provoca la emisión de oxígeno, es necesario un secado suficiente para evitar la formación de ampollas. El blanqueado también se utiliza para maderas cuyo color no es resistente a la luz tal como la de cerezo o la de palisandro. Tras el blanqueado, se utiliza el teñido con pigmentos altamente resistentes a la luz para reproducir el color original de la madera. Si se utilizan sistemas de recubrimiento de PUR, el endurecedor debe ser resistente al peróxido.

## **17.2.2 Aplicación de una capa base**

El material de la capa base debe ser adecuado para el pulido con arena. Las técnicas de aplicación incluyen:

- pulverización (manual o automática; convencional, sin aire, sin aire asistida con aire (denominada «airmix») y asistida electrostáticamente),
- vertido,
- Rodillos (p. ej. utilizando una laca de curado con radiación UV adecuada para ser aplicada con rodillos),
- inmersión (sólo para piezas especiales).



Tras el secado de la etapa de pretratamiento, se realiza un pulido con arena (con material con un tamaño de grano apropiado) antes de aplicar un recubrimiento de base transparente. A continuación la superficie se pule de nuevo con arena antes de aplicar un recubrimiento protector. En algunos casos se imprime una estructura con aspecto de madera directamente sobre la capa base. Como sustrato, principalmente se utilizan simples chapas de madera o, alternativamente, la superficie que va a ser recubierta puede que ya lleve incorporada una capa base coloreada/sellador.

### 17.2.3 Aplicación de una capa protectora

Para el recubrimiento de la madera y productos de madera, se utilizan pinturas, láminas u otros materiales de recubrimiento en forma de panel, así como tejidos o pieles. Algunos recubrimientos específicos son:

- pintura nitrocelulosa (NC) a veces llamada pintura de nitrato de celulosa (CN),
- pinturas de curado al ácido,
- pinturas de poliuretano (PUR),
- pinturas de poliéster insaturado (UP):
  - materiales de UP de celda abierta,
  - sistemas de capas gruesas,
- pinturas de base acuosa,
- recubrimientos en polvo,
- pinturas alquídicas/abrillandadores,
- sistemas de pinturas combinados/mixtos,
- lacas de base acuosa de curado con radiación UV,
- lacas 100 % UV.

Se utilizan las mismas técnicas de aplicación que se describen en la sección 17.2.2.

La Tabla 17.2 indica las propiedades principales de los tintes y pinturas para madera más frecuentemente usados.

Tipo de tinte o pintura para madera	Proporción de disolvente (%)	Proporción de agua (%)	Componentes	Tipo de reacción	Catalizador	Comentarios
<b>Tinte para madera</b> • de base disolvente – tipo a) – tipo b) – tipo c) • de base acuosa	95 70 25 – 30 0	0 25 – 30 70 – 80 85 – 95				Disolventes orgánicos; disolventes diluibles en agua; tinte combinado para madera; disolventes diluibles en agua; ratinado de la madera
<b>Pintura NC (pintura CN)</b> • incolora • pigmentada	aprox. 75 aprox. 60	0 0	Lana colodión (nitrato de celulosa)	Secado físico		Resistencia superficial con usos limitados
<b>Pintura de curado al ácido</b> • 2 componentes, incolora • 2 componentes, pigmentada • 1 componente, incolora	40 – 50 20 – 30 20 – 30		Alquídico - melamina resinas ureicas polioles	Secado forzado	Ácido	Los sistemas más antiguos desprendían formaldehído; alta resistencia
<b>Pintura de PUR</b> • incolora • pigmentada • de contenido medio en sólidos; incolora	65 – 70 36 – 60 40 – 50	0 0 0	Isocianatos; acrilatos; poliésteres	Reacción de adición (físico, química)		Generalmente materiales de dos componentes; alta resistencia
<b>Pintura UP</b> • convencional • con parafina • libre de parafina • curada mediante UV – laca para rodillo – barrera • pintura UP para pulverizar – Incolora – curada mediante UV	aprox. 35 (15) aprox. 35 (15) aprox. 35 (15) aprox. 35 (15) aprox. 20 (20) aprox. 20 (10) 65 – 70 65 – 70	0 0 0 0 0 0 0 0	Poliéster, insaturado (materiales organometálicos)	Polimerización • calor • radiación	Peróxidos orgánicos  Radiación UV; foto iniciador	Sistemas de componentes; para recubrimientos de UP para curar con infrarrojos, se requieren tiempos adicionales de secado previo y curado.

Tipo de tinte o pintura para madera	Proporción de disolvente (%)	Proporción de agua (%)	Componentes	Tipo de reacción	Catalizador	Comentarios
<b>Pintura de acrilato</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• curada mediante UV                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– laca para rodillo</li> <li>– pintura para pulverizar con estructura de celdas abiertas</li> </ul> </li> <li>• curado con haz de electrones</li> </ul>	2 – 40 2 – 10 65 – 70 2 – 5		Poliacrilato, instaturado	Haz de electrones	Foto iniciador	
<b>Pinturas de base acuosa</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• secado convencional</li> <li>• curada mediante UV</li> <li>• PUR, 2 componentes</li> </ul>	5 – 7 aprox. 2 aprox. 9	60 – 65 58 – 60 60 – 65		Secado físico; polimerización; reacción de adición	Radiación UV	Ratinado de la madera; tiempos de secado más largos; posible aplicación de una capa base para curar con radiación UV seguida de la aplicación de pintura basada en agua; La pintura para curar con radiación UV basada al agua es cada vez más importante. El recubrimiento para curar con radiación sólo se puede aplicar en los casos en que se puedan recubrir por separado piezas planas antes del ensamblado en la pieza de mobiliario.
<b>Recubrimiento en polvo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• secado convencional</li> <li>• curada mediante UV</li> </ul>	0	0	Resinas epoxi Resinas de poliéster-acrilato	Adición y condensación	Radiación UV	Los recubrimientos en polvo con secado convencional por convección no son adecuados actualmente para el recubrimiento de madera. Sólo existen métodos de aplicación para el recubrimiento de MDF
<b>Pinturas de resinas alquídicas</b>	10 – 80	0	Resinas alquídicas	Oxidación al aire, secado fisicoquímico	Compuestos orgánico metálicos	Disolventes orgánicos;

Nota (1) Los datos entre paréntesis indican el contenido en disolventes emitidos como % del recubrimiento

Tabla 17.2: Descripción general de las propiedades de los tintes y pinturas para madera [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 17.2.4 Aplicación de la pintura

Las siguientes técnicas de aplicación se utilizan sobre madera y materiales de madera:

- pintura con brocha, con rodillos,
- pulverización manual (también parcialmente utilizando procesos asistidos electrostáticamente),
- pulverización automatizada (también parcialmente utilizando procesos asistidos electrostáticamente),
- pulverización automatizada con o sin reciclado de la niebla de pulverización (también parcialmente utilizando procesos asistidos electrostáticamente),
- laminado,
- técnica vacumat (recubrimiento al vacío),
- cobertura con tapaporos,
- recubrimiento en cortina,
- inmersión/inundación,
- impresión.

Además de la aplicación manual por pulverización, en la industria del mobiliario se utilizan también instalaciones de pulverización o máquinas de pulverización equipadas con unidades dispensadoras de dos componentes. La Tabla 17.3 lista de los factores de eficiencia de aplicación que se pueden alcanzar en cada caso.

Técnica de aplicación	Factor de eficiencia <sup>(1)</sup>	Comentarios
Pintura con brocha, con rodillos	95 – 100	Uniformidad reducida de la superficie
Pulverización, convencional	30 – 60	Gran cantidad de niebla de pulverización
Pulverización, HLVP	40 – 75	Aplicación de tintes para madera de baja viscosidad. Uso creciente también para otros sistemas de pintura
Pulverización en caliente	40 – 60	Aplicación de pinturas con un alto contenido en sólidos, también aplicable para pulverización de cera caliente
Aplicación mediante pulverización sin aire	40 – 75	Agregación del material pulverizado
Técnica sin aire asistida por aire	35 – 50	Agregación del material pulverizado
Pulverización de laca húmeda asistida electrostáticamente	50 – 70	Se debe tener en cuenta la conductividad eléctrica
Pulverización de polvo asistida electrostáticamente	80 – 95	Se debe tener en cuenta la conductividad eléctrica. Actualmente sólo es aplicable para el recubrimiento de MDF (sólo unas pocas aplicaciones)
Recubrimiento de cortina	95	Limitado por la geometría de la pieza
Rodillos	95	Limitado por la geometría de la pieza
Técnica vacumat (recubrimiento al vacío)	95	Sólo aplicable sobre piezas estrechas y bordes, pinturas de base acuosa y materiales para curar con radiación UV con un alto contenido en sólidos. También se debe tener en cuenta la geometría de la pieza

<sup>(1)</sup> Depende del grado de ocupación, la geometría de las piezas, etc.

**Tabla 17.3: Factores de eficiencia de aplicación alcanzables [13, DFIU e IFARE, 2002]**

### 17.2.5 Vaporización instantánea (flash-off) y secado/curado

El secado/curado de la capa de pintura requiere una vaporización instantánea (flash-off) intensa. La vaporización instantánea (flash-off) tiene lugar en instalaciones especiales que se encuentran generalmente ubicadas antes de los secadores. Para pinturas de base acuosa, se debe tener en cuenta la humedad del aire donde se lleva a cabo la evaporación para permitir un secado suficiente.

Algunos procesos de secado específicos aplicados (algunos aplicados más habitualmente que otros) son:

- secador de circulación con deshumidificación,
- secadores de convección,
- sistemas infrarrojos:
  - reactores térmicos,
  - secado en el infrarrojo cercano (NIR),
- secado con radiación UV,
- microondas,
- secadores de alta frecuencia (secadores HF),
- curado con rayos X.

### 17.2.6 Ejemplos de algunos procesos de recubrimiento

#### Recubrimiento de sillas

En la mayoría de los casos, la primera capa que se utiliza para recubrir sillas es de material de base disolvente para minimizar el levantamiento del grano de la madera. Las sillas fabricadas de haya generalmente se recubren primero con un tinte para madera coloreado o un abrillantador. Después de un pulido previo con arena, se aplica una primera capa de recubrimiento de base acuosa (120 g/m<sup>2</sup>). El material se seca a temperatura ambiente o mediante un secado forzado. Tras un segundo pulido con arena, se aplica una segunda capa de pintura basada en agua (120 g/m<sup>2</sup>) y se seca a continuación. La aplicación de pinturas de base acuosa mediante pulverización asistida electrostáticamente se utiliza para el recubrimiento de sillas debido a su geometría. De este modo se reduce la niebla de pulverización y, por consiguiente, la cantidad de pintura y las emisiones de COV.

#### Recubrimiento de marcos de ventanas

En comparación con otros sectores de la industria de la madera, el recubrimiento de ventanas de madera todavía se lleva a cabo manualmente. Puesto que las superficies de madera de las ventanas deben resistir la influencia del clima y la infestación por hongos causantes de la mancha azul, en parte se necesitan hasta cuatro capas de recubrimiento para conseguir la resistencia suficiente. Tanto los procesos de desfibrado como los de secado exigen mucho tiempo y trabajo. El uso de pinturas de base acuosa (p. ej. pinturas acrílicas) para el recubrimiento de ventanas es la técnica actual en Alemania, aunque se utilizan sistemas de recubrimiento de base disolvente (p. ej. pinturas alquídicas). Las pinturas de base acuosa muestran una adhesión sobre húmedo inferior a las pinturas convencionales de base disolvente.

El empaste de la plancha por exceso de tinta es una técnica de aplicación ampliamente utilizada para el recubrimiento de marcos de material prensado para la conservación de la madera y aplicación de la capa base. En este caso, la capa protectora se aplica mediante pulverización en una o dos capas de un sistema de pintura basada en agua. Debido a la forma de las piezas, se genera una gran cantidad de niebla de pulverización incluso cuando se utiliza un proceso de pulverización asistido electrostáticamente. Para reducir los costes y el impacto ambiental, se utilizan instalaciones de recuperación de lacas. Además, las cabinas de pulverización están equipadas con una separación seca de la niebla de pulverización para evitar la coagulación o el depósito del sedimento de pintura.

### **Recubrimiento de mobiliario de alta calidad**

[128, TWG, 2005]

Para el recubrimiento de mobiliario de alta calidad se llevan a cabo los siguientes pasos:

1. pulido con arena y eliminación del polvo,
2. adaptación del color, p. ej. mediante la aplicación de tintes,
3. pulido con arena y eliminación del polvo,
4. capa base,
5. pulido con arena y eliminación del polvo,
6. capa protectora.

El segundo paso se lleva a cabo en la mayoría de casos mediante pulverización (manual). Los pasos 4 y 6 también mayoritariamente por pulverización. Las pinturas UV se utilizan raramente para el recubrimiento de mobiliario de alta calidad. El principal motivo es que sólo se puede aplicar cuando es posible recubrir por separado los paneles planos y el recubrimiento se lleva a cabo antes del ensamblaje de la pieza de mobiliario. Sin embargo, si las piezas de mobiliario todavía no están ensambladas, es posible utilizar recubrimientos de base de UV, y con ello otro tipo de aplicación distinto a la pulverización (generalmente mediante rodillos).

Por lo menos una compañía alemana (Rippert GmbH) y una compañía finlandesa (Tikkurila Coatings Oy) han desarrollado por separado un método de curado UV, que utiliza el curado UV en una atmósfera inerte. Mediante este método es posible curar lacas UV y pinturas UV sobre componentes en 3D y sobre sillas ensambladas. El equipo y los recubrimientos están disponibles comercialmente.

Para mobiliario fabricado de piezas sólidas de madera (cuyas superficies se tratan con aceite o cera) destinado a cocinas, dormitorios, salas de estar y habitaciones para niños, generalmente se llevan a cabo los siguientes procesos:

1. las piezas de mobiliario sometidas a un pulido con arena previo se lijan con cepillos,
2. tras eliminar el polvo, se aplica el aceite sobre la superficie de la madera con una máquina de pulverización,
3. a continuación se cepillan las piezas aceitadas,
4. se aplica una cera caliente mediante pulverización,
5. se cepilla la superficie encerada,
6. las piezas se giran y se repiten los procesos anteriores 1 – 5.

### **Recubrimiento con polvo de tableros MDF**

La aplicación de polvo sobre tableros de MDF para la producción de unidades de televisores y mobiliario de oficina se lleva a cabo sin imprimación previa. La longitud total de la planta para precalentar, recubrir, curar y enfriar es significativamente más corta que en la de una planta convencional, puesto que el recubrimiento tiene lugar en un único ciclo de trabajo.

Debido a la muy baja conductividad eléctrica del MDF, las placas se precalientan hasta 60 – 70 °C antes de que el polvo sea aplicado mediante pistolas de pulverización por efecto corona. A esta temperatura, las partículas de polvo se adhieren a la superficie de MDF creando una capa consolidada que a continuación se seca mediante radiación UV. No son necesarios procesos de pulido después de las respectivas fases de secado.

Mediante el reciclado y reutilización del polvo, se obtienen ahorros de costes significativos. Sin embargo, esta técnica de aplicación sólo es aplicable a determinados colores y estructuras superficiales.

### **Recubrimiento de mobiliario de madera para cocina y baño**

El mobiliario para cocina y baño se fabrica con piezas sólidas de madera (p. ej. roble, haya, arce, pino doncel y cerezo) y materiales de madera (p. ej. MDF) y se recubre. Para el pintado, se

utilizan sistemas de pintura húmeda exclusivamente con una proporción significativa de pintura UV diluible en agua así como tintes para madera de base acuosa o en disolventes. En la actualidad, la pintura de base disolvente de poliéster y PUR se utiliza únicamente en pequeñas cantidades, principalmente para pintar piezas de repuesto. Los tintes para madera se aplican mediante cabezales automáticos de recubrimiento con rodillos. La conversión al uso de pinturas UV diluibles en agua para las capas de base y de protección se llevó a cabo por motivos ambientales, de protección laboral y tecnológicos, y para reducir el riesgo de incendio. Los materiales aplicados tienen una proporción de disolventes del 1 - 2,5 % en peso. El recubrimiento se lleva a cabo principalmente en instalaciones totalmente automatizadas. El material se aplica mediante pulverización con aire comprimido. La niebla de pulverización se recoge (mediante rasquetas) y se reutiliza.

Las partículas de pintura en el aire de salida se separan en seco. En general, el sistema de pintura consiste en dos capas. La superficie del recubrimiento de base puede ser pulido con arena antes de aplicar el recubrimiento protector. Debido al uso de pinturas UV diluibles en agua, las cantidades de disolventes emitidos son muy pequeñas e, incluso en grandes instalaciones, suman menos de 10 kg/h. Por consiguiente, no se realiza la depuración de los gases de salida en lo referente a los COV. El aire de salida se emite directamente a través de una chimenea. Los agentes limpiadores se reciclan mediante destilación.

### 17.2.7 Acabado con sustancias de recubrimiento sólidas

Las sustancias de recubrimiento sólidas son materiales que se aplican a presión en estado sólido sobre piezas en forma de panel o perfiladas. Puede tratarse de chapa, láminas, papeles o laminados.

#### Chapas

Las chapas son hojas delgadas de madera con un espesor de entre 0,5 y 2 mm y se aplican sobre los paneles de base sometidos a temperatura y presión en una prensa. Los adhesivos estándar son colas de resinas de urea-formaldehído (UF) y acetato de polivinilo (PVAC).

#### Láminas, papeles o laminados

Éstos se aplican sobre los paneles de base utilizando diversos adhesivos y sometidos a temperatura y presión utilizando prensas superficiales, prensas de membrana y prensas de cilindros. Ese proceso se denomina laminación. Los adhesivos estándar son colas a base de copolímero de etileno y acetato de vinilo (EVA) para papeles decorativos y láminas, y resinas adhesivas de urea-formaldehído (UF) y colas de acetato de polivinilo (PVAC) para los laminados.

#### Adhesivos y colas

Las colas de PVAC contienen agua, el aglutinante de acetato de polivinilo y disolventes orgánicos (generalmente hasta el 3 % en masa de acetato de butilo o de etilo) y las cantidades aplicadas son de aproximadamente 120 g/m<sup>2</sup>. Durante el secado, se emiten agua y no más de 3,6 g de disolvente por m<sup>2</sup>.

Las resinas UF contienen resina de urea-formaldehído, posiblemente extendedores, catalizadores y agua. El componente llamado «formaldehído libre» del adhesivo supone entre el 0,1 y 0,5 % en masa, y la mayor parte se incorpora durante el curado. Las cantidades aplicadas son de aproximadamente 100 g/m<sup>2</sup>. Durante el curado, se emiten agua y el formaldehído que no haya sido incorporado.

Las colas de EVA contienen polímero de etileno y acetato de vinilo, agua y, en algunos casos, hasta un 3 % en masa de disolventes orgánicos, generalmente etanol y tolueno. Las cantidades aplicadas son de aproximadamente 90 g/m<sup>2</sup>. Durante el secado, se emiten agua y, si se encuentran presentes, hasta 2,7 g de disolventes orgánicos por m<sup>2</sup>.



## 17.3 Niveles actuales de consumo y de emisión en el recubrimiento de mobiliario y materiales de madera

En el recubrimiento de mobiliario y de materiales de madera, el principal aspecto para el control de la contaminación atmosférica es la emisión de COV. La generación de residuos y de aguas residuales, así como el consumo de energía, también son temas a considerar.

### 17.3.1 Balances de masa

No hay datos disponibles.

### 17.3.2 Consumos

#### 17.3.2.1 Materiales

La Tabla 17.4 a continuación, lista las cantidades aplicadas de materiales de pintura para distintas técnicas de aplicación:

Técnica de aplicación	Cantidad (g/m <sup>2</sup> )	Comentarios
Rodillos	25 – 60	
Recubrimiento de cortina	60 – 250	En casos excepcionales hasta 500 g/m <sup>2</sup>
Inmersión	60 – 200	
Inundación	60 – 200	
Pulverización	Hasta 250	Pérdida de materiales debido a una baja eficiencia
Impresión	1 – 2	

**Tabla 17.4: Cantidades de materiales de pintura aplicados en distintas técnicas de aplicación [13, DFIU e IFARE, 2002]**

La Tabla 17.5 a continuación, muestra ejemplos de las cantidades promedio de pintura y de disolvente aplicadas en cada sector de producción.

Producto	Proceso de recubrimiento	Cantidad de pintura (g/m <sup>2</sup> )	Cantidad de disolvente (g/m <sup>2</sup> )
Paneles MDF	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. recubrimiento base, de base acuosa, aplicación por rodillos</li> <li>2. de base acuosa, aplicación por rodillos</li> <li>3. tinta de impresión, basada en agua</li> <li>4. pintura AC aplicada mediante rodillos, curado UV*</li> </ol> Secado: Secadores por convección o UV	80	3
Escaleras	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. sellador para parquet, de base acuosa</li> <li>2. pulido</li> <li>3. sellador para parquet, de base acuosa o en disolventes, aplicación de una o dos capas mediante pulverización</li> <li>4. pulverización en caliente</li> </ol> Secado: a temperatura ambiente, secadores por convección o secado con infrarrojos	180	12
Mobiliario de dormitorio	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. aplicación mediante pulverización de dos capas de pinturas pigmentadas de base acuosa o en disolventes, con un pulido intermedio</li> <li>2. cal en pasta, aplicación mediante pulverización</li> <li>3. pulido</li> <li>4. pinturas incoloras de base acuosa, aplicación mediante pulverización</li> </ol> Secado: a temperatura ambiente, secadores con sistemas de bandejas	150	9
Puertas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. recubrimiento base, de base acuosa, aplicación por rodillos</li> <li>2. tinte para madera con aplicación con rodillos</li> <li>3. recubrimiento base de AC aplicado mediante rodillos, curado UV*</li> <li>4. pulido</li> <li>5. dos capas de pintura AC aplicada mediante rodillos, curado UV*</li> </ol> Secado: Secadores por convección o UV	60	10
Mesas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. tintes combinados, aplicación mediante pulverización</li> <li>2. recubrimiento base de AC aplicado mediante rodillos, curado UV (3 capas)</li> <li>3. pulido</li> <li>4. pintura AC aplicada mediante rodillos, curado UV</li> </ol> Secado: a temperatura ambiente	100	30
Mobiliario para sala de estar	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. aceite natural, pulverización en caliente</li> </ol> Secado: a temperatura ambiente	23	0
	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. pulido</li> <li>3. productos de base disolvente (para productos ensamblados), de base de UV para piezas planas, cera natural pulverizada en caliente (infrecuente)</li> </ol> Secado: curado con infrarrojos	55	9
Nota: * Los productos de base disolvente todavía son ampliamente utilizados. En muchos casos en la industria del mobiliario, se utilizan recubrimientos curados con UV, especialmente en piezas planas, que son casi todas curadas con UV.			

**Tabla 17.5: Pinturas aplicadas y cantidades de disolventes orgánicos: ejemplos de distintas aplicaciones en la industria de la madera y del mobiliario**  
 [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 17.3.2.2 Agua

No hay datos disponibles.

### 17.3.2.3 Energía

No hay datos disponibles.

### 17.3.3 Emisiones

#### 17.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

La Tabla 17.6 resume algunas emisiones de COV de distintos sistemas de pintura.

Técnica de aplicación	contenido de disolventes (% en peso)	Medidas de reducción de emisiones	Emisiones de COV (g/m <sup>2</sup> )*
Sistema de pintura con una elevada proporción de disolventes orgánicos y pulverización	65	Ninguna	80 – 100
Sistema de pintura con una elevada proporción de disolventes orgánicos	65	Técnicas de aplicación común mayor factor de eficiencia (rodillos, inundación, inmersión, pulverización asistida electrostáticamente, pulverización sin aire) y buenas prácticas de mantenimiento	40 – 60
Sistema de pintura con un contenido medio de disolventes	20	Mismas que la anterior	10 – 20
Sistema de pintura con bajo contenido de disolventes	5	Mismas que la anterior	2 – 5
*Nota: éstas cifras dependen de la cantidad de material utilizado y del ritmo de aplicación. Las cifras mostradas corresponden a los ritmos de aplicación usuales y sólo son una guía.			

**Tabla 17.6: Emisiones específicas de COV procedentes de varios sistemas de pintura y, algunos, con medidas primarias de reducción de emisiones**  
[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 17.3.3.2 Emisiones al agua

El volumen de aguas residuales generadas en el recubrimiento de madera generalmente es muy pequeño, puesto que el agua de proceso circula en un circuito cerrado. Cuando se utilizan recubrimientos de base acuosa (algunos de ellos probados en la actualidad), se genera una cantidad significativa de agua residual que, en algunos casos, supera la capacidad del circuito cerrado de la instalación de pulverización.

#### 17.3.3.3 Residuos

Especialmente para recubrir piezas de madera perfiladas, los recubrimientos de base y protector se aplican mediante pulverización. En este caso, las pérdidas por niebla de pulverización se generan en el interior de las cabinas de pulverización en una de las dos formas de residuo:

- si se aplica separación húmeda, la niebla de pulverización forma fangos de pintura. Por tanto el sedimento de pintura consiste en partículas de pintura, pequeñas cantidades de disolventes orgánicos, agentes coagulantes y agua. El sedimento de pintura generalmente se considera un residuo que necesita control. En general, el material se utiliza como combustible en cámaras de combustión de desechos especiales
- si la niebla de pulverización se separa en seco, el filtros estera de fibra de vidrio contaminadas deben ser eliminadas. En cuanto se alcanza una velocidad mínima específica del flujo de aire, el filtro estera deben ser reemplazadas. El filtro estera, contaminado con partículas de pintura seca, generalmente no necesita control y se puede utilizar como combustible en plantas de incineración de residuos convencionales.

Las pinturas mixtas de dos componentes no se pueden reciclar y se eliminan. Los disolventes se recuperan de las pinturas no curadas. Además, se generan disolventes contaminados durante la limpieza de los dispositivos de aplicación, en los sistemas de transporte, en los conductos de pinturas, en las cabinas de pulverización y otros. En general, los agentes limpiadores utilizados en la industria de la madera se reciclan mediante destilación y se pueden utilizar como agentes limpiadores reciclados. La destilación genera restos de pintura en forma sólida, líquida o en pasta. Los disolventes contaminados, sólidos procedentes de la destilación, pintura seca de dos componentes y otros residuos y sobrantes que no se reutilizan se eliminan, generalmente como residuos peligrosos.

Las propiedades peligrosas del sedimento de pintura procedente de la niebla de pulverización de la pintura, han sido analizadas y en muchos casos, existe una falta de datos globales, generales acerca de los residuos. Por consiguiente, la cooperación entre fabricantes de pinturas o lacas, productores de residuos, autoridades ambientales e investigadores y laboratorios dedicados a los residuos es muy importante. Por ejemplo, en un estudio realizado en Finlandia, se analizaron las concentraciones de formaldehído a partir de la información recibida de los productores de pinturas y lacas. Esto proporcionó la información esencial para la valoración global de los riesgos químicos y ecotoxicológicos de los residuos estudiados. Los resultados confirmaron las ventajas de combinar ensayos químicos y ecotoxicológicos para valorar el riesgo ambiental potencial de las mezclas de complejos orgánicos que se encuentran en los residuos de pinturas. Los estudios sobre el pretratamiento mostraron que la cantidad de residuos se podría minimizar reduciendo el contenido líquido de los residuos del agua-cortina-cabina, y el riesgo se redujo cambiando las materias primas en el proceso de pintado mediante pulverización por pinturas y lacas con disolventes menos perjudiciales. Los resultados también probaron que la deposición en vertedero no es un método adecuado para la eliminación de los residuos de pintura en la industria del mobiliario. Para este tipo de residuos orgánicos, la incineración podría ser un método alternativo mejor. La información sobre las propiedades ecotoxicológicas y de lixiviación de los residuos de restos de pintura producidos en distintos procesos de pintura por pulverización ayudó a los fabricantes de pinturas a desarrollar sus productos y permite a los fabricantes del mobiliario escoger productos ambientalmente más seguros. Además, esta aproximación mediante la detección de los riesgos ayudará a los fabricantes de mobiliario a mejorar el proceso de pintado de superficies durante la fabricación de mobiliario para minimizar la cantidad y el riesgo de los residuos producidos.

### **17.4 Técnicas a tener en cuenta en la determinación de la MTD para el pintado de mobiliario y materiales de madera**

En el capítulo 20, se analizan técnicas que también podrían ser aplicables al pintado de mobiliario y materiales de madera. En la sección 20.7, se analizan técnicas relacionadas con la aplicación de pinturas. Estas técnicas también podrían ser aplicables al pintado de mobiliario y materiales de madera. En la Tabla 17.7 se muestran las técnicas generales relevantes para el pintado de mobiliario y materiales de madera descritas en el capítulo 20 o sección 20.7. Estas técnicas no se repiten en esta sección, a menos que haya disponible información específica para este sector. En la Tabla 20.1 se describe el tipo de información tenida en cuenta para cada técnica.

Las hojas de resumen EGTEI para el recubrimiento de madera (véase el anexo 24.1.1) proporcionan algunos datos sobre el coste-beneficio de algunas técnicas para reducir las emisiones de COV en el ámbito europeo. Sin embargo, la aproximación EGTEI necesita limitar su complejidad, así que sólo se indican las técnicas esenciales, sin considerar los demás factores de las MTD, tales como efectos cruzados o las características técnicas de las instalaciones o de los productos específicos [140, EGTEI, 2005].

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 17.7: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector

### 17.4.1 Minimización del consumo de materias primas

#### 17.4.1.1 Pintado de lotes/agrupación de colores

Para una descripción general, véase la sección 20.6.3.6 .  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

#### 17.4.1.2 Sistemas de rascado

Para una descripción general, véase la sección 20.6.3.7. En la industria del mobiliario, existe una demanda creciente de mobiliario pintado en colores individuales y especiales y, consecuentemente, sobre los sistemas de rascado de conductos.  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

#### 17.4.1.3 Sistema de mezcla en línea de productos de 2 componentes

Para una descripción general, véase la sección 20.6.3.1. Esta técnica es de uso común.  
[63, Vito, 2003] [13, DFIU e IFARE, 2002]

## 17.4.2 Materiales convencionales de base disolvente

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.1. La pintura de nitrocelulosa es una pintura clásica de base disolvente para mobiliario. Sin embargo, las pinturas basadas en poliésteres, alquídicas y basadas en poliuretano son de uso común. Las pinturas alquídicas se utilizan predominantemente como abrillantadores para aplicaciones en el exterior. Los abrillantadores son sistemas de pintura transparente que se aplican para enfatizar la apariencia de las superficies de madera. Sin embargo, estos abrillantadores también pueden ser de base acuosa.

Las pinturas convencionales de base disolvente tienen los siguientes contenidos de disolventes en peso:

- tinte para madera: 95 % de disolvente orgánico,
- tinte para madera: 70 % de disolvente orgánico, 30 % de agua,
- capa base y capa protectora: hasta un 80 % de disolvente orgánico.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En comparación con sistemas de base acuosa, se requiere menos energía para el secado.

**Efectos cruzados:** Emisiones elevadas de COV.

**Información operativa:** Las pinturas de base disolvente requieren tiempos de secado más cortos y, por consiguiente, es posible obtener una mayor capacidad de producción.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Los tiempos cortos de secado son un aspecto importante en el uso de la tecnología de base disolvente.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:**[13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

## 17.4.3 Reemplazo de los materiales de base disolvente (sustitución)

### 17.4.3.1 Recubrimientos de base acuosa

**Descripción:** Para una descripción general, véase la sección 20.7.2.3. Se aplican los siguientes sistemas de pinturas de base acuosa:

- tinte para madera: 0 % de disolvente orgánico,
- tinte para madera: 25 – 30 % de disolvente orgánico,
- base y capa protectora: 5 – 7 % de disolvente orgánico; sistema convencional de secado.

También se utilizan las pinturas UV de base acuosa (alrededor del 2 % de disolvente orgánico) y las pinturas de dos componentes basadas en poliuretano (alrededor del 9 % de disolvente orgánico).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducciones significativas de COV.

**Efectos cruzados:** A menudo es necesario un pulido y bruñido adicional para obtener una superficie lisa tras cada fase de pintado. Esto produce más residuos y se consumen más materias primas.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Las pinturas de 2 componentes son ampliamente utilizadas para pintar, por ejemplo, superficies duraderas tales como cubiertas para suelos y frontales para cocinas. La aplicación de pinturas de base acuosa depende del producto utilizado, la superficie, la capa de recubrimiento base (imprimación), el método de aplicación, la calidad final deseada, la disponibilidad de productos de alta calidad y el segmento de productos a que se dirija la compañía. Actualmente, la disponibilidad de recubrimientos de alta calidad no es suficiente.

**Aspectos económicos:** Pueden ser necesarias las inversiones siguientes:

- secado forzado (normalmente la inversión mayor),
- espacio adicional necesario para el secador así como una mayor zona intermedia de almacenamiento para las piezas pintadas que se encuentren entre ciclos repetidos de operación,
- equipos de acero inoxidable para el almacenamiento de pinturas, equipo de manipulación de herramientas, etc., mientras que para pinturas de base disolvente se puede utilizar acero de calidad estándar.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [147, Presti, 2005]

### 17.4.3.2 Recubrimiento en polvo – secado convencionalmente

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.6. Los recubrimientos en polvo con secado convencional por convección se aplican a MDF y HDF (fibras de media y alta densidad). Actualmente no son adecuados para el pintado de madera, a causa de las elevadas temperaturas necesarias para el secado y la baja calidad de la superficie obtenida.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** La aplicación de polvo sobre tableros de MDF para la producción de televisores y mobiliario de oficina se lleva a cabo sin imprimación previa. La longitud completa de la planta necesaria para precalentar, recubrir, curar y enfriar es significativamente más corta que la necesaria para una planta convencional: el recubrimiento tiene lugar en un único ciclo de trabajo. Los procesos de pulido con arena después de las respectivas fases de secado son inaplicables.

Debido a la muy baja conductividad eléctrica del MDF, las placas se precalientan hasta 60 – 70 °C antes de que el polvo sea aplicado mediante pistolas de pulverización asistida electrostáticamente. A esta temperatura, las partículas de polvo se adhieren a la superficie de MDF creando una capa de pintura que se consolida y a continuación se seca mediante radiación UV.

Los recubrimientos en polvo a baja temperatura, adecuados para sustratos de madera en general, se aplican, por ejemplo, en Suecia y en el Reino Unido. Esta técnica no es de uso común.

La reutilización de la niebla de pulverización no es posible en series de producción cortas y para cambios frecuentes de color, lo cual sucede a menudo en la fabricación de mobiliario.

**Aplicabilidad:** Sólo se utiliza para MDF y para piezas de baja calidad. No es adecuado para el recubrimiento de madera maciza ni chapas.

**Aspectos económicos:** Mediante el reciclado y reutilización del polvo, se obtienen ahorros significativos de costes.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.



**Planta de ejemplo:** Stilexo Industrial, UK.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005] [63, Vito, 2003]

### 17.4.3.3 Pinturas de curado por radiación UV

**Descripción:** Véase la sección 20.7.2.5.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las pinturas de base acuosa y libres de disolventes que se curan con radiación UV no generan emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** Las pinturas de curado por radiación UV pueden ser aplicadas mediante diversas técnicas, tales como aplicación a brocha, aplicación con rodillos, vertido, pulverización y recubrimiento al vacío.

**Aplicabilidad:** Los recubrimientos de curado por radiación UV de base acuosa no son de uso corriente en la actualidad, pero son cada vez más utilizados para el pintado de mobiliario y madera. Las pinturas UV de base acuosa se aplican generalmente en el recubrimiento de sillas, mobiliario en forma de caja, mobiliario de oficina y de cocina, puertas de habitación, paneles, aglomerado para mobiliario destinado a salas de estar y dormitorios, etc. Estas pinturas pueden ser aplicadas sobre cualquier capa de pintura. Los productos de curado por radiación UV son aplicables en los casos en que es posible recubrir paneles planos separadamente y en que el recubrimiento se aplica antes de ensamblar la pieza de mobiliario. Se puede producir alguna aplicación de recubrimientos de curado por radiación UV en la sección de ebanistería y paneles de acabado. El uso de productos de curado por radiación infrarroja es menos conocido.

Por lo menos una compañía alemana y una compañía finlandesa han desarrollado por separado un método de curado UV, que utiliza el curado UV en una atmósfera inerte. Mediante este método es posible curar lacas UV y pinturas UV sobre componentes en 3D tales como sillas ensambladas. El equipo y los recubrimientos están disponibles comercialmente.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Para recubrimientos 3D: Rippert GmbH, Alemania, Tikkurila Coatings Oy, Finlandia.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002], [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]  
Para recubrimientos en 3D: RadTech 2005 conference proceedings, [www.tikkurila.fi](http://www.tikkurila.fi).

## 17.4.4 Técnicas y equipos de aplicación de pinturas

### 17.4.4.1 Aplicación por rodillos y aplicación de relleno utilizando máquinas de recubrimiento con rodillos invertidos

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.1. La aplicación de relleno es de uso común.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La eficiencia de este proceso es muy elevada. Según la pieza y las condiciones de procesado, es posible alcanzar eficiencias de material de alrededor de 90 – 100 %. También es posible obtener ahorros de material de hasta el 40 %.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** En la mayoría de los casos, se utiliza el recubrimiento con rodillos normales con buenos resultados, incluso sobre superficies con celdas cerradas.

En el año 2002, se observó una demanda creciente de recubrimientos sobre sustratos con celdas cerradas tales como maderas de haya, arce, peral, abedul y cerezo. Para la chapa de la máxima calidad, anteriormente, esto sólo había sido posible mediante la aplicación convencional por rodillos o pulverización. Sin embargo, el uso de rodillos de satinado calentados para la aplicación de la capa base muestra ventajas significativas. Permite el rellenado y alisado de superficies porosas sin aplicación de material en exceso. Además, permite rellenar grietas en la superficie de la chapa y en las juntas, paneles de aglomerado sin tratar, paneles MDF y otros paneles de materiales de madera. De este modo, se crea una superficie más regular y la madera adquiere una apariencia uniforme y lisa.

Estas ventajas proceden de los rodillos de satinado calientes girando en sentido opuesto, que procesan la pintura UV aplicada sobre las superficies de la pieza mediante el rodillo aplicador. De este modo la pintura pasa a formar parte de la superficie de la pieza. Los poros, grietas y juntas de chapas también se rellenan de este modo. El calentamiento del rodillo de satinado reduce la cohesión en el interior de la capa de pintura, de modo que el material permanece en los poros rellenos. Además, el material de pintado muestra mejores propiedades de movilidad y forma una superficie lisa y uniforme.

**Aplicabilidad:** En general, las técnicas con rodillos se utilizan para la aplicación de pinturas diluibles en agua y pinturas de curado por radiación UV. Principalmente aplicable a piezas planas, pero también pueden ser procesados productos ligeramente curvados tales como paneles de madera. Es posible procesar pesos de aplicación de 25 – 60 g/m<sup>2</sup>, según el tipo de máquina. Las máquinas de recubrimiento con rodillos invertidos sólo son aplicables a piezas planas y, por consiguiente, se utilizan principalmente para planchas derivadas de productos de madera. Sobre superficies más curvadas, el relleno tapaporos se aplica mediante equipo manual, tal como espátulas de pintor.

**Aspectos económicos:** Una máquina rellenadora ligera para recubrimiento de madera y mobiliario, con un ancho de trabajo de 1,3 m y una carga eléctrica de 5,5 kW cuesta 55 000 EUR en el año 2000. Una máquina utilizada para el recubrimiento de madera y mobiliario con, por ejemplo, un rodillo de espuma, un ancho del trabajo de 1,3 m y una carga eléctrica de 3 kW cuesta alrededor de 30 000 EUR. Una máquina que aplique dos rodillos (sistema doble) con el mismo ancho de trabajo y una carga eléctrica de 6 kW cuesta 60 000 EUR. Ambos ejemplos son del año 2005.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 17.4.4.2 Recubrimiento en cortina (vertido)

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.2. El recubrimiento en cortina (vertido) se aplica comúnmente para recubrir puertas, paneles divisorios y otras planchas. En la mayoría de los casos se aplican lacas libres de disolventes basadas en poliéster, pero también se pueden procesar otros tipos de materiales de recubrimiento. El recubrimiento en cortina puede alcanzar una alta calidad en la igualdad de las capas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Según la pieza y las condiciones de procesado, es posible alcanzar eficiencias de material de alrededor de 90 – 98 %.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** En comparación con el uso de rodillos, las piezas de madera no necesitan ser absolutamente planas. Con un recubridor en cortina, el material de pintura que se utiliza se bombea hacia un tanque de cabecera desde el cual se descarga el recubrimiento en forma de fina película. Las piezas que deben ser recubiertas se hacen pasar a través de esta lámina. El material de pintura sobrante se recoge en un depósito y se bombea de vuelta hacia el tanque de cabecera. Se alcanza una eficiencia de aproximadamente el 95 %. Mediante esta técnica se pueden aplicar todo tipo de materiales de pintura.

**Aplicabilidad:** En el proceso de vertido, se recubren piezas lisas o casi lisas. Según el tipo de máquina, es posible procesar pesos de aplicación de 60 – 250 g /m<sup>2</sup>.

**Aspectos económicos:** Una instalación de vertido utilizada para el recubrimiento de madera inmobiliario con un ancho de trabajo de 1,3 m y una carga eléctrica instalada de 3 kW cuesta 35 000 EUR (año 2000).

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [128, TWG, 2005]

### 17.4.4.3 Inmersión convencional

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.3. La técnica de inmersión convencional se aplica habitualmente en el recubrimiento de ventanas en producción en serie.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las ventajas de la inmersión son que conlleva eficiencias muy elevadas de hasta el 100 %, recubrimiento completo de las piezas (tanto de las caras exteriores como interiores), rentabilidad, alta capacidad operativa y buenas posibilidades para su automatización. Sin embargo también se han registrado rangos de eficiencia del 80 – 90 %.

**Efectos cruzados:** En comparación con la pulverización, se consiguen capas de recubrimiento más gruesas que consecuentemente dan como resultado un mayor consumo de materias primas.

**Información operativa:** Las piezas son sumergidas manualmente o bien transportadas y sumergidas mediante sistemas transportadores. La inmersión en pinturas de base acuosa puede producir espuma. Las pinturas de base acuosa sólo son estables en un rango reducido de niveles de pH y, por consiguiente, son muy sensibles a contaminantes que puedan ser arrastrados desde los procesos de pretratamiento. A menudo no es necesario ningún paso de secado después de los pretratamientos, tales como procesos de limpieza, al aplicar pinturas de base acuosa. El tanque de inmersión debe estar equipado con un mezclador, bomba de circulación con filtro y regulador de temperatura.

Es posible procesar pesos de aplicación de 60 – 200 g/m<sup>2</sup>.

**Aplicabilidad:** La inmersión es aplicable para la producción en serie de artículos que se recubren con un único tono sin cambios de color. Sólo se pueden utilizar sistemas de pintura de un componente.

Esta técnica no es aplicable para estructuras superficiales de celda abierta de productos recubiertos. Además en la mayoría de los casos, las partes del mobiliario que se tratan de forma distinta (p. ej. frontales, armazones, partes traseras) y los perfiles no pueden ser cubiertos por inmersión (no es posible la formación de poros) a causa del ensanchamiento excesivo de los perfiles.

**Aspectos económicos:** Ésta es una técnica rentable.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [147, Presti, 2005]

#### 17.4.4.4 Inundación

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.5.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Según la pieza y las condiciones de procesado, es posible alcanzar eficiencias de alrededor de 95 – 99 %. En comparación con la aplicación mediante inmersión, las pérdidas por evaporación son mayores.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** En instalaciones de recubrimiento por inundación, las piezas se transportan mediante sistemas de cintas transportadoras hacia canales cerrados. Allí, las piezas se inundan con el material de pintura mediante tubos inyectoros. El material de pintura sobrante se absorbe en el fondo del canal y se reutiliza.

Es posible procesar pesos de aplicación de 60 – 200 g/m<sup>2</sup>.

**Aplicabilidad:** El proceso es especialmente adecuado para piezas de madera que tienden a flotar. Aplicable para la producción en serie y grandes piezas con una gran área superficial, sin muchos cambios de color.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002],

#### 17.4.4.5 Recubrimiento al vacío

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.6.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Según la pieza y las condiciones de procesado, es posible alcanzar eficiencias alrededor de 80 – 100 %.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** El recubrimiento al vacío sólo es aplicable a madera que pueda tolerar el vacío. Para comprobarlo, una pieza de madera se somete a baja presión (p. ej. < 10<sup>-6</sup> bar). La madera no es adecuada para el recubrimiento al vacío cuando la presión aumenta a razón de algunos 10<sup>-6</sup> bar por minuto.

Además de pinturas de base acuosa, el recubrimiento al vacío ha sido aplicado recientemente a pintura para curado mediante radiación UV sobre madera o compuestos de madera.

**Aplicabilidad:** El recubrimiento al vacío se aplica comúnmente al pintado de paneles de MDF, madera maciza, chapa, perfiles fabricados de compuestos de papel, marcos de ventanas, zócalos y paneles para paredes y techos.

**Aspectos económicos:** En un caso real, cambiar la utilización de pulverización sin aire asistida con aire de pinturas de base acuosa con secado mediante infrarrojos por la aplicación de

recubrimientos al vacío, aplicando pinturas de curado por radiación UV, dio como resultado un ahorro anual de 262 000 EUR. El coste de la maquinaria fue de 140 000 EUR. El tiempo de recuperación de la inversión fue inferior a dos años. El resultado fue la eliminación de las emisiones de COV (14 toneladas/a) y de residuos (que había sido de 100 toneladas/a) y el material de la pintura de curado por radiación UV era eficiente al 100 % (2003).

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** True Temper Hardware Company, Pennsylvania, EE.UU., fabricante de pies y mangos de madera.

**Bibliografía de referencia:** [63, Vito, 2003], [76, TWG, 2004]

### 17.4.4.6 Pulverización convencional a alta y baja presión

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.8. Se utiliza pulverización con aire comprimido, por ejemplo, para la aplicación de pintura de curado por radiación UV basada en agua (1 - 2,5 % en peso de disolvente orgánico) en una instalación automatizada para el recubrimiento de mobiliario para cocinas y baños.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** El consumo de materias primas es muy elevado (véanse las eficiencias de aplicación en los Información operativa a continuación).

**Información operativa:** Todas las superficies pueden ser cubiertas mediante este método y es posible obtener superficies de alta calidad.

**Aplicabilidad:** La eficiencia varía desde alrededor del 5 % para piezas en forma de retícula hasta alrededor del 30 – 60 % para piezas con una mayor área superficial.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Ampliamente usada. Representa el status quo.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente usada.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 17.4.4.7 Pulverización de gran volumen y baja presión (HVLP)

Véase la sección 20.7.3.9. Esta técnica se aplica comúnmente para tintes para madera de baja viscosidad y de forma creciente para otros sistemas de pintura. [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 17.4.4.8 Pulverización asistida electrostáticamente con aire comprimido, sin aire y asistida con aire

**Descripción:** En esta técnica, la pintura se atomiza en un campo eléctrico. Véase la sección 20.7.3.17. Las aplicaciones de pulverización asistida electrostáticamente se pueden utilizar en el proceso de materiales mejor conductores eléctricos, tales como la madera maciza en la producción de ventanas, sillas y estantes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** El efecto jaula de Faraday hace imposible que las partículas de pintura alcancen las cavidades. La humedad de la madera debe ser por lo menos del 10 % para alcanzar la conductividad suficiente en la pieza.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [147, Presti, 2005]

#### 17.4.4.9 Recubrimientos en polvo - pulverización asistida electrostáticamente

**Descripción:** Véase la sección 20.7.3.18. Los recubrimientos en polvo pueden ser aplicados mediante todas las técnicas corrientes de pulverización. Sin embargo, los mejores resultados se consiguen mediante la pulverización asistida electrostáticamente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Debido a la muy baja conductividad eléctrica del MDF, las placas se precalientan hasta 60 – 70 °C antes de que el polvo sea aplicado mediante pulverización asistida electrostáticamente. A esta temperatura, las partículas de polvo se adhieren a la superficie de MDF creando una capa de pintura que se consolida y a continuación se seca mediante radiación UV.

**Aplicabilidad:** Es comúnmente aplicada cuando se utiliza el recubrimiento en polvo en el pintado de mobiliario y de madera.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

#### 17.4.5 Cabinas de pulverización

##### 17.4.5.1 Cabina con separación húmeda

**Descripción:** Véase la sección 20.7.4.1. Se trata de una cabina de pulverización de acero inoxidable equipada con un pulverizador de agua en la parte posterior y posiblemente en los laterales, para absorber la niebla de pulverización. Estas cabinas son habituales y se equipan con cascadas, o bien el agua se hace circular por flotación con aire, y con reciclado de la pintura.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** El coste de adquisición de una cabina de pulverización con separación húmeda con una capacidad de 13 kW y 7000 m<sup>3</sup>/h de salida de aire es de 150 000 EUR (registrado en el año 2002).

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003]

### 17.4.5.2 Cabina de pulverización de pintura en pintura

**Descripción:** Véase la sección 20.7.4.2.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Típicamente se puede reutilizar un 33 – 50 % de la niebla de pulverización.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** Existen distintos diseños, también como parte integrada de una zona o línea de pulverización automatizada. Limpiar la pantalla tras un cambio de color dura alrededor de cinco minutos.

**Aplicabilidad:** Este proceso es aplicable para pinturas de un solo componente de base disolvente y de base acuosa. Puede ser aplicado en actividades de pulverización automatizada y manual. Sin embargo, es menos adecuado para series pequeñas con muchos cambios de color y para pinturas con una corta duración en almacenamiento. Se utilizan cabinas de pulverización mayoritariamente secas o húmedas. La gran variedad de colores utilizados hace que, a veces, esta forma de aplicación sea imposible de aplicar.

**Aspectos económicos:** El precio de estas cabinas de pulverización se encuentra entre los 25 000 – 60 000 EUR para flujos de salida de aire de 5000 – 10 000 m<sup>3</sup>/h. El coste de adquisición de una cabina de pulverización para pulverización manual con una capacidad de 15 kW y 7200 m<sup>3</sup>/h de salida de aire es de 80 000 EUR.

El coste de inversión para una «pared de cortina de agua» en una cabina tradicional de pulverización manual es de entre 30 000 y 75 000 EUR dependiendo del tamaño de la pared. El coste de inversión de un sistema rotativo es de entre 40 000 y 180 000 EUR para una cabina de pulverización (registrado en el año 2006).

El coste de la energía para la refrigeración de la pantalla es de alrededor de 1000 EUR por año. Los ahorros incluyen una reducción de las materias primas porque la pintura se reutiliza y es necesario eliminar menos residuos de pintura.

El sistema es viable económicamente para compañías que apliquen 15 toneladas de pintura o más por año. El tiempo de recuperación de la inversión registrado en seis estudios se encuentra en el rango de 1,5 – 5 años.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Airtech, Dinamarca.



**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002], [63, Vito, 2003], [76, TWG, 2004] [146, CEI-BOIS, 2006]

## 17.4.6 Secado

### 17.4.6.1 Secado por convección

Para una descripción general, véase la sección 20.8.1.1. Esta técnica se aplica comúnmente en el recubrimiento de madera y de mobiliario. El secado de madera o materiales sintéticos es limitado.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003]

### 17.4.6.2 Secador de microondas

**Descripción:** Para una descripción general, véase la sección 20.8.1.4.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Una asociación nacional de industrias ha informado de que no existen muchos ejemplos de uso de recubrimientos de base acuosa en la industria de mobiliario.

**Aplicabilidad:** Un secador de microondas no es adecuado para piezas gruesas (> 20 cm). Esta técnica no es de uso común en Europa.

**Aspectos económicos:** Los costes de una instalación (sin la conexión, etc.) se encuentran entre 55 000 – 100 000 EUR (12 kW).

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Una instalación experimental en Noruega. El consumo de energía se estima un 10 – 30 % superior frente a técnicas tradicionales (IR, aire caliente).

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [146, CEI-BOIS, 2006] [147, Presti, 2005]

### 17.4.6.3 Secadores de alta frecuencia

Para una descripción general, véase la sección 20.8.1.4. Debido a la rápida evaporación del agua, el ratinado de las fibras de madera y la cantidad de polvo desprendido se reducen significativamente. Una asociación nacional de industrias ha registrado que no existen muchos ejemplos de uso de productos de base acuosa en la industria de mobiliario. El acabado de los paneles se lleva a cabo con productos de curado por radiación UV, que requieren otros tipos de secadores.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

### 17.4.6.4 Curado con radiación infrarroja

Para una descripción general, véase la sección 20.8.2.1. Esta técnica se aplica en combinación con secadores de aire circulante. La radiación infrarroja puede alterar la madera.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

#### **17.4.6.5 Curado por radiación en el infrarrojo cercano**

Para una descripción general, véase la sección 20.8.2.2. Esta técnica es de aplicación común porque resulta muy adecuada para materiales sensibles al calor, tales como la madera, debido a tiempos de curado muy breves (1 – 5 segundos). Los recubrimientos en polvo normalmente se curan aplicando el curado NIR, al igual que para pinturas de base acuosa, sobre madera. En lo que al recubrimiento de madera se refiere, la técnica NIR consigue los tiempos más cortos de secado y de ciclo.

[13, DFIU e IFARE, 2002]

#### **17.4.6.6 Radiación ultravioleta (UV)**

Para una descripción general, véase la sección 20.8.2.3. Esta técnica es ampliamente utilizada para secar mobiliario pintado, especialmente piezas planas. Los sustratos de plástico o de madera pueden amarillear y volverse frágiles. También existe una técnica comercial para curar recubrimientos UV en 3D. Véase la sección 17.4.3.3.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003]

#### **17.4.6.7 Curado con haz de electrones**

Para una descripción general, véase la sección 20.8.2.4. Esta técnica requiere una sustancia de recubrimiento especial y libre de disolventes. Debido a los elevados costos de inversión, esta técnica actualmente sólo se aplica para grandes volúmenes de producción de superficies.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [107, VDI, 2005]

#### **17.4.6.8 Secado por convección/radiación combinado (reactor térmico)**

Para una descripción general, véase la sección 20.8.3. Esta técnica se aplica en el recubrimiento de madera. El sustrato recubierto debe ser resistente al calor.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

### **17.4.7 Tratamiento de gases residuales**

#### **17.4.7.1 Sistemas de filtro seco**

Para una descripción general, véase la sección 20.11.3.6. Los filtros supresores de pintura y los filtros de papel son de uso común en la industria de la madera y del mobiliario. Utilizando esta técnica, se consiguen valores de emisión de partículas de  $10 \text{ mg/m}^3$  o inferiores. A este nivel, los filtros necesitan ser reemplazados y se desechan como residuos, por lo menos, a días alternos, con el consiguiente impacto sobre los costes y sobre el medio.

[63, Vito, 2003] [189, CEI-BOIS, 2006]

#### **17.4.7.2 Filtro electrostático**

Para una descripción general, véase la sección 20.11.3.7. Se utilizan cabinas de pulverización. Sin embargo, no existe información sobre de qué modo se tratan las aguas ni los gases residuales. A veces se considera que esta técnica no es rentable para este sector.

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

### 17.4.7.3 Separación de partículas por efecto Venturi

Para una descripción general, véase la sección 20.11.3.5. Se utilizan cabinas de pulverización con separación húmeda. Sin embargo, no existe información sobre de qué modo se tratan las aguas ni los gases residuales. A veces se considera que esta técnica no es rentable para este sector. [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

### 17.4.7.4 Lavador

*Para una descripción general, véase la sección 20.11.3.8. Se utilizan cabinas de pulverización con separación húmeda. Sin embargo, no existe información sobre de qué modo se tratan las aguas ni los gases residuales. Se consiguen valores de emisión de partículas de  $10 \text{ g/m}^3$  o inferiores, aunque esta técnica a veces se considera no rentable para este sector. [63, Vito, 2003] [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [189, CEI-BOIS, 2006]*

### 17.4.7.5 Tratamiento biológico

Para una descripción general, véase la sección 20.11.8. En Alemania, sólo una planta está equipada con un sistema de biofiltración para la reducción de los olores. [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 17.4.7.6 Oxidación térmica

Para una descripción general, véase la sección 20.11.4. Aunque teóricamente aplicable, esta técnica no se aplica actualmente.

Esta técnica puede ser considerada no viable económicamente cuando las concentraciones de COV son reducidas o los flujos de gases son elevados, debido a los altos costes de inversión y de operación (entrada de calor adicional, consumo eléctrico de los ventiladores). Muchas compañías que trabajan alrededor de la madera trabajan discontinuamente operando en uno o dos turnos. Esto dificulta el establecimiento de condiciones estacionarias, puesto que la inercia térmica tras el enfriamiento reduce la eficiencia térmica, y algunas instalaciones disponen de un complejo equipo de control de procesos que necesita tiempo para estabilizarse tras el arranque o ajuste. Además, las concentraciones de COV en el flujo de gases de salida puede ser bastante irregular durante un turno.

Sin embargo, se puede considerar en los casos en que no hay alternativas al uso de recubrimientos con un alto contenido de disolventes. La simple oxidación térmica es adecuada para uso intermitente y flujos  $< 2000 \text{ m}^3/\text{h}$ , aunque las concentraciones variables de COV pueden ser un problema (véase el anexo 24.9). [13, DFIU e IFARE, 2002] [147, Presti, 2005]

### 17.4.7.7 Oxidación UV

Para una descripción general, véase la sección 20.11.4.7. Los datos reportados son aplicables al pintado de madera y de mobiliario al utilizar pinturas de base disolvente. Sin embargo, esta técnica no se aplica actualmente en este sector. Tampoco es aplicable en el recubrimiento de chapas. A veces se considera que esta técnica no es rentable para este sector. [35, Aminal, et al., 2002] [13, DFIU e IFARE, 2002] [60, ESIG, 2000] [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004]

## **17.4.8 Tratamiento de aguas residuales**

### **17.4.8.1 Tratamiento de aguas residuales para cabinas de pulverización de pintura con separación húmeda**

Véase la sección 20.7.4.1. La sección 20.12 describe las opciones de tratamiento.

### **17.4.8.2 Ultra y nanofiltración**

Para una descripción general, véase la sección 20.12.6. Se utilizan cabinas de pulverización con separación húmeda y se equipan con una unidad de ultrafiltración para separar y recuperar el material de pintura. A veces se considera que esta técnica no es rentable para este sector. [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

## **17.4.9 Tratamiento de residuos**

### **17.4.9.1 Recuperación de disolventes usados por destilación**

Para una descripción general, véanse las secciones 20.13.1 y 20.13.2.2. La recuperación de los agentes lavadores es de uso común, p. ej. en el recubrimiento de mobiliario de madera para cocinas y baños.

[4, Intergraf y EGF, 1999] [13, DFIU e IFARE, 2002] [62, CITEPA, 2003] [68, ACEA, 2004]

## **18 CONSERVACIÓN DE LA MADERA**

[108, DFIU e IFARE, 1999] [109, Agencia Europea de Medio Ambiente, 2001] [128, TWG, 2005] [140, EGTEI, 2005]

### **18.1 Información general sobre la conservación de la madera**

Esta sección analiza los procesos industriales para la conservación de madera con conservantes de base disolvente, creosota o conservantes libres de disolventes. La madera se somete a este proceso para protegerla de ataques de hongos e insectos y también de los efectos de la intemperie. La industria de la conservación de la madera es una gran industria, con 11,5 millones de m<sup>3</sup> de madera tratados anualmente tan sólo en la Unión Europea.

El sector se caracteriza por un gran número de plantas relativamente pequeñas. Se ha estimado que 1000 instalaciones están involucradas en el tratamiento de madera en UE-15. Se ha registrado que un 68 % de las plantas utilizan menos de 25 t/a de disolventes.

### **18.2 Procesos y técnicas aplicados en la conservación de la madera**

La aplicación del conservante puede llevarse a cabo mediante procesos a vacío, procesos a presión, inmersión, pulverización o aplicación a brocha. El proceso a vacío puede variar ligeramente, según el conservante utilizado. Véase la Figura 18 y la sección 18.4.3 a continuación.

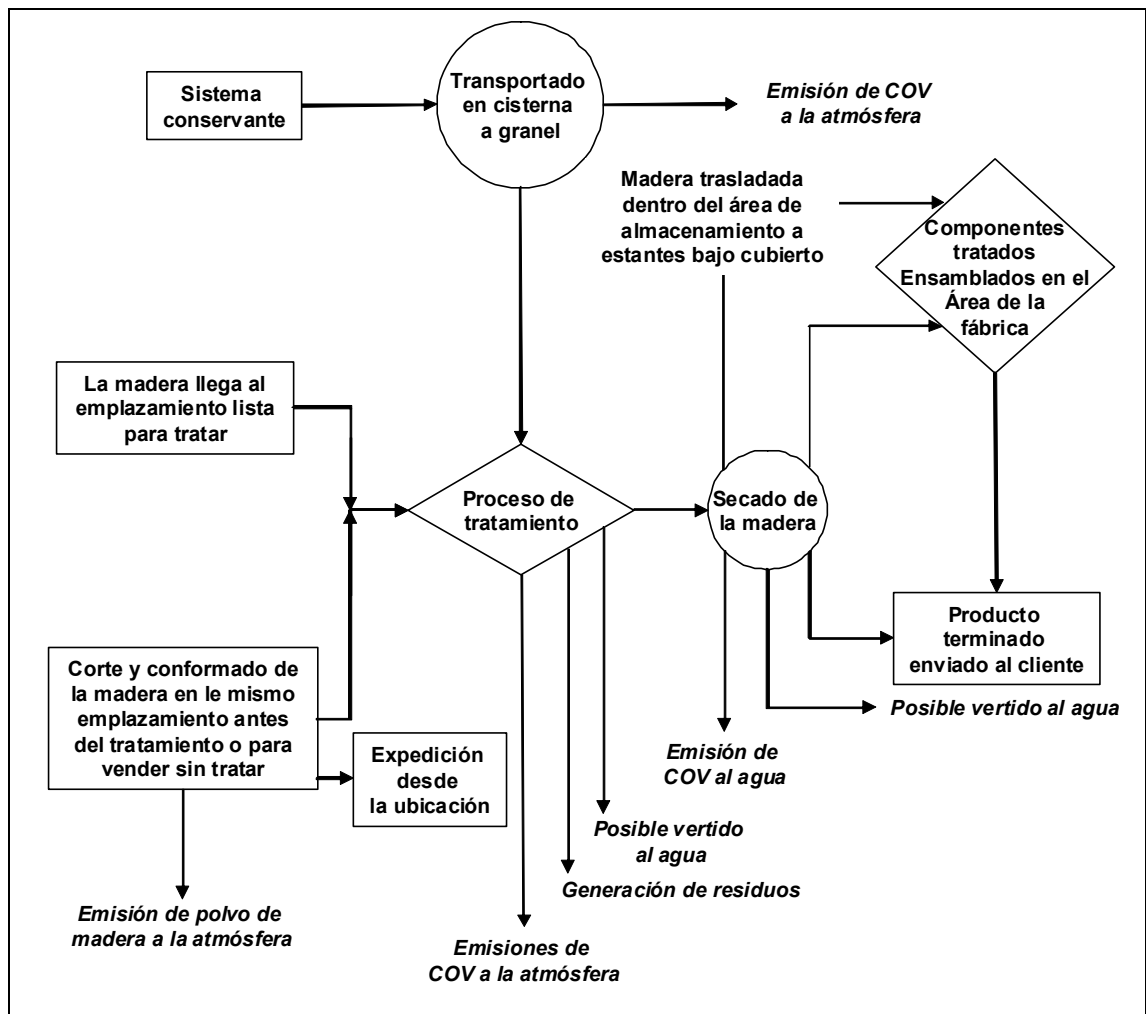


Figura 18.1: Diagrama de flujo de una instalación típica de conservación de madera mostrando los consumos y emisiones [149, UKDEFRA, 2004]

### 18.3 Niveles actuales de consumo y de emisión en la conservación de madera

#### 18.3.1 Balances de masa

No hay datos disponibles.

#### 18.3.2 Consumos

##### 18.3.2.1 Materiales

Cada  $m^3$  de madera requiere 20 kg de conservantes de base disolvente orgánicos, generalmente white spirit y otros hidrocarburos de base de petróleo. Éstos consisten en alrededor del 90 % en peso de COV.

Para la conservación de  $1 m^3$  de madera, se necesitan un promedio de 100 kg de creosota. La creosota contiene un 20 % en peso de COV y se ha registrado un consumo de alrededor de 100 – 600  $l/m^3$  (dependiendo de la eficiencia del método de conservación utilizado).

La densidad promedio de la madera comúnmente tratada es de alrededor 500 – 600 kg/m<sup>3</sup> (con variación entre 370 y 930 kg/m<sup>3</sup>) aunque a menudo se asume que es de 1 kg/m<sup>3</sup> para simplificar ([www.simetric.co.uk/si\\_wood.htm](http://www.simetric.co.uk/si_wood.htm))

En lo que a pesticidas en sistemas de conservación se refiere, véase Emisiones, sección 18.3.3 a continuación. Se pueden encontrar otras referencias en las que identifican los pesticidas y sistemas individuales [150, UKHSE, 2006].

### 18.3.2.2 Agua

No hay datos disponibles.

### 18.3.2.3 Energía

No hay datos disponibles.

## 18.3.3 Emisiones

### 18.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

La fuente principal de emisiones es el contenido de disolventes de las sustancias aplicadas. Las emisiones fugitivas y contenidas se pueden reducir con la ayuda de equipos de depuración. Los disolventes que permanecen en la madera tras el secado completo se evaporan a lo largo de períodos de tiempo más prolongados. Las emisiones fugitivas se producen durante las fases de manipulación, aplicación y secado. Sin embargo, la mayoría de las emisiones se producen durante el proceso de secado.

En el ámbito de la UE-25 en el año 2000 (de acuerdo con el modelo RAINS), las emisiones de COV no metánicos fueron de 54,9 kt, representando un 0,5 % del total de emisiones de COV no metánicos (la emisión total de emisiones en la UE-15 en 1990 fue de 47,5 kt/a en 1990) La actividad total del sector fue de 11,5 millones de m<sup>3</sup>, y promedio de emisiones de 4,8 kg COV no metánicos/m<sup>3</sup>, lo cual significa que las emisiones procedentes de este sector ya son parcialmente depuradas en la UE-25 (siendo el factor de emisiones sin depuración de 19,8 kg/m<sup>3</sup>, Tabla 18.1). La contribución al total de emisiones de COV de la UE-15 varía significativamente entre países.

Los procesos que utilizan conservantes de base disolvente probablemente necesitarán tratamiento con técnicas previas a la emisión para cumplir con los requerimientos de SED. Es posible tomar dos medidas secundarias: oxidación térmica y adsorción con carbono [140, EGTEI, 2005].

Las opciones para reducir las emisiones de COV mediante medidas primarias (en el proceso) y secundarias (previas a la emisión) se han estimado en el ámbito europeo. Los datos se han extraído de la gran instalación de referencia de EGTEI [140, EGTEI, 2005]:

- volumen de madera a tratar: 5000 m<sup>3</sup>/a
- aportación de disolventes: 99 t/a
- horas a plena carga: 6000 h/a
- caudal: 22 200 m<sup>3</sup>/h.

Es muy poco probable que la conservación de madera sea una fuente significativa de emisión de metales pesados a la atmósfera.



PMC Código de medida primario véase la Tabla 18.2	SMC Código secundario de medida Véase la Tabla 18.3	COV no metánicos EF (kg/m <sup>3</sup> )	Eficiencia de la depuración (%)	Inversión (kEUR)	Costes variables de operación (kEUR/a)	Costes fijos de operación (kEUR/a)	Coste por unidad (EUR/t de COV depurada)	Coste unitario (EUR/m <sup>3</sup> )
00	00	19,80	0,0	0,0	0,0	-	-	0,0
00	01	7,30	63,1	1040,8	75,0	52,2	4114	51,1
00	02	7,30	63,1	494,5	21,4	24,7	1019	21,4
01	00	16,60	16,2	87,0	-11,5	-	-320	-1,0
01	01	6,10	69,2	1055,5	55,4	48,4	3293	45,9
01	02	6,10	69,2	542,9	8,4	22,8	827	18,8
02	00	11,00	44,4	102,0	-22,7	-	-346	-3,0
03	00	0,25	98,7	3,0	28,0	-	289	5,6
04	00	0,15	99,2	90,0	-12,0	-	-55	-1,1

**Tabla 18.1: Factores de emisión (EF) predeterminados procedentes de la conservación de madera, eficiencias de purificación y costes para cada combinación [140, EGTEI, 2005]**

Código de medida primario PMC	Descripción
00	Conservantes 100 % de base disolvente técnicas convencionales de aplicación (inmersión, aplicación a brocha, pulverización)
01	Conservantes 100 % de base disolvente técnica de aplicación mejorada (sistema de conservación al vacío)
02	Optimización del proceso 100 % de conservantes más concentrados de base disolvente técnica de aplicación mejorada (sistema de conservación al vacío)
03	Conservantes 100 % de base acuosa técnicas convencionales de aplicación (inmersión, aplicación a brocha, pulverización)
04	Conservantes 100 % de base acuosa técnica de aplicación mejorada (sistema de conservación al vacío)

**Tabla 18.2: Conservación de madera: medidas primarias de depuración [140, EGTEI, 2005]**

Código de medida secundario SMC	Descripción
00	No hay medidas secundarias
01	Oxidación térmica (véase la sección 20.11)
02	Adsorción y recuperación de disolventes (véase la sección 20.11)

**Tabla 18.3: Conservación de madera: Medidas secundarias de depuración [140, EGTEI, 2005]**

### 18.3.3.2 Emisiones al agua, suelo y aguas subterráneas

Los conservantes aplicados en este sector son ecotóxicos por naturaleza. El sector tiene un historial de utilización de POPs o PBT. Este sector ha sido una fuente significativa de algunos POP, tales como PAH y PCP. Las emisiones de PAH procedentes de la creosota utilizada son importantes. En el año 1999 se reportó que la conservación de la madera contribuía con el 30 % del total de emisiones de POP de la UE-15 [151, EEA, 1999] [150, UKHSE, 2006].

Mientras el uso y emisión de estas sustancias se ha reducido debido a la creciente legislación y a los cambios en el sector, sustancias tales como la creosota, el tributilo de estaño, el tricromato de sodio y el óxido de cromo (cromo hexavalente), óxido de arsénico, sales de cobre, etc., todavía se utilizan (algunas fueron prohibidas en el año 2006). Se puede encontrar más información en las referencias.

El cambio hacia sustancias menos perjudiciales para la salud humana (durante la manufactura y durante la aplicación) han llevado al uso de sustancias tales como las perimetrinas. Éstas pueden presentar una elevada toxicidad acuática.

Las emisiones de conservantes de madera de metales pesados al suelo y al agua podrían ser importantes (arsénico, zinc, cobre, estaño); véase arriba.

### **18.3.3.3 Residuos**

No hay datos disponibles.

## **18.4 Técnicas a tener en cuenta en la determinación de la MTD para la protección de madera**

En el capítulo 20, se analizan técnicas que también podrían ser aplicables a la protección de madera. En la sección 20.7, se analizan técnicas relacionadas con la aplicación de pinturas. Estas técnicas también pueden ser aplicables a la protección de madera. En la Tabla 18.4, se muestran las técnicas generales relevantes para la protección de madera descritas en el capítulo 20 o sección 20.7. Estas técnicas no se repiten en esta sección, a menos que haya disponible información específica para este sector. En Tabla 20.1 se describe el tipo de información tenida en cuenta para cada técnica.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

**Tabla 18.4: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector**

La hoja de resumen EGTEI para la conservación de madera (véase la sección 18.3.3.1 y el anexo 24.1.1) proporciona algunos datos sobre el coste-beneficio de algunas técnicas para reducir las emisiones COV en el ámbito europeo [141, EGTEI, 2005].

#### 18.4.1 Conservantes de base disolvente convencionales

**Descripción:** Los sistemas tradicionales de conservantes consisten en aproximadamente un 10 % de ingredientes activos y un 90 % de disolventes orgánicos, normalmente white spirit u otros hidrocarburos de base de petróleo. Los ingredientes activos incluyen insecticidas y fungicidas, p. ej. dinitrofenol, pentaclorofenol, cloronaftalenos, clorobencenos, lindano, dieldrina, compuestos organofosforados y carbamatos, y naftenatos de cobre/zinc.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Ecotoxicidad de los conservantes. Algunos de los que han sido (o son) utilizados son POP, otros son los PBT.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** Véase la Tabla 18.1

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [108, DFIU e IFARE, 1999] [109, Agencia Europea de Medio Ambiente, 2001]

## 18.4.2 Reemplazo de los conservantes de base disolvente (sustitución)

### 18.4.2.1 Creosota

**Descripción:** La creosota es un aceite preparado a partir de la destilación del alquitrán de hulla. Aproximadamente un 10 % de la creosota utilizada para la conservación de madera se compone de COV. Está siendo gradualmente reemplazada por alternativas de base acuosa.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Emisiones de COV reducidas en comparación con los conservantes convencionales de base disolvente.

**Efectos cruzados:** La creosota contiene niveles significativos de PAH y está sujeta a otros controles.

**Información operativa:** En instalaciones industriales, la madera se introduce en una cámara que puede ser presurizada con aire. La cámara se inunda con creosota caliente durante de una a tres horas. Después del drenado, se aspira para retirar el exceso de creosota. La madera se deja secar al aire libre.

**Aplicabilidad:** La creosota es uno de los tipos más antiguos de conservantes para madera y se utiliza para aplicaciones en el exterior.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [108, DFIU e IFARE, 1999] [109, Agencia Europea de Medio Ambiente, 2001]

### 18.4.2.2 Sistemas de pesticidas concentrados

**Descripción:** Es posible utilizar soluciones de base disolvente con mayores concentraciones de pesticidas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El ritmo de aplicación es mayor para una misma cantidad de disolvente y de energía utilizada en los ciclos de proceso. Véase la Tabla 18.1.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** Véase la Tabla 18.1.

**Motivo principal para su aplicación:** SED

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [140, EGTEI, 2005]

### 18.4.2.3 Conservantes de base acuosa

**Descripción:** Los conservantes de base acuosa consisten en soluciones de sales en agua. Las de cobre, cromo y arsénico son las más ampliamente utilizadas. Se aplican del mismo modo que la creosota. Actualmente, los sistemas más recientes utilizan pesticidas orgánicos con menor toxicidad, a veces en combinación con uno o más metales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La reducción estimada promedia de las emisiones de COV es del 99,2 %. Véase la Tabla 18.1.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** Véase la Tabla 18.1.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [108, DFIU e IFARE, 1999] [109, Agencia Europea de Medio Ambiente, 2001] [140, EGTEI, 2005] [150, UKHSE, 2006]

### 18.4.3 Sistemas de aplicación

La aplicación del conservante puede llevarse a cabo mediante procesos a vacío, procesos a presión, inmersión, pulverización o aplicación a brocha. El proceso al vacío puede variar ligeramente, dependiendo del conservante utilizado. La eficiencia de aplicación del pesticida mediante inmersión y aplicación con brocha es cercana al 90 %, y utilizando el proceso a vacío totalmente estanco es cercana al 100 %. La pulverización tiene una eficiencia mucho menor, del 10 – 50 %. [108, DFIU e IFARE, 1999] [109, Agencia Europea de Medio Ambiente, 2001]

#### 18.4.3.1 Aplicación al vacío

**Descripción:** Véase Figura 18.1. En instalaciones industriales se utiliza comúnmente el proceso de doble vacío (o vacío a baja presión). Una planta de tratamiento consta de tres tanques. El tanque de tratamiento incorpora un sistema de carga para permitir que los paquetes de madera puedan entrar y salir, manual o automáticamente. La puerta del tanque de tratamiento incorpora dispositivos de seguridad para impedir que el proceso se inicie antes de que la puerta esté totalmente cerrada y bloqueada y para evitar que se abra antes de que se haya retirado todo el conservante. Normalmente existen dos tanques de almacenamiento; uno es el tanque de trabajo que contiene el conservante para inundar el tanque de tratamiento, y el otro el tanque de carga que se utiliza para introducir conservante nuevo y rellenar el tanque de trabajo.

Existen seis etapas principales:

(1) Vacío inicial - se utiliza un vacío inicial para extraer el aire de la madera. La duración de este período de vacío y el nivel utilizado dependen de la especificación que se siga. La cantidad de aire retirado afectará a la absorción y la penetración del conservante. Para controlar la retención, algunos procesos se ejecutan sin aplicar un vacío inicial.

(2) Inundación - la solución de conservante se transfiere del tanque de trabajo al tanque de tratamiento. Si se utiliza, se mantiene el vacío durante la transferencia para no desperdiciar su efecto.

(3) Período de presión – en cuanto el tanque de tratamiento está lleno, se elimina el vacío y se vuelve a la presión atmosférica. La madera se mantiene en el conservante durante un período de tiempo o, si la especificación lo requiere, se aplica una ligera presión positiva durante este tiempo.

(4) Drenaje inicial – al final del período de presión, el conservante se devuelve al tanque de trabajo.

(5) Vacío final – se aplica un vacío final a la madera tanto para eliminar cualquier exceso de conservante de la capa superficial de la madera como para reducir el goteo de la madera tratada al final del proceso. A medida que se elimina este vacío, se introduce aire de nuevo en el tanque y sobre las células superficiales de la madera, llevando con él parte del fluido conservante residual presente sobre la superficie de la madera.

(6) Drenaje final – durante el vacío final, el conservante recogido del tanque de tratamiento se bombea de vuelta al tanque de trabajo. Antes de que la madera sea retirada del tanque, se introduce aire limpio a través del tanque para eliminar el vapor de disolvente del área de trabajo alrededor de la puerta para minimizar la exposición del operario.

La madera se carga sobre carros en pendiente para permitir que salga tan seca como sea posible del proceso de tratamiento y el tanque de tratamiento se rellena con madera a la máxima capacidad siempre que sea practicable. Alrededor del 15 – 25 % del disolvente permanece en la madera. Una gran parte de este disolvente residual probablemente se evapora a lo largo de la vida del producto.

Las emisiones de COV se producen al transferir conservante del camión cisterna de aprovisionamiento al tanque de carga, de un tanque a otro, en los sistemas de bombas de vacío, y de la propia madera tratada. En los casos en que pueda haber gotas presentes en el aire, tal como sucede con algunos sistemas de vacío, el aire se pasa primero a través de un sistema de filtrado por coalescencia. Todas las emisiones de la planta se ventilan hacia el exterior del edificio de proceso.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Es posible alcanzar una eficiencia de aplicación cercana al 100 % del sistema conservante.

**Efectos cruzados:** Con sistemas con disolventes y sin medidas adicionales, la emisión de COV es todavía aproximadamente de 19,8 kg/m<sup>3</sup>.

**Información operativa:** Véase descripción.

**Aplicabilidad:** Ampliamente usada.

**Aspectos económicos:** Véase la Tabla 18.1.

**Motivo principal para su aplicación:** Es económico para una aplicación a gran escala. Véase la Tabla 18.1.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [140, EGTEI, 2005] [149, UKDEFRA, 2004]

#### 18.4.4 Tratamiento de gases residuales

**Descripción:** Las emisiones pueden ser reducidas aplicando un plan de gestión de disolventes (véase la sección 20.3.1), confinando el proceso donde sea posible de modo que el aire pueda ser extraído a través de equipos de depuración (véase la sección 18.3.3 más arriba) y utilizando recubrimientos alternativos con bajo contenido en disolventes (véase la sección 18.4.2.3). Los

gases residuales extraídos pueden ser tratados. La sección 20.11 describe distintas técnicas de tratamiento de gases residuales que pueden ser aplicadas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Con estas medidas es posible alcanzar una reducción del 70 % de las emisiones.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Los datos de EGTEI analizan el uso de dos tipos de tratamiento de gases residuales: oxidación térmica, adsorción con recuperación de disolventes. No está claro si la recuperación en este caso se realiza en la propia ubicación o en otra. La adsorción en cartuchos con la recuperación o eliminación fuera de la ubicación también puede ser tenida en cuenta.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** En grandes plantas de conservación de madera, se lleva a cabo el tratamiento de las emisiones. En plantas más pequeñas, el equipo de depuración puede no ser económicamente viable. Véase la Tabla 18.1

La absorción de disolventes con la recuperación o eliminación de los cartuchos de absorción fuera de la ubicación puede ser la opción más viable.

**Motivo principal para su aplicación:** SED.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [108, DFIU e IFARE, 1999] [109, Agencia Europea de Medio Ambiente, 2001] [140, EGTEI, 2005]



## 19 FABRICACIÓN DE ESPEJOS

[61, GEPVP, et al., 2004]

### 19.1 Información general sobre la fabricación de espejos

La principal fabricación de espejos se lleva a cabo normalmente en grandes corporaciones multinacionales, en plantas con capacidades de más de 2 millones de m<sup>2</sup>/a. Las mayores instalaciones se encuentran en Alemania, Francia, España, Italia, Bélgica, Polonia, el Reino Unido, Luxemburgo y la República Checa. También existen algunos productores pequeños.

La demanda total de espejos en Europa se estima en 40 millones de m<sup>2</sup>/a. Esto da lugar a un consumo anual de disolventes del rango de 2000 – 3600 toneladas. Las aplicaciones generales de los espejos en Europa son:

- espejos para baño,
- espejos para mobiliario,
- usos arquitectónicos, p. ej. recubrimiento de paredes,
- aplicaciones en automoción.

El consumo específico, esto es, horario, de cada instalación depende de la superficie de los espejos producidos. Las líneas más grandes pueden producir espejos de 6 por 3,2 m, esto es, 19 m<sup>2</sup>. La fabricación de espejos es un proceso continuo. La velocidad de la línea también afecta los ritmos de consumo horario. Así, algunas líneas superan el límite anual y horario de consumo, mientras otras sólo superan el límite anual.

Se estima que el número de líneas existentes en Europa es de entre 15 y 20. Normalmente, el número de empleados ocupados en una línea de espejos es reducido, aunque la mayoría de las líneas forman parte de grandes compañías manufactureras.

### 19.2 Procesos y técnicas aplicados en la fabricación de espejos

La línea de proceso está diseñada como un proceso continuo. La lámina de vidrio reposa sobre una gran transportadora que traslada el espejo a través de las distintas etapas de fabricación. Las transportadoras son de hasta 3,5 m de anchura y de más de 150 m de largo para permitir la fabricación de espejos de gran tamaño. Típicamente, los espejos consisten en un panel de vidrio recubierto por una capa metálica reflectora que se protege mediante uno o más recubrimientos de pintura. Después del recubrimiento con pintura, el espejo atraviesa un horno de secado. La Figura 19.1, resume los distintos pasos de fabricación de espejos. Éstos se describen en detalle en las secciones siguientes.

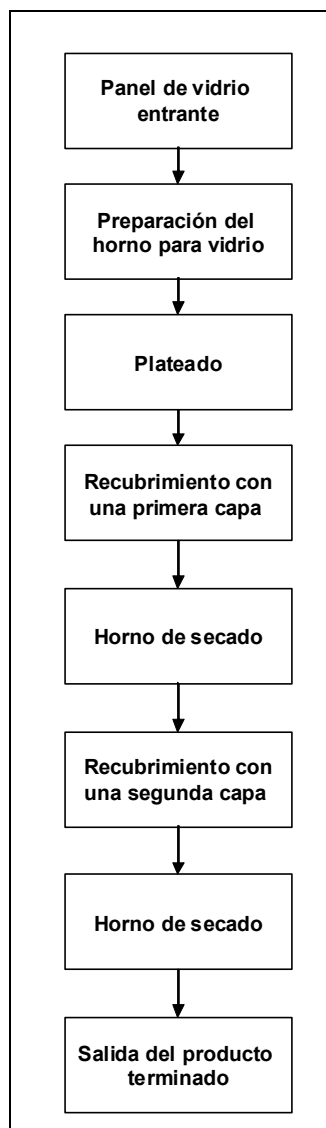


Figura 19.1: Diagrama de flujo de la fabricación de espejos [61, GEPVP, et al., 2004]

### 19.2.1 Panel de vidrio de partida

El vidrio generalmente llega a la factoría de espejos en camiones. A continuación, se almacena en bandejas y se descarga sobre la línea de espejos utilizando ventosas neumáticas. En esta fase no se utilizan disolventes.

### 19.2.2 Preparación de la superficie del vidrio

La preparación de la superficie del vidrio consiste en un pulido ligero utilizando líquido abrasivo de base acuosa. En esta fase no se utilizan disolventes. El agua residual se trata y el sedimento se recupera para su eliminación.

### 19.2.3 Plateado

La capa metálica reflectora generalmente está hecha de plata, que es sensible a la corrosión. Se puede encontrar una descripción del proceso de plateado en el BREF STM [59, EIPPCB, 2006].

Actualmente, la mayoría de los fabricantes utilizan el proceso con estaño en lugar del proceso con cobre para fijar la capa de plata. En esta fase no se utilizan disolventes.

#### **19.2.4 Recubrimiento de pintura**

El vidrio se hace pasar a través de una cortina laminar de pintura, que cae continuamente de una estructura en forma de rebosadero que permite el paso de las piezas a través de ésta. El exceso de material de recubrimiento se reutiliza constantemente, pero se le añade disolvente adicional para garantizar una viscosidad adecuada para su aplicación. La pintura utilizada se basa en disolventes y contiene un 30 – 40 % en peso de disolventes. El consumo de pintura es de 150 a 200 g/m<sup>2</sup>. El grosor total del recubrimiento o recubrimientos de pintura una vez secos está en el intervalo de 40 a 70  $\mu$ .

#### **19.2.5 Secado**

Tras el recubrimiento con pintura, el espejo se lleva al horno de secado donde se evapora el disolvente y se seca la pintura permitiendo su polimerización. El secado se promueve calentando el producto mediante radiación infrarroja con o sin calor de convección.

#### **19.2.6 Salida del producto acabado**

Al final de la línea, el espejo se descarga utilizando ventosas neumáticas y se apila en bandejas. En esta fase no se utilizan disolventes.

### **19.3 Niveles de consumo y de emisión actuales en la fabricación de espejos**

#### **19.3.1 Balances de masa**

No hay datos disponibles.

#### **19.3.2 Consumos**

##### **19.3.2.1 Materiales**

Las cantidades totales de disolventes consumidos suman de 50 – 90 g/m<sup>2</sup>, según el tipo de producto fabricado. También se utiliza algún disolvente para la limpieza. El disolvente utilizado es xileno.

La mayor proporción de disolvente se utiliza para ajustar la viscosidad de la pintura y se aplica sobre el producto. Una pequeña cantidad se utiliza para limpiar, esto es < 10 %. Cuando este disolvente no está contaminado, se añade al disolvente utilizado para ajustar la viscosidad de la pintura.

Normalmente, se espera que el 100 % del vidrio utilizado como material de entrada se transforme en espejo. Sólo se producen pérdidas accidentales de vidrio (p. ej. a causa de problemas de calidad). En la mayoría de los casos, el vidrio/espejo rechazado se recicla.

### 19.3.2.2 Agua

El consumo de agua se encuentra en el intervalo de 15 a 30 l/m<sup>2</sup>.

### 19.3.2.3 Energía

No hay datos disponibles.

## 19.3.3 Emisiones

### 19.3.3.1 Emisiones a la atmósfera

El contenido de disolventes en el gas limpio se puede reducir a < 50 mg C/Nm<sup>3</sup> cuando se utiliza equipo de depuración. En instalaciones nuevas se pueden alcanzar valores inferiores. En instalaciones existentes, debido al desgaste de las partes móviles (p. ej. válvulas), los niveles de emisión aumentan. La naturaleza de los disolventes utilizados también puede tener un impacto sobre el nivel de reducción alcanzable. La Tabla 19, muestra los valores de emisión a la atmósfera medidos en tres instalaciones distintas.

Línea	C (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )
1	57 (rango 20 – 100)	65	43
2	16	120	< 25
3	55	98	41

Tabla 19.1: Valores de emisiones al aire procedentes de tres líneas distintas de espejos

En una planta con buenas prácticas, las áreas donde se utilizan disolventes están cerradas y se extrae el aire que contiene el disolvente. El 97,4 % del disolvente se trata y se destruye. El resto, un 2,6 %, se libera a la atmósfera porque su concentración es demasiado baja como para ser tratada.

### 19.3.3.2 Emisiones al agua

Puesto que no se produce ningún contacto entre el agua y el disolvente en ningún punto del proceso, las aguas residuales no contienen disolventes.

El agua se utiliza para la preparación de la superficie y para la aplicación de las capas de estaño (o cobre) y plata (véase BREF STM). De este modo, el tratamiento con agua es necesario para eliminar contaminantes y para garantizar el reciclado de la plata. Se utilizan las técnicas convencionales. Por ejemplo, cuando se emplea cobre en lugar de estaño, se utiliza el intercambio iónico y la separación del amoníaco para eliminar el cobre del agua residual. La Tabla 19.2, muestra los valores de emisión en agua tras el tratamiento.

Componente	Valor (mg/l)
NH <sub>3</sub>	100
Ag	0,5
Cu	4
Ce	5

Tabla 19.2: Valores de emisión en agua tras el tratamiento

### 19.3.3.3 Residuos

Los residuos que contienen disolventes consisten principalmente en paños procedentes de la limpieza y el disolvente utilizado conteniendo algo de pintura. Su gestión y eliminación vienen dictados por su composición y pueden ser necesarias medidas específicas debido a su contenido en disolventes. Cuando no contiene contaminantes que puedan alterar la calidad del producto final, el disolvente utilizado se reutiliza para ajustar la viscosidad de la pintura. En la fabricación de espejos se utilizan comúnmente contenedores de pintura reutilizables o reciclables.

## 19.4 Técnicas a tener en cuenta en la determinación de la MTD para la fabricación de espejos

### 19.4.1 Técnicas generales en la fabricación de espejos

En el capítulo 20, se analizan técnicas que también podrían ser aplicables a la fabricación de espejos. En la sección 20.7, se analizan técnicas relacionadas con la aplicación de pinturas. Estas técnicas también pueden ser aplicables a la fabricación de espejos. En la Tabla 19.3 se muestran las técnicas generales relevantes para la fabricación de espejos descritas en el capítulo 20 o sección 20.7. Estas técnicas no se repiten en esta sección, a menos que haya disponible información específica para este sector. En la Tabla 20.1 se describe el tipo de información tenida en cuenta para cada técnica.

Técnica	Número de apartado
Herramientas de gestión ambiental	20.1.1
Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas	20.1.2
Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores	20.1.3
Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)	20.2
Control	20.3
Balances de masa de disolventes	20.3.1
Gestión del agua	20.4
Gestión de la energía	20.5
Gestión de materias primas	20.6
Procesos y equipos de recubrimiento	20.7
Secado o curado	20.8
Técnicas de limpieza	20.9
Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales	20.10
Depuración de gases residuales	20.11
Confinamiento y captación de los gases residuales	20.11.2
Oxidación	20.11.4
Condensación	20.11.5
Adsorción	20.11.6
Depuración de aguas residuales	20.12
Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente	20.13
Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso	20.13.1
Disminución, eliminación de polvo	20.14
Disminución, eliminación de olores	20.15
Reducción de ruido	20.16

Tabla 19.3: Referencia de las técnicas generalmente aplicables al sector

## 19.4.2 Reemplazo de las pinturas convencionales de base disolvente (sustitución)

### 19.4.2.1 Pinturas de alto contenido en sólidos

Para una descripción general, véase la sección 20.7.2.2 . La industria de los espejos ya utiliza este tipo de pinturas. El contenido de disolventes de la pintura es de entre 30 y 40 % en peso.

## 19.4.3 Técnicas y equipos de aplicación de pinturas

### 19.4.3.1 Recubrimiento en cortina

**Descripción:** Para una descripción general, véase la sección 20.7.3.2 . El vidrio se hace pasar a través de una cortina laminar de pintura, que cae continuamente de una estructura en forma de rebosadero que permite el paso de las piezas a través de ésta. Esto permite fabricar espejos de grandes dimensiones garantizando la calidad requerida en las capas equivalentes. El exceso de material de recubrimiento se reutiliza constantemente, pero se le añade disolvente adicional para garantizar una viscosidad adecuada para su aplicación.

La pintura utilizada se basa en disolventes y contiene un 30 – 40 % de disolventes. El consumo de pintura es de 150 a 200 g/m<sup>2</sup>. En el pasado, la pintura contenía grandes cantidades de plomo (hasta el 15 %). Actualmente, los nuevos desarrollos en la fabricación de espejos permiten al sector utilizar pinturas con un bajo contenido en plomo (< 0,5 %). En este tipo de pinturas no se utilizan cromatos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es ampliamente utilizada en grandes plantas de producción de espejos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [61, GEPVP, et al., 2004]

## 19.4.4 Secado

Se aplican las técnicas siguientes:

- curado por radiación infrarroja (véase la sección 20.8.2.1),
- reactor térmico (véase la sección 20.8.3),
- curado por radiación ultravioleta (UV) (véase la sección 20.8.2.3).

### 19.4.5 Tratamiento de gases residuales

**Descripción:** Las áreas donde se mezclan y aplican las pinturas sobre el espejo, son áreas confinadas y equipadas con un sistema de extracción de aire que envía las emisiones de disolvente hacia el equipo de tratamiento de gases residuales (véase la sección 20.11.2). Actualmente, es posible aplicar cualquier técnica de oxidación descrita en la sección 20.11.4.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Teniendo en cuenta la cantidad de disolvente por metro cúbico en el gas efluente, muchos fabricantes de espejos utilizan oxidadores térmicos regenerativos - sistemas de lechos múltiples (véanse las secciones 20.11.4.4 y 20.11.4.5). Puesto que el disolvente es principalmente xileno, se puede utilizar una baja temperatura de combustión (750 – 800 °C). Sólo se forman niveles bajos de NO<sub>x</sub>. Los oxidadores térmicos regenerativos son particularmente adecuados para plantas que trabajan continuamente, 24 horas al día, 7 días a la semana. Para plantas que trabajan, p. ej., sólo 8 horas al día y 5 días por semana, esta técnica puede no ser adecuada, puesto que la temperatura de la instalación se debe mantener durante las horas de no actividad. En este caso puede que otras técnicas de oxidación sean más adecuadas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [61, GEPVP, et al., 2004]





## 20 TÉCNICAS A TENER EN CUENTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS MTD APLICABLES EN TODOS LOS SECTORES

Este capítulo describe técnicas que generalmente se considera que tienen potencial para alcanzar un alto nivel de protección ambiental en las industrias objeto de este documento. Las técnicas a considerar para cada sector en particular se encuentran en la sección X.4, (donde X es el capítulo dedicado al sector en cuestión).

Se incluyen sistemas de gestión, técnicas integradas en el proceso y medidas previas a la emisión, pero al buscar los resultados óptimos se produce un cierto solapamiento entre estos tres elementos.

También se toman en consideración los procedimientos de prevención, control, minimización y reciclado, así como la reutilización de materiales y de energía.

Las técnicas pueden ser presentadas individualmente o como combinaciones (tanto en este capítulo como en las secciones relevantes X.4) para alcanzar los objetivos de IPPC. El anexo IV de la directiva lista un cierto número de consideraciones generales a tener en cuenta para determinar las MTD, y las técnicas presentes en este capítulo se referirán a una o más de estas consideraciones. En la medida de lo posible, se utiliza una estructura estándar para describir las líneas generales de cada técnica, para facilitar la comparación de técnicas y la valoración de un objetivo para la definición de MTD indicada en la directiva.

El contenido de las secciones de este capítulo y en las secciones X.4 no es una lista exhaustiva de técnicas. Pueden estar en desarrollo otras técnicas que puedan ser igualmente válidas en el marco de las MTD.

Generalmente, se utiliza una estructura estándar para describir los rasgos generales de cada técnica, tal como se muestra en la Tabla 20.1.

Tipo de información considerada	Tipo de información incluida
Descripción	Descripción técnica de la técnica
Beneficios ambientales obtenidos	Principales impactos ambientales a resolver mediante la aplicación de dicha técnica (proceso o purificación), incluyendo los valores de emisión alcanzados y su eficiencia y rendimiento. Beneficios ambientales de la técnica en comparación con otras
Efectos cruzados	Cualquier efecto colateral y desventajas ocasionadas por la implementación de la técnica. Detalles de los problemas ambientales que plantea la técnica en comparación con otras
Información operativa:	Datos de rendimiento relacionados con las emisiones/residuos y el consumo (materias primas, agua y energía). Cualquier otra información útil sobre cómo operar, mantener y controlar la técnica, incluyendo aspectos de seguridad, limitaciones operativas de la técnica, calidad del resultado, etc.
Aplicabilidad:	Consideración de los factores involucrados en la aplicación y actualización de la técnica (p. ej. disponibilidad de espacio, aspectos específicos del proceso)
Aspectos económicos	Información sobre costes (de inversión y de operación) y cualquier posible ahorro (p. ej. menor consumo de materias primas, cargos por residuos) también en relación con la capacidad de la técnica
Motivo principal para su aplicación	Motivos para la implementación de la técnica (p. ej. otra legislación, mejoras en la calidad de la producción)
Ejemplos de instalaciones	Referencia a una planta donde se ha registrado que se utiliza la técnica
Bibliografía de referencia	Literatura para información más detallada sobre la técnica

**Tabla 20.1: Desglose de la información acerca de cada técnica descrita en el capítulo 20 y en todas las secciones 4 de cada uno de los capítulos 2 a 19**

## 20.1 Técnicas de gestión ambiental

### 20.1.1 Herramientas de gestión ambiental

**Descripción:** El mayor rendimiento ambiental generalmente se consigue mediante la instalación de la mejor tecnología y su utilización de la forma más eficiente y eficaz posible. Así se reconoce en la definición de «técnicas» de la Directiva IPPC como «tanto la tecnología utilizada como la forma en que la instalación se diseña, construye, mantiene, utiliza y se desmantela».

En instalaciones IPPC un sistema de gestión ambiental (SGA) es una herramienta que los usuarios pueden utilizar para asumir este diseño, construcción, mantenimiento, utilización y desmantelamiento de forma sistemática y demostrable. Un SGA incluye la estructura organizativa, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar, incrementar, mantener, revisar y controlar la política ambiental. Los sistemas de gestión ambiental alcanzan su máxima efectividad y eficiencia cuando forman parte inherente de la gestión y operación global de una instalación.

En la Unión Europea, muchas organizaciones han decidido de forma voluntaria implementar sistemas de gestión ambiental basados en la norma EN ISO 14001:1996 o en el sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales EMAS. EMAS incluye los requerimientos acerca del sistema de gestión de la norma EN ISO 14001, pero pone énfasis adicional en el cumplimiento legal, rendimiento ambiental e implicación de los empleados. También requiere la verificación externa del sistema de gestión y la validación de una declaración ambiental pública (en EN ISO 14001 la declaración propia es una alternativa a la verificación externa). También hay muchas organizaciones que han decidido poner en marcha SGA no normalizados.

Mientras que ambos sistemas normalizados (EN ISO 14001:1996 y EMAS) y no normalizados («personalizados») en principio, en la *organización* como entidad, este documento utilizó una aproximación más cercana, al no incluir todas las actividades de la organización, por ejemplo, en relación con sus productos y servicios, debido a que la entidad regulada por la Directiva IPPC es la *instalación* (tal como se define en el artículo 2).

Un sistema de gestión ambiental (SGA) para una instalación IPPC puede contener los componentes siguientes:

- (1) definición de una política ambiental,
- (2) planificación y establecimiento de objetivos,
- (3) implementación y operación de procedimientos,
- (4) comprobación y acción correctiva,
- (5) revisión de la gestión,
- (6) preparación de una declaración ambiental regular,
- (7) validación por un cuerpo de certificación o verificador externo SGA,
- (8) consideraciones de diseño para el desmantelamiento de la planta al final de su vida útil
- (9) desarrollo de tecnologías más limpias,
- (10) evaluación comparativa.

Estas características se explican algo más detalladamente a continuación. Para información detallada acerca de los componentes (a) a (g), todos ellos incluidos en EMAS, se refiere al lector a la Bibliografía de referencia indicada más adelante.

#### (a) Definición de una política ambiental

La máxima dirección es responsable de definir una política ambiental para una instalación y garantizar que:

- es apropiada a la naturaleza, escala e impactos ambientales de las actividades,
- incluye un compromiso con la prevención y control de la contaminación,

- incluye un compromiso para cumplir toda la legislación y normativas ambientales relevantes aplicables y con otros requerimientos que suscriba la organización,
- proporciona el marco para establecer y revisar objetivos ambientales,
- está documentada y se comunica a todos los empleados,
- está disponible al público y todas las partes interesadas.

**(b) Planificación, es decir:**

- procedimientos para identificar los aspectos ambientales de la instalación, para determinar qué actividades tienen o pueden tener impacto significativo sobre el medio ambiente y para mantener esta información al día,
- procedimientos para identificar y disponer de acceso a requisitos legales y de otro tipo a los cuales se suscriba la organización y que sean aplicables a los aspectos ambientales de sus actividades,
- establecer y revisar los objetivos ambientales documentados tomando en consideración los requerimientos legales y de otro tipo y los puntos de vista de las partes interesadas,
- establecer y actualizar regularmente un programa de gestión ambiental, incluyendo la designación de responsabilidades para el alcance de objetivos en cada función y nivel relevante, así como los medios y el espacio de tiempo en los cuales se deben alcanzar.

**(c) Implementación y operación de procedimientos**

Es importante disponer de sistemas para garantizar que los procedimientos son conocidos, comprendidos y cumplidos. Es por ello que una gestión ambiental eficaz incluye:

**(i) Estructura y responsabilidad**

- roles, responsabilidades y autoridades de definición, documentación y comunicación, incluyendo la designación de un representante específico de la dirección,
- proporcionar los recursos esenciales para la implementación y control del sistema de gestión ambiental, incluyendo recursos humanos y conocimientos especializados, tecnología y recursos financieros.

**(ii) Formación, sensibilización y competencia**

- identificar las necesidades de formación para garantizar que todo el personal cuyo trabajo pueda afectar significativamente los impactos de la actividad sobre el medio ambiente haya recibido la formación adecuada.

**(iii) Comunicación**

- establecer y mantener procedimientos para la comunicación interna entre los distintos niveles y funciones de la instalación, así como procedimientos que desarrollen un diálogo con las partes interesadas externas y procedimientos para recibir, documentar y, donde sea razonable, responder a comunicaciones relevantes procedentes de las partes interesadas externas.

**(iv) Implicación del personal**

- implicación del personal en el proceso destinado a alcanzar un alto nivel de rendimiento ambiental mediante la aplicación de las formas adecuadas de participación tales como el método del libro de sugerencias o el trabajo en grupo basado en proyectos o comités ambientales.

**(v) Documentación**

- establecer y mantener al día la información, en papel o en forma electrónica, para describir los elementos esenciales del sistema de gestión y su interacción y proporcionar dirección a la documentación relacionada.

**(vi) Control eficiente de procesos**

- control adecuado de los procesos bajo todos los modos de operación, es decir, preparación, inicio, operación rutinaria, cierre y condiciones anómalas,
- identificación de los indicadores clave de rendimiento y de métodos para medir y controlar estos parámetros (p. ej. caudal, presión, temperatura, composición y cantidad)
- documentación y análisis de las condiciones de operación anómalas para identificar las causas fundamentales y a continuación tratarlas para garantizar que los eventos no se repiten (esto puede ser facilitado por una cultura de «no culpabilización» en que la identificación de las causas es más importante que culpabilizar a los individuos).

(vii) Programa de mantenimiento

- establecer un programa estructurado de mantenimiento basado en descripciones técnicas del equipo, normativas etc. así como de cualquier fallo de equipo y sus consecuencias
- apoyar el programa de mantenimiento mediante sistemas adecuados de mantenimiento de registros y de pruebas diagnósticas,
- adjudicar de forma clara las responsabilidades en cuanto se refiere a la planificación y ejecución del mantenimiento.

(viii) Preparación y respuesta para casos de emergencia

- establecer y mantener procedimientos para identificar el potencial para la ocurrencia de accidentes y situaciones de emergencia, dar respuestas en caso de ocurrencia, y prevenir y mitigar los impactos ambientales que pueden ir asociados a ellos.

**(d) Comprobación y acción correctiva, es decir:**

(i) Control y medida

- establecer y mantener procedimientos documentados para controlar y medir regularmente las características clave de las operaciones y de las actividades que pueden tener un impacto significativo sobre el medio ambiente, incluyendo el registro de la información para un seguimiento del rendimiento, controles operacionales relevantes y cumplimiento de los objetivos ambientales de la instalación (*véase también el Documento de referencia sobre control de emisiones*,
- establecer y mantener un procedimiento documentado para evaluar periódicamente el cumplimiento de la legislación y normativas ambientales relevantes

(ii) Acción correctora y preventiva

- establecer y mantener procedimientos para definir la responsabilidad y la autoridad para manejar e investigar el no cumplimiento de las condiciones permisibles, otros requerimientos legales así como objetivos, llevar a cabo acciones para mitigar cualquier impacto ocasionado, y para iniciar y completar las acciones correctoras y preventivas que sean apropiadas según la magnitud del problema y conmensurables con el impacto ambiental determinado.

(iii) Registros

- establecer y mantener procedimientos para la identificación, mantenimiento y disposición de registros ambientales visibles, identificables y trazables, incluyendo los registros de formación y los resultados de auditorías y revisiones.

(iv) Auditoría

- establecer y mantener programas y procedimientos para realizar auditorías periódicas del sistema de gestión ambiental, que incluyan discusiones con el personal, la inspección de las condiciones y el equipo de operación y la revisión de los registros y de la documentación, y que dé como resultado un informe escrito; a ser llevadas a cabo, imparcial y objetivamente, por empleados (auditorías internas) o externamente (auditorías externas); cubriendo el ámbito, frecuencia y metodología de la auditoría, así como las responsabilidades y requerimientos para llevar a cabo auditorías e informar de los resultados, para determinar si el sistema de gestión ambiental funciona de acuerdo con lo planificado y ha sido adecuadamente implementado y mantenido,

- completar un ciclo de auditoría, adecuadamente, a intervalos de no más de tres años, dependiendo de la naturaleza, escala y complejidad de las actividades, la relevancia de los impactos ambientales asociados, la importancia y urgencia de los problemas detectados durante auditorías previas y el historial de problemas ambientales – actividades más complejas con un impacto ambiental más relevante se auditan con mayor frecuencia,
- disponer de mecanismos adecuados para garantizar que se realiza un seguimiento de los resultados de la auditoría

**(v) Evaluación periódica del cumplimiento legal**

- revisión del cumplimiento con la legislación ambiental aplicable y las condiciones de los permisos ambientales de que disponga la instalación,
- documentación de la evaluación.

**(e) Revisión de la gestión, es decir:**

- revisar, por parte de la máxima dirección, a los intervalos que se determinen, el sistema de gestión ambiental, para garantizar la continuidad de su pertinencia, adecuación y eficacia,
- garantizar que la información necesaria se recopila para permitir a la dirección llevar a cabo esta evaluación,
- documentación de la evaluación.

**(f) Preparación de una declaración ambiental regular:**

- preparar una declaración ambiental que preste particular atención a los resultados conseguidos por la instalación frente a sus objetivos ambientales. Se prepara regularmente, de una vez al año a menos frecuentemente según la relevancia de las emisiones, generación de residuos, etc. En ella se tienen en cuenta las necesidades de información de las partes interesadas relevantes y está públicamente disponible (p. ej. en publicaciones electrónicas, bibliotecas etc.).

Cuando se prepara una declaración, el operador puede utilizar indicadores de rendimiento ambiental existentes, asegurándose de que los indicadores elegidos:

- i. proporcionan una evaluación precisa del rendimiento de la instalación,
- ii. son comprensibles e inambiguos,
- iii. permiten la comparación de año en año para valorar el desarrollo del rendimiento ambiental de la instalación,
- iv. permiten la comparación con análisis comparativos en el sector, el país o la región, según corresponda,
- v. permiten la comparación con las exigencias legales, según corresponda.

**(g) Validación por un cuerpo de certificación o verificador externo SGA:**

- someter el sistema de gestión, procedimiento de auditoría y declaración ambiental al examen y validación por parte de un cuerpo de certificación acreditado o verificador externo de SGA, si se lleva a cabo correctamente, aumenta la credibilidad del sistema.

**(h) Consideraciones de diseño para el cierre de la planta al final de su vida útil (clausura)**

- tener en cuenta el impacto ambiental de un desmantelamiento eventual de la unidad durante la fase de diseño de una nueva planta, puesto que la previsión hace que éste sea más fácil, limpio y económico,
- el desmantelamiento de una planta supone riesgos ambientales de contaminación de la tierra (y de las aguas subterráneas) y genera grandes cantidades de residuos sólidos. Las

técnicas preventivas son específicas del proceso pero las consideraciones generales incluyen:

- i. evitar las estructuras subterráneas,
- ii. incorporar elementos que faciliten el desmantelamiento,
- iii. escoger acabados superficiales fáciles de descontaminar,
- iv. utilizar una configuración de equipos que minimice la retención de productos químicos y facilite el drenaje o la limpieza,
- v. diseñar unidades flexibles y autónomas que permitan un desmantelamiento por fases,
- vi. utilizar materiales biodegradables y reciclables donde sea posible.

**(i) Desarrollo de tecnologías más limpias:**

- la protección ambiental debería ser una característica inherente a cualquier actividad de diseño de procesos realizada por el operador, puesto que las técnicas incorporadas lo más tempranamente posible en las fases de diseño son a la vez más eficaces y más económicas. Tomar en consideración el desarrollo de tecnologías más limpias puede, por ejemplo, tener lugar mediante actividades o estudios de I+D. Como alternativa a las actividades internas, es posible llegar a acuerdos para mantenerse a la altura – y donde sea necesario – de los trabajos realizados por otros operadores o institutos de investigación activos en el campo en cuestión.

**(j) Valoración competitiva, es decir:**

- llevar a cabo comparaciones sistemáticas de forma regular con el sector, nacional o regional, incluyendo las actividades para una mayor eficiencia y conservación de la energía, la selección de los materiales de entrada, las emisiones al aire y al agua (utilizando, por ejemplo como el registro de emisiones de contaminantes europeo, EPER), el consumo de agua y la generación de residuos.

**SGA normalizados y no normalizados**

Un SGA puede tomar la forma de sistema normalizado o no normalizado («personalizado»). La implementación y la adhesión a un sistema normalizado e internacionalmente aceptado tal como EN ISO 14001:1996 pueden proporcionar mayor credibilidad al SGA, especialmente cuando se somete a una verificación externa correctamente realizada. EMAS proporciona una credibilidad adicional debido a la interacción con el público a través de la declaración ambiental y al mecanismo para garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental aplicable. Sin embargo, en principio, los sistemas no normalizados pueden ser igualmente efectivos en tanto que hayan sido diseñados e implementados correctamente.

(Normativa (EC) No 761/2001 del Parlamento europeo y del Consejo que permite la participación voluntaria de organizaciones en un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambiental (EMAS), OJ L 114, 24/4/2001, [http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm))

(EN ISO 14001:2004, <http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html>; <http://www.tc207.org>)

**Beneficios ambientales alcanzados:** La implementación y la adhesión a un SGA focalizan la atención del operador en el rendimiento ambiental de la instalación. En particular, el mantenimiento y cumplimiento de procedimientos claros de operación tanto para situaciones normales como anómalas y las líneas asociadas de responsabilidad, deberían garantizar que las condiciones del permiso de la instalación y otros objetivos ambientales y de otro tipo se cumplen en todo momento.



Los sistemas de gestión ambiental típicamente garantizan la mejora continua del rendimiento ambiental de la instalación. Cuanto peor es el punto de partida, más significativas son las mejoras ambientales que se pueden esperar a corto plazo. Si la instalación ya tiene un buen rendimiento ambiental global, el sistema ayuda al operador a mantener este alto nivel de rendimiento.

**Efectos cruzados:** Las técnicas de gestión ambiental están diseñadas para gestionar el impacto ambiental global, lo cual es consistente con la aproximación integrada de la directiva IPPC.

**Información operativa:** No se dispone de información específica.

**Aplicabilidad:** Los componentes descritos arriba pueden ser aplicados típicamente a cualquier instalación IPPC. El ámbito (p. ej. nivel de detalle) y la naturaleza del SGA (p. ej. normalizado o no normalizado) generalmente estarán relacionados con la naturaleza, escala y complejidad de la instalación, y con la gama de impactos ambientales que pueda producir.

**Aspectos económicos:** Es difícil determinar con precisión los costes y los beneficios económicos de introducir y mantener un buen SGA. A continuación se presentan diversos estudios. Sin embargo, éstos sólo son ejemplos y sus resultados no son totalmente coherentes. Pueden no ser representativos de todos los sectores en toda la Unión Europea y por consiguiente deben ser tratados con precaución.

Un estudio sueco realizado en 1999 realizó una encuesta sobre las 360 compañías con certificados ISO y registro EMAS en Suecia. Con una tasa de respuestas del 50 %, se llegó a la conclusión, entre otras cosas, de que:

- el coste de introducir y hacer funcionar un SGA es elevado pero no está fuera de lo razonable, salvo en el caso de compañías muy pequeñas. Se prevé que los costes disminuyan en el futuro,
- se aprecia que un mayor grado de coordinación e integración de SGA con otros sistemas de gestión es una posible vía para reducir costes,
- la mitad de todos los objetivos ambientales proporciona un retorno de la inversión en el plazo de un año a través del ahorro de costes o el incremento de ingresos,
- los mayores ahorros de costes se consiguieron a través de la reducción del gasto en energía, tratamiento de residuos y materias primas,
- la mayoría de las compañías piensan que su posición en el mercado ha sido reforzada a través del SGA. Un tercio de las compañías informan de un aumento de ingresos debido al SGA.

En algunos Estados miembros se cobran tasas de supervisión reducidas si la instalación dispone de una certificación.

Diversos estudios muestran que existe una relación inversa entre el tamaño de la compañía y el coste de implementación de un SGA. Una relación inversa parecida existe en relación con el tiempo de retorno del capital invertido. Ambos elementos suponen una relación coste-beneficio menos favorable para la implementación de un SGA en pequeñas y medianas empresas en comparación con empresas más grandes.

De acuerdo con un estudio suizo, el coste promedio de implantar y operar ISO 14001 puede variar:

- una compañía con entre 1 y 49 empleados: 64 000 CHF (44 000 EUR) para la implementación del SGA y 16 000 CHF (11 000 EUR) anuales para utilizarlo,
- para una ubicación industrial con más de 250 empleados: 367 000 CHF (252 000 EUR) para la implementación del SGA y 155 000 CHF (106 000 EUR) anuales para utilizarlo.

Estas cifras medias no necesariamente representan el coste real para una ubicación industrial en concreto puesto que este coste también depende en gran medida del número de elementos relevantes (contaminantes, consumo de energía...) y de la complejidad de los problemas a estudiar.

Un estudio alemán reciente (Schaltegger, Stefan y Wagner, Marcus, *Umweltmanagement in deutschen Unternehmen - der aktuelle Stand der Praxis*, febrero 2002, pág. 106) muestra los siguientes costes de EMAS para distintas secciones. Se puede notar que estas cifras son muy inferiores a las del estudio suizo citado anteriormente. Esta es la confirmación de la dificultad de determinar los costes de un SGA.

Costes de implementación (EUR):

– mínimo	18 750
– máximo	75 000
– promedio	50 000

Costes de validación (EUR):

– mínimo	5000
– máximo	12 500
– promedio	6000

Un estudio del Instituto alemán de emprendedores (Unternehmerinstitut/Arbeitsgemeinschaft Selbständiger Unternehmer UNI/ASU, 1997, *Umweltmanagementbefragung - Öko-Audit in der mittelständischen Praxis - Evaluierung und Ansätze für eine Effizienzsteigerung von Umweltmanagementsystemen in der Praxis*, Bonn.) proporciona información acerca del ahorro promedio alcanzado con EMAS por año y el tiempo promedio de recuperación de la inversión. Por ejemplo, para costes de implementación de 80 000 EUR encontraron ahorros medios de 50 000 EUR por año, correspondiendo a un tiempo de recuperación de la inversión de alrededor de un año y medio.

Los costes externos relacionados con la verificación del sistema se pueden estimar a partir de la guía proporcionada por el International Accreditation Forum (<http://www.iaf.nu>).

**Motivo principal para su aplicación:** Los sistemas de gestión ambiental pueden proporcionar diversas ventajas, por ejemplo:

- una visión mejorada de los aspectos ambientales de la compañía,
- una base mejorada para la toma de decisiones,
- una mayor motivación del personal,
- oportunidades adicionales para la reducción de costes operativos y la mejora de la calidad de los productos,
- un mayor rendimiento ambiental,
- una mejor imagen de compañía,
- menores costes de responsabilidad, seguros e incumplimientos,
- un mayor atractivo para empleados, clientes e inversores,
- una mayor confianza de los reguladores, que podría dar lugar a una menor supervisión legislativa,
- una mejor relación con los grupos de protección ambiental.

**Ejemplos de instalaciones:** Las características arriba descritas bajo (a) a (e) son elementos de EN ISO 14001:1996 (actualmente EN ISO 14001: 2004) y del esquema de gestión y auditoría medioambiental de la Unión Europea (EMAS), mientras que las características (f) y (g) son específicas de EMAS. Estos dos sistemas normalizados se aplican en numerosas instalaciones IPPC. Como ejemplo, 357 organizaciones de la industria química y de productos químicos de la Unión europea (código NACE 24) estaban registradas en EMAS en julio del año 2002, la mayoría de las cuales operan instalaciones IPPC.

En el Reino Unido, la Agencia Ambiental de Inglaterra y Gales (Environment Agency of England and Wales) llevó a cabo una encuesta entre las instalaciones reguladas por IPC (el precursor de IPPC) en el año 2001. La encuesta mostró que el 32 % de quienes respondieron estaban certificados con ISO 14001 (correspondiendo al 21 % de todas las instalaciones IPC), y que el 7 % estaban registrados en EMAS. Todas las fábricas de cemento en el Reino Unido (alrededor de 20) disponen de la certificación ISO 14001 y la mayoría están registradas en EMAS. En Irlanda, donde el establecimiento de un SGA (no necesariamente normalizado) es obligatorio para obtener una licencia IPC, se estima que 100 de aproximadamente 500 instalaciones con licencia disponen de un SGA conforme a la norma ISO 14001: 2004, mientras que las 400 instalaciones restantes han optado por SGA no normalizados.

En los Países Bajos, existe un SGA específico para pequeñas y medianas empresas para reducir el coste y el tiempo de gestión necesarios para la introducción de los sistemas.

#### **Bibliografía de referencia:**

- Normativa (EC) No 761/2001 del Parlamento europeo y del consejo que permite la participación voluntaria de organizaciones en un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambiental (EMAS), OJ L 114, 24/4/2001, [http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm)
- EN ISO 14001:2004:
  - <http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000/iso14000index.html>;
  - <http://www.tc207.org> [128, TWG, 2005]

### **20.1.2 Mejora ambiental continua y cuestiones cruzadas**

**Descripción:** Un componente importante de un SGA es mantener una mejora la ambiental global. Es esencial que el operador comprenda lo que sucede con las entradas (comprender el proceso), por ejemplo de disolventes, y de qué modo su consumo conlleva emisiones. Es igualmente importante que al controlar las entradas y salidas significativas se mantenga el equilibrio correcto entre la reducción de emisiones de disolventes y los Efectos cruzados, tales como el consumo de energía, agua y materias primas. Todo ello reduce la huella ambiental de la instalación.

Mientras que el balance de disolventes (véase la sección 20.3.1) es importante en estos sectores, todos los consumos y emisiones significativos deberían ser gestionados de forma coordinada a corto, medio y largo plazo, conjuntamente con los ciclos de planificación financiera e inversión, es decir, adaptar las soluciones de final de línea (end-of-pipe) a corto plazo a la emisión de disolventes, puede atar al operador a un mayor consumo de energía a largo plazo y posponer la inversión en soluciones ambientalmente más beneficiosas. Esto requerirá tener en cuenta los factores cruzados. En el ECM REF [97, EIPPCB, 2005] y en la sección 20.1.4 se proporciona asistencia sobre esta cuestión y sobre las cuestiones de coste y coste-beneficio.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Reducción de emisiones de disolventes a largo plazo, con un menor consumo de agua y de energía.

**Efectos cruzados:** Una parte de los consumos o emisiones de las operaciones, tales como las emisiones de disolventes, pueden ser proporcionalmente mayores durante cierto tiempo hasta que se lleven a cabo inversiones a largo plazo.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** El alcance de este ejercicio dependerá del tamaño de la instalación y del número de variables. La realización de un estudio completo a todos los niveles es muy poco frecuente.

Véase Ejemplos de instalaciones a continuación.

**Aspectos económicos:** Permite la inversión de capital disponiendo de la información necesaria para la obtención de beneficios ambientales globales y la mejor rentabilidad.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Un ejemplo de la consideración de los Efectos cruzados se encuentra en ECM REF [97, EIPPCB, 2005].

Aplicabilidad a pequeñas y medianas empresas: Bovince Ltd, London, Reino Unido, es una pequeña compañía dedicada a la impresión con alrededor de 48 empleados, especializada en la impresión digital y la serigrafía. Dispone de una política de sostenibilidad y utiliza un SGA con un programa de mejora continua. La introducción progresiva de la limpieza de pantallas automática con recuperación de los disolventes, el uso de tintas ultravioleta para todos los trabajos en que es posible aplicarlas y un buen mantenimiento han llevado a una reducción del 50 % del consumo de disolventes desde el año 1996, con un ahorro de costes de alrededor de 90 000 EUR entre 1996 y 2000.

Éstos son dos ejemplos teóricos:

1. En un taller de pintura donde se pintan componentes metálicos, se ha identificado la necesidad de reducir las emisiones fugitivas de disolvente como resultado de un balance de disolventes. Las opciones clave incluyen la instalación de equipo adicional de extracción y una oxidación térmica de final de tubería (end-of-pipe) mayor, o el cambio a un proceso con un consumo reducido de disolventes para una parte del recubrimiento. El primero puede ser instalado más rápidamente, pero incrementará el consumo de energía significativamente debido a los ventiladores de extracción y al combustible de soporte para la oxidación térmica. No se producirá ninguna reducción en el uso de disolventes, de modo que la gestión de las emisiones fugitivas procedentes de la manipulación, limpieza, etc. permanecerá sin resolver. Es posible instalar un proceso de pintado con un menor contenido de disolventes, utilizando menos energía y un 50 % menos de disolventes, pero más agua. Puede suponer un mayor coste en capital, tiempo de inactividad y formación/familiarización de los operarios; sin embargo, los costes de operación pueden ser inferiores. El balance entre capital y costes operativos es una decisión normal de un negocio con buena praxis. Los datos acerca de los consumos de energía y de agua, la emisión de disolventes y otras emisiones se pueden obtener de los proveedores, posiblemente de otros operadores, de asociaciones empresariales o de datos de guía publicados internacionalmente y nacionalmente, tales como modelos de coste ambiental, que también pueden evaluar el coste-beneficio (véase la sección 20.1.4).
2. Un fabricante de vehículos está tratando de reducir todavía más sus emisiones de disolventes. Es posible realizar un gran cambio, pero éste requiere el reemplazo de la totalidad del taller de pintura, que tiene un tiempo de vida operativa de 25 años y un coste de capital de alrededor de 500 000 EUR. El consumo de energía del taller de pintura supone alrededor del 38 – 52 % del consumo de la planta y es del orden de 160 000 – 240 000 MWh (de los cuales un 60 % se generan con gas). La cantidad de materias primas utilizadas, la eficiencia de aplicación y la cantidad de pérdidas de disolventes también pueden cambiar con el grado de automatización. La selección del tipo de pintura y del sistema de aplicación, el grado de automatización, la cantidad de gases residuales a tratar y el sistema de pintura requieren un análisis en cuanto a costes de operación y de capital, así como los consumos y emisiones, a lo largo del tiempo de recuperación de la inversión. También se debe tener en cuenta el tiempo de vida operativo del taller de pintura existente.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [97, EIPPCB, 2005] [157, ACEA, 2005] [128, TWG, 2005] [161, EIPPCB, 2006]

### 20.1.3 Análisis comparativo de consumos y emisiones y acciones posteriores

Descripción: El análisis comparativo consiste en el registro sistemático de las entradas (materias primas, agua y energía) y las salidas (emisiones a la atmósfera y al agua y en forma de residuos), y la comparación de estos datos de forma regular con datos previos de la misma instalación y con análisis comparativos de su sector, nacionales o regionales (véase la sección 20.1.1 (j)). Cuando se realiza un análisis comparativo de los datos de una instalación, es una buena práctica mantener un sistema para identificar las acciones que se requieren a partir de los datos recopilados y para llevar estas acciones a su conclusión (véase la sección 20.1.1 (2)), incluyendo:

- identificar una persona o personas responsables de la evaluación y de llevar a cabo acciones a partir de los datos,
- informar a estas personas responsables del rendimiento de la planta, incluyendo alertar rápida y eficazmente a los operadores de variaciones respecto al rendimiento normal,
- otras investigaciones para establecer por qué el rendimiento ha variado o si se encuentra fuera de la línea que marcan las comparaciones externas.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Ayuda a las instalaciones individuales a evaluar su rendimiento ambiental frente a otras instalaciones. Contribuye a identificar las técnicas utilizadas por las instalaciones con el mejor rendimiento. Puede identificar o contribuir a identificar eventos no planificados o no observados, tales como pérdidas en tuberías o en juntas de bombas, pérdidas hacia el suelo y las aguas subterráneas, etc.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Proporciona valoraciones comparativas y evaluaciones del rendimiento ambiental operativo de instalaciones y técnicas. Los datos se pueden recopilar y comparar a distintos niveles tales como: técnica o actividad (prensa, tanque de proceso o línea de proceso), ubicación, sector, región o país. Puede ser publicado manteniendo a título confidencial la identidad de las ubicaciones individuales. Por ejemplo:

- disolventes consumidos y emitidos. Las emisiones fugitivas y, por consiguiente, las emisiones totales, sólo se pueden determinar utilizando un balance de disolventes, sección 20.3.1. Los aspectos adecuados para su valoración comparativa pueden ser identificados al realizar un balance de disolventes (véanse los anexos 24.2 y 24.3),
- consumo de agua – importante cuando se utilizan recubrimientos de base acuosa,
- consumo de energía, p. ej. en equipo de secado y depuración,
- consumo de materias primas, p. ej. tintas, paños, papel, preparación de las prensas, hasta un 10 % del sustrato puede ser desechado,
- residuos generados,
- contaminantes significativos emitidos al agua, el aire o el suelo/aguas subterráneas.

**Aplicabilidad:** Una valoración comparativa adecuada requiere datos comparables – una comparación equivalente. Por ejemplo, para actividades de tratamiento de superficies ésta se conseguirá mejor en términos de área superficial tratada o en términos de algún consumo o elemento que esté significativamente relacionado con el proceso. El detalle de la valoración comparativa, incluyendo los aspectos a ser valorados, dependerá del consumo.

**Aspectos económicos:** El uso de los datos para optimizar el rendimiento ambiental de la planta generalmente dará lugar a una optimización económica.

**Motivo principal para su aplicación:** La valoración comparativa también es conmensurable con un buen rendimiento económico. La valoración comparativa y la optimización ambiental

(tal como en materias primas, entradas de agua y de energía, así como pérdidas materiales) alcanzarán la optimización económica simultáneamente.

Un plan de gestión de disolventes es la única vía para calcular las emisiones fugitivas y totales de una instalación y es necesaria con la aplicación de la SED para todas las actividades objeto de este documento.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2006] [90, Envirowise, 1998] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.1.4 Determinación de los costes de los beneficios ambientales y estimación de los efectos cruzados

**Descripción:** El concepto de MTD bajo IPPC tiene en cuenta los costes y los beneficios probables de las técnicas. Un objetivo de la aproximación integral es detener el traslado de la contaminación de un medio a otro mediante la selección de técnicas o de combinaciones de técnicas que sean las más eficaces para alcanzar un alto nivel de protección del medio ambiente considerado en conjunto. Esto es complementario a la búsqueda de mejoras continuas en la instalación (véase la sección 20.1.2).

Al seleccionar técnicas, si sólo existe un único objetivo ambiental, con un único contaminante y pocos puntos de consumo y de emisión a tener en cuenta, el análisis de coste y eficiencia es un ejercicio inmediato. Basta con valorar las posibles medidas de depuración basándose en sus costes marginales y el potencial de reducción, y seleccionar la medida o combinación de medidas más económica que alcance el objetivo ambiental. Normalmente, el análisis involucra múltiples puntos de consumo y de emisión, contaminantes, medidas de depuración, interacciones e inconvenientes. No es fácil determinar la solución menos costosa.

ECM REF proporciona una guía para evaluar los costes y beneficios, así como una guía para evaluar las técnicas más eficientes para alcanzar un alto nivel de beneficios ambientales en conjunto (es decir, las que tienen los mínimos Efectos cruzados).

Se han desarrollado algunas guías y modelos para ayudar a evaluar los costes y los beneficios ambientales. En el anexo 24.1 se muestran algunos ejemplos.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Contribuye a la identificación de las opciones más rentables.

**Efectos cruzados:** Contribuye a identificar las técnicas o combinaciones de técnicas con los mínimos Efectos cruzados.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** El alcance de este ejercicio dependerá del tamaño de la instalación y del número de variables. La realización de un estudio completo a todos los niveles es muy poco frecuente. Véase la sección 20.1.2.

Al utilizar modelos como ayuda para tomar decisiones, es esencial:

- comprender los objetivos del modelo para garantizar que proporcionará la ayuda necesaria. Por ejemplo, saber si se trata de una herramienta de información o para evaluar Efectos cruzados o relación coste-beneficio en una instalación, o si sirve para contribuir a la definición de políticas nacionales,
- comprobar todas las hipótesis realizadas,



- asegurarse de que los resultados del modelo se presentan de forma compatible con otros datos considerados, p. ej., los costes están anualizados o si se basan en una medida de producción o de emisiones que sea comparable (véase ECM REF para obtener recomendaciones),
- comprender que es improbable que los modelos contengan datos sobre todas las opciones o técnicas MTD a considerar (incluyendo nuevas técnicas que no se listan en este documento), de modo que pueden existir otras opciones disponibles,
- valorar tanto los consumos como las emisiones. Esto es generalmente más importante para la energía (y por consiguiente CO<sub>2</sub>), y en algunos casos para las emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>.

Al considerar las opciones en el ámbito de la instalación, es importante considerar otros factores que influirán en las elecciones. Algunos de ellos se listan en la introducción del capítulo 21, p. ej. factores que afectan a la velocidad de implementación, calidad y especificaciones del cliente, etc.

**Aspectos económicos:** Contribuye a la identificación de las opciones más rentables.

**Motivo principal para su aplicación:** Contribuye a la identificación de las opciones más rentables. Otra legislación tal como SED, WFD, etc. Modelos tales como EGTEI y MKM (VITO) están dirigidos a producir costes de técnicas de reducción de emisiones y relaciones coste-beneficio de diversas actividades, escenarios regionales y nacionales, y proporcionan datos para RAINS.

**Ejemplos de instalaciones:** Se proporcionan ejemplos en ECM REF. En el anexo 24.1 se indican ejemplos de modelos.

**Bibliografía de referencia:** [95, Vito, 2005, 97, EIPPCB, 2005, 132, EGTEI, 2005, 133, EGTEI, 2005] [128, TWG, 2005].

## 20.2 Diseño, construcción, y operación de instalaciones (incluyendo el buen mantenimiento)

Esta sección abarca las áreas y actividades de la instalación que no se abarcan en otras, en particular la prevención de las emisiones al suelo, aguas subterráneas y aguas superficiales, aunque las técnicas también son relevantes para la prevención de emisiones fugitivas al aire. Sin embargo, al considerar la operación integrada y la complejidad de una instalación IPPC, es inevitable que se produzcan solapamientos y repeticiones con otras secciones: las referencias cruzadas se indican allí donde han sido localizadas.

El diseño, construcción y operación (a veces denominado buen mantenimiento o buenas prácticas) para evitar vertidos y fugas se describen extensamente en otras partes, tales como generalmente en el ESB BREF [91, EIPPCB, 2005], en documentos guía de ámbito nacional [119, RIZA, 1999], [120, INRS, 1998] así como específicamente para este sector [89, Envirowise, 2003]. Las secciones siguientes son, por consiguiente, un breve resumen de los aspectos esenciales de este sector.

### 20.2.1 Prevención de la contaminación para emisiones imprevistas

**Descripción:** Una aproximación planificada e integrada puede reducir los accidentes ambientales o las emisiones no planificadas, comenzando por la identificación de aquellos aspectos de una instalación que pueden tener un impacto significativo sobre el medio ambiente. Los riesgos identificados se abordan a continuación mediante un diseño y construcción cuidadosos, así como por sistemas de gestión que tengan en cuenta la prevención, disminución,



eliminación y gestión de los accidentes y emergencias y el incumplimiento de las condiciones permitidas.

En algunos países se utilizan sistemas normativos o de buenas prácticas para la prevención de la contaminación. Muchas instalaciones del sector se han beneficiado de la introducción de tales técnicas. Las siguientes actividades son ejemplos clave en que estas técnicas reducen la frecuencia e impacto de la contaminación aguda y crónica, no sólo en el aire, sino también en las aguas superficiales y subterráneas y en el suelo. También contribuyen a hacer que las operaciones sean más rentables:

- mantenimiento rutinario y no rutinario, incluyendo el mantenimiento de cubiertas y juntas de tuberías de los sistemas de almacenamiento y distribución de disolventes,
- almacenamiento y distribución de las materias primas,
- control de procesos, control de procesos y control ambiental.

Algunos aspectos clave para la prevención de la contaminación son:

- la identificación de los riesgos y sus trayectorias,
- un simple rango del potencial de riesgo.

Una implementación en tres pasos de acciones para la prevención de la contaminación:

- medidas primarias (estructurales):
  - dimensiones de la planta suficientes,
  - selección de los materiales de sellado allí donde se almacenan o manipulan los productos químicos, por ejemplo, materiales para el suelo, zonas autónomas (véanse las medidas secundarias a continuación),
  - estabilidad de la línea de proceso y de sus componentes (incluyendo equipo temporal o utilizado raramente, tal como bombas y tanques utilizados para operaciones ocasionales de mantenimiento).
- medidas secundarias (planta o equipos):
  - la contención (o contención secundaria) se refiere a la protección adicional frente a pérdidas en tanques de almacenamiento sobre y por encima de la protección inherente proporcionada por el propio tanque contenedor (en este sector, los tanques pueden ser utilizados para almacenamiento o para producción). Existen dos tipos principales de contención secundaria para fugas, a saber, las que forman parte de la construcción del tanque, tales como tanques con fondos dobles (sólo para tanques situados por encima del suelo), tanques adosados y de doble pared, y barreras impenetrables que se colocan sobre la superficie del suelo por debajo de los tanques, y asegurando que los caminos hacia los desagües o el agua subterránea quedan aislados o minimizados, p. ej. asegurando que las escotillas de acceso (registro) están eficazmente selladas frente a los disolventes en uso, que los desagües abiertos están cerrados y sellados, etc.
  - correcta especificación del tamaño y la resistencia de los tanques o de los contenedores de almacenamiento para contener líquidos bombeados (véase también estabilidad, entre las medidas primarias, arriba), o bien instalación de un sistema de control de seguridad del volumen.
  - sistemas de identificación de fugas,
- medidas terciarias (sistemas de gestión):
  - inspecciones por parte de expertos externos e internamente incluyendo el mantenimiento regular,
  - planes de emergencia para accidentes potenciales,
  - programas de pruebas.

La identificación de las medidas y objetivos en relación con los efectos ambientales, puede determinar la selección de la ubicación, planta y equipos así como el diseño y construcción de la infraestructura y de la planta.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Ayuda a minimizar las emisiones fugitivas al aire. Particularmente útil para minimizar la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas por rutas que no son fácilmente visibles y que resultan difíciles de identificar. Facilita el desmontaje de la ubicación. Minimización de los vertidos imprevistos crónicos y agudos en aguas superficiales así como en los sistemas municipales de tratamiento de aguas residuales.

**Efectos cruzados:** No tiene implicaciones adversas.

**Información operativa:** Una planificación y diseño cuidadosos utilizando la experiencia operativa puede conseguir que en las operaciones de rutina, el mantenimiento y el control sean más fáciles, económicos y medio ambientalmente seguros.

**Aplicabilidad:** Estas medidas pueden ser tenidas en cuenta en todas las instalaciones; sin embargo, la mejor implementación se consigue durante las fases de propuesta, diseño inicial y construcción. Muchos cambios pueden ser incorporados durante actualizaciones generales. Algunas mejoras se pueden realizar sobre instalaciones existentes durante los períodos de mantenimiento normal aunque una mejora retrospectiva puede ser más difícil y no tan eficiente. Diversas normas y guías también pueden formar parte de la planificación a largo plazo para introducir mejoras en la planta.

**Aspectos económicos:** Forman parte de los costes de inversión en inversiones iniciales o renovaciones. Algunas técnicas pueden ser opciones sin coste adicional en fase de nueva diseño inicial o construcción. A menudo los costes pueden ser recuperados a través de un trabajo más eficiente, el mantenimiento y el evitar costes debidos a la gestión de accidentes y de violaciones de permisos.

**Motivo principal para su aplicación:** Obligación de cualquier empresa de actuar con diligencia e incremento de las posibles responsabilidades por daños ambientales. La directiva de Seveso (modificada), donde se almacenan las sustancias relevantes y sus cantidades.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizado en muchos países.

**Bibliografía de referencia:**[91, EIPPCB, 2005] [59, EIPPCB, 2005] [119, RIZA, 1999] [111, Eurofer, 2003] [120, INRS, 1998] [187, EC, 1996] [128, TWG, 2005]

## 20.2.2 Almacenamiento y manipulación de productos químicos, materiales peligrosos y residuos

**Descripción:** El almacenamiento y manipulación de materiales peligrosos se describe en detalle en el ESB BREF [91, EIPPCB, 2005]. El almacenamiento y manipulación de materiales peligrosos es necesario para mantener la provisión de materiales que se utilizan en los sistemas de aplicación de tratamientos.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Las áreas de almacenamiento y manipulación ubicadas en cámaras construidas a propósito y con el equipo apropiado reducen los riesgos ambientales.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** Las siguientes técnicas son importantes en este sector:

- sólo pequeñas cantidades se almacenan directamente en las áreas de aplicación. Para cantidades mayores, son necesarias cámaras separadas para reducir los riesgos de incendio y ambientales;
- los tanques de almacenamiento a granel para disolventes y líquidos que contengan disolventes pueden ser emitidos hacia el tanque de reparto durante el llenado o a través de absorción de carbono. La ventilación de vuelta al tanque de reparto supone tan sólo del 0,01

al 0,03 % de la cantidad de disolvente que pasa a través de los tanques, y sólo se debe tener en cuenta cuando se puedan obtener mejores beneficios;

- proveer contención para derrames accidentales (p. ej. bandejas captadoras para pequeños derrames), proveer material adsorbente en las ubicaciones sensibles;
- el almacenamiento subterráneo de materiales peligrosos conlleva un riesgo elevado de fugas imprevistas que pueden contaminar el suelo y las aguas subterráneas, así como emisiones no observadas al aire. Esto puede ser evitado utilizando un almacenamiento por encima del nivel del suelo o, cuando se utilice almacenamiento subterráneo, utilizando sistemas de construcción adosados o detección de fugas;
- todos los tanques de almacenamiento a granel fijos deberían estar equipados con alarmas audibles o visibles de alto nivel o indicadores de volumen para advertir del llenado excesivo. Donde sea posible y en relación con la viscosidad del material manipulado o del sistema de bombeo utilizado, los sistemas de llenado deberían estar interconectados con el sistema de alarma para prevenir el llenado excesivo;
- los puntos únicos de llenado para cada tanque evitan la contaminación cruzada de materiales (especialmente de materiales incompatibles).

Para tanques de grandes dimensiones, se pueden encontrar técnicas en el ESB BREF, En particular, las técnicas para aumentar la receptividad y reducir la absorción de calor procedente de la radiación solar y, por consiguiente, reducir las pérdidas de disolvente por evaporación incluyen:

- pintar los tanques ubicados por encima del nivel del suelo de color blanco o instalar filtros solares o toldos,
- utilizar tanques de techo cónico con cubiertas internas flotantes (dependiendo de la frecuencia de vaciado).

**Aplicabilidad:** El almacenamiento especial para materiales peligrosos se utiliza ampliamente como requisito normativo o como buena práctica. Véase la ventilación hacia atrás en la Información operativa descrita arriba.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplir con los requisitos legales para la salud y la seguridad y para la prevención de accidentes. Nótese que existen leyes nacionales diferentes en Europa.

**Ejemplos de instalaciones:** Aplicado en todas las industrias objeto de este documento.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [121, UK DEFRA y notas, 2003] [68, ACEA, 2004, 91, EIPPCB, 2005] [128, TWG, 2005]

### 20.2.2.1 Manipulación y uso de disolventes en las áreas de producción

**Descripción:** Allí donde se utilizan disolventes de COV, es posible aplicar las siguientes medidas y principios generales para garantizar que se conservan en contenedores estancos (o casi estancos):

- confinamiento, p. ej. utilizando cubiertas, de las fuentes potenciales de emisiones
- volver a cubrir los bidones o latas de disolvente parcialmente vacíos para evitar las pérdidas de vapores,
- mantener los contenedores de disolventes lejos de las fuentes de calor y de corrientes de aire (p. ej. movimiento de carretilla elevadora cerca de contenedores abiertos) para minimizar la evaporación,

- confinar los recipientes, depósitos y maquinaria tanto como sea posible, utilizando tapas herméticas y cubiertas bien ajustadas,
- allí donde los recipientes y depósitos no dispongan de cubiertas adecuadas, utilizar envoltorios de plástico o cubiertas antiestáticas de plástico, donde sea necesario fijadas con bandas elásticas, cámaras de neumáticos o cierres de nylon tipo velcro (siempre que estos materiales no sean disueltos por el disolvente a cubrir). Tales cubiertas tienen la ventaja añadida de mantener estos recipientes libres de polvo y desechos,
- almacenar los residuos que contienen disolventes, p. ej. paños contaminados y residuos de base disolvente, en contenedores (véase también la sección 20.11.2.8),
- utilizar sistemas de medida o dosificación controlada para evitar el uso de material con disolvente en exceso, p. ej. el uso de paños previamente impregnados puede ser eficaz para limpiar piezas pequeñas,
- evitar la manipulación manual mediante el bombeo de los disolventes y materiales de base disolvente a través de canalizaciones (p. ej. una canalización circular) hasta el lugar de su uso. Las ventajas incluyen:
  - reducción del riesgo de vertido durante la transferencia y decantación,
  - mejor contención y menor riesgo de exposición a contaminantes,
  - posibilidad de incorporar medidores de flujo para permitir una auditoría precisa.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Reducción de la cantidad de COV emitidos al aire.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Las consideraciones acerca de la salud y la seguridad en el trabajo pueden determinar si el contenedor de disolvente debe ser cubierto y de qué modo.

**Aplicabilidad:** Nótese que muchos disolventes se expanden y se contraen significativamente al cambiar la temperatura ambiente. En los recipientes de almacenamiento se debe dejar espacio suficiente para ello, de acuerdo con los disolventes utilizados, p. ej. los contenedores deberían permitir alrededor de un 10 % de volumen redundante.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Salud y seguridad en el lugar de trabajo. Cumplimiento de la legislación, p. ej. SED.

**Ejemplos de instalaciones:** Airbus France utiliza paños previamente impregnados.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [89, UK y Programme, 1996] [59, EIPPCB, 2005] [128, TWG, 2005]

### 20.2.3 Automatización de los equipos

**Descripción:** Muchas de las operaciones que se llevan a cabo en una instalación pueden ser automatizadas, dependiendo de la actividad y del sector. Algunos ejemplos son:

- pulverización mediante robots:
  - de coches, véanse las secciones 6.2.4.1 y 6.2.4.2,
  - de camiones, véase la sección 7.2.1,
  - de barcos, véase la sección 11.4.4,
  - de plásticos, véase la sección 16.2,
- sistemas automáticos de mezclado, véase la sección 20.6.3.1,
  - para impresión, aplicable sólo a envases flexibles (véase la sección 2.4.2),
- recubrimiento mediante rodillos, véase la sección 20.7.3.1,
- recubrimiento de cortina, véase la sección 20.7.3.2,

- distribución canalizada de disolventes y materiales de base disolvente (véanse las secciones 20.2.2.1 , 20.6.3.4 y 20.6.3.5).

**Beneficios ambientales alcanzados:** Minimiza la niebla de pulverización, reduce el polvo, mayor eficiencia de materiales y reducción de residuos, menos disolventes residuales.

**Efectos cruzados:** Véanse las secciones relevantes.

**Información operativa:** Véanse las secciones relevantes. Véase una planta de ejemplo a continuación (véase la Tabla 20.2, y la Tabla 20.3).

**Aplicabilidad:** Véanse las secciones relevantes. Ampliamente utilizada en pintado de coches. Utilizada en el pintado de piezas para aviones.

**Aspectos económicos:** Véanse las secciones relevantes. Para ahorros de materiales y tiempo en el pintado de vehículos, véanse la Tabla 20.2 y la Tabla 20.3.

**Motivo principal para su aplicación:** Mayor calidad y productividad.

**Ejemplos de instalaciones:** Véanse las secciones relevantes.

Piezas para aviones: Airbus, Nantes, Francia

Vehículos: Seat Martorell, España; VW Pamplona, España, y VW, Sudáfrica; Renault, Flins, Francia; BMW, recubrimiento incoloro en polvo con ESTA, Munich, Alemania; Mercedes, Alemania.

<p><b>Automóvil de clase media alta, 500 unidades por día. Pintura interior:</b>                  145 ml puerta frontal, 130 ml puerta trasera, 255 ml compartimiento del motor, 150 ml maletero.                  La pintura cuesta 10 EUR/l.                  Nota: No se proporcionan más datos base</p>		
<b>Conversión de pulverización manual con aire a:</b>	ESTA	De aire, automatizado a robots ESTA
<b>Ahorro de pintura:</b>	138 000 l/a 1,2 l/unidad	60 950 l/a 0,53 l/unidad
<b>Ahorro de costes por año: Ahorro de costes por unidad (CPU):</b>	1 380 000 EUR/a 12 EUR	609 500 EUR/a 5,3 EUR
<b>Tiempo de retorno de la inversión, sólo en costes de pintura (ROI)</b>	20 meses	13 meses
<p>Eficiencia de transferencia: aire 30 – 35 %, ESTA 40 – 60 %                  Longitud del recorrido reducido en hasta un 60 %                  Velocidad del recorrido reducido en hasta un 25 %                  Tiempo de pintado reducido en hasta un 25 %                  Mayor calidad por una mejor cubrición                  Reducción del polvo debido a la reducción de aire                  Grosor del recubrimiento: el mismo, posiblemente más grueso</p>		

**Tabla 20.2: Ejemplo de la introducción de la pulverización del interior mediante robots en una línea de ensamblado de automóviles**

[162, Eurocar, 2005]

<b>Automóvil de clase media alta, 500 unidades por día. Pintura metalizada:</b> Superficie pintada unitaria 9,5m <sup>2</sup> Capa base, 2 recubrimientos, grosor 5 µm, contenido de sólidos 15 % La pintura cuesta 10 EUR/l. Nota: No se proporcionan más datos base	
<b>Ahorro de pintura por año:</b>	41 641 l/a
<b>Por unidad:</b>	0,45 l/unidad
<b>Ahorro de costes por año:</b>	416 410 EUR/a
<b>Ahorro de costes por unidad (CPU):</b>	4,5 EUR
<b>Amortización (ROI)</b>	10 meses

**Tabla 20.3: Ejemplo de la introducción de la pulverización del exterior mediante robots utilizando pinturas metalizadas en una línea de ensamblado de automóviles [162, Eurocar, 2005]**

**Bibliografía de referencia:** Véanse las secciones relevantes indicadas en la descripción anterior [162, Eurocar, 2005]

### 20.2.4 Formación

La formación es una parte esencial de un SGA (véase la sección 20.1.1 (c) ii).

**Descripción:** El personal que lleva a cabo muchas de las funciones y hace funcionar los equipos necesita una formación adecuada. La formación teórica y práctica en el manejo, uso y limpieza de disolventes y de los equipos relacionados es esencial. Nuevos recubrimientos o materiales de impresión, sistemas y equipos de aplicación, necesitan actitudes distintas. Los nuevos materiales de recubrimiento a menudo presentan escalas, rangos de aplicación restringidas, de modo que es necesario mejorar las habilidades técnicas de los operarios y del personal auxiliar. Por otro lado se producen problemas, tales como la deposición, generación de capas demasiado gruesas.

También se pueden enfatizar las implicaciones ambientales, económicas y relacionadas con la salud. La documentación escrita para todas las operaciones que implican el manejo o utilización de disolventes debería incluir:

- manuales de proceso para detallar las cantidades de productos químicos necesarios, proporcionar datos relacionados con la salud y la seguridad e identificar los procedimientos operativos relevantes,
- procedimientos operativos para explicar cómo utilizar un equipo/planta en particular en conjunto con disolventes o recubrimientos específicos,
- cómo actuar en casos de rebosamiento, etc. (véase la sección 20.2.1).

**Beneficios ambientales alcanzados:** Reducción en el consumo de materias primas y en la producción de residuos. Emisiones reducidas de COV.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Ampliamente utilizado.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Salud y seguridad de los empleados. Mejora y mantiene la calidad.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [89, UK y Programme, 1996]

### 20.2.5 Optimización de procesos/equipos

**Descripción:** La mayoría de las actividades requieren optimización, es decir, el consumo o emisiones, junto con otros parámetros, tales como la calidad, la capacidad de producción, etc., se controlan mientras se cambian ciertas variables de proceso. La optimización puede iniciarse con el proceso de diseño, y a menudo es llevada a cabo por o con el apoyo de los proveedores del proceso. En algunos casos se pueden utilizar programas de software.

Algunos ejemplos son:

- optimizar el diseño y la operación del tratamiento de gases residuales mediante software, véase la sección 20.11.1,
- optimización de la impresión por offset con secado por calor para un uso reducido de IPA, véanse las secciones 2.4.1.3.2, 2.4.1.3.4 y 2.4.1.5, etc.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Permite optimizar una actividad en lo que al consumo de agua, energía y conservación de las materias primas se refiere, así como minimizar las emisiones, particularmente de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Puede utilizar datos existentes y puede ser utilizada para hacer una valoración comparativa del rendimiento así como para planificar mejoras.

**Aplicabilidad:** Todas las actividades.

**Aspectos económicos:** Véanse los motivos para la implementación a continuación.

**Motivo principal para su aplicación:** La optimización ambiental también puede optimizar el proceso de la planta y el rendimiento económico.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizado.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2005]

### 20.2.6 Mantenimiento

El mantenimiento de todas las plantas y de sus equipos es esencial y forma parte de un SGA (véase la sección 20.1.1 (c) vii).

**Descripción:** Mantener una programación de mantenimiento y registro de todas las inspecciones y actividades de mantenimiento:

- comprobación visual de fugas en juntas, bridas, válvulas, soldaduras, tanques y diques,
- prueba de presión de canalizaciones y tanques,
- verificación de la estanqueidad de tuercas y tornillos,
- verificación del desgaste por uso en maquinaria, válvulas y diques,
- recalibración de los sistemas de medida,
- comprobación de que el equipo de extracción y depuración está completamente operativo y de que:



- los secadores y hornos no tienen fugas,
- las canalizaciones no tienen fugas,
- las derivaciones están en buenas condiciones de funcionamiento (p. ej., no están encasquilladas).

Donde sea posible, el programa de mantenimiento preventivo debería estar organizado y ayudado por ordenador., El software de mantenimiento preventivo puede ayudar a garantizar que ninguna tarea de mantenimiento se olvida mediante el recordatorio de las tareas de mantenimiento diarias hasta que estén completas o realizadas. Los operarios de proceso pueden identificar fugas, equipos roto, canalizaciones defectuosas, etc. y así ayudar a enfocar el mantenimiento no programado.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Reducción de las pérdidas de disolventes a la atmósfera, mejora de la eficiencia y de la calidad del producto y contribución a mantener un lugar de trabajo ordenado y agradable.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Generalmente aplicado.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente aplicado en este sector.

**Bibliografía de referencia:** [89, UK y Programme, 1996]

## 20.3 Control

Al considerar el control, el REF (MON) sobre control [113, EIPPCB, 2003] proporciona una guía y ofrece una lista de fuentes adecuadas sobre procedimientos normalizados para utilizar en este sentido incluyendo:

- control directo, recuento de las emisiones totales incluyendo el control de las emisiones fugitivas y difusas, parámetros de sustitución y balances de masa,
- tiempos de muestreo,
- cómo gestionar las incertidumbres.

### 20.3.1 Balances de masa de disolventes

**Descripción:** Como parte del proceso de comprensión de la huella ambiental/plan de gestión de una instalación (véase la sección 20.1.2), un operador necesita saber:

- cuánto disolvente se utiliza y dónde,
- cuánto disolvente se emite y dónde.

Las salidas de disolventes orgánicos en los gases residuales y en forma de emisiones fugitivas son más difíciles de determinar que otras emisiones, tales como las de agua. Las emisiones se determinan mediante un balance de materia, denominado balance de disolvente. Un plan de gestión de disolventes es una herramienta que utiliza un balance de masa. El anexo III de la SED proporciona una guía sobre qué es necesario para un plan de gestión de disolvente [123,

EC, 1999] . Incluye los principios a aplicar y un marco para realizar un balance de masa. Un plan de gestión de disolvente (un balance de masa) se utiliza para determinar requerimientos específicos, tales como:

- la verificación del cumplimiento con un esquema de reducción con un valor total límite de las emisiones expresado, por ejemplo, en forma de emisiones de disolvente por unidad de producción, u otras unidades (véase el anexo 24.2)
- determinación de las emisiones fugitivas.

La Figura 20.1, muestra todas las opciones usuales de entrada y salida para disolventes.

Los cinco casos más comunes (ilustrados en el anexo 24.4) son:

- ausencia de depuración a final de línea (end of pipe) sin reutilización interna de disolventes,
- ausencia de depuración a final de línea (end-of-pipe) con reutilización interna de disolventes,
- recuperación y reutilización de disolventes (interna o externamente),
- cuando se utiliza depuración destructiva a final de línea (end-of-pipe) y las emisiones fugitivas (p. ej. agentes limpiadores) se determinan fácilmente de forma directa,
- se utiliza depuración a final de línea (end-of-pipe) y las emisiones fugitivas no son fácilmente determinables.

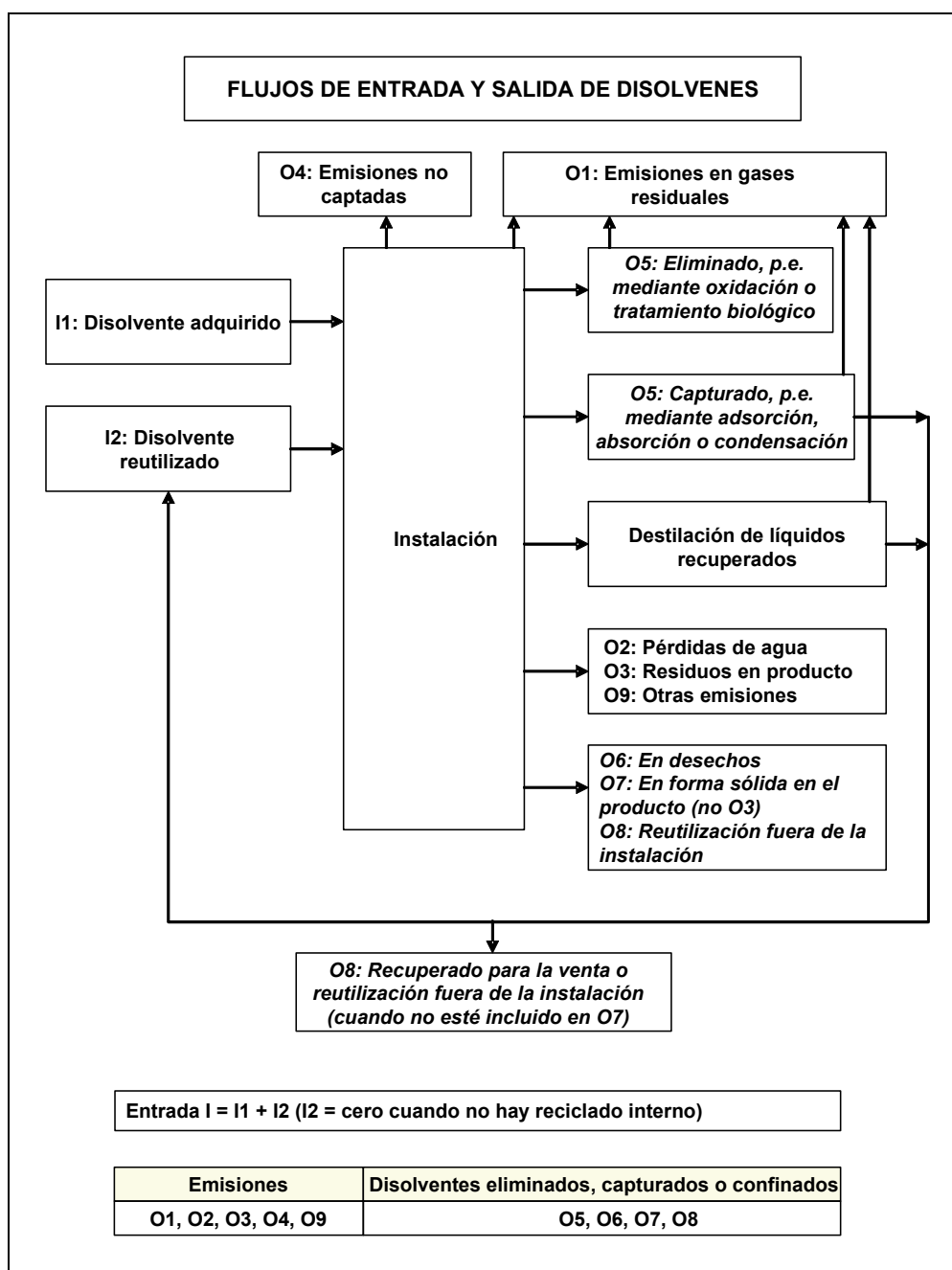


Figura 20.1: Todas las entradas y salidas de disolventes (utilizando las definiciones de la SED)

Las emisiones totales  $E = O1 + \text{emisiones fugitivas}$

Las emisiones fugitivas (F) pueden ser calculadas como sigue:

$$F = I1 - O1 - O5 - O6 - O7 - O8$$

(Es poco probable que O7 sea aplicable a las industrias objeto de este documento)

o  $F = O2 + O3 + O4 + O9$

F se puede determinar mediante la medida directa de las entradas (I) y salidas (O). Véase la sección 20.3.2, a continuación.

Determinar un balance de masa generalmente implica una combinación de medidas directas y estimaciones que se derivarán de una situación específica (véanse los anexos 24.2, 24.3 y 24.5).

Una técnica utilizada en diversos sectores (p. ej. para la aplicación en el sector de la fabricación de vehículos, véase el anexo 24,5) se basa en ello y en la utilización de la eficiencia de captura y destrucción del sistema de tratamiento de gases residuales utilizando los siguientes pasos:

- medida de la cantidad de disolvente a la entrada ( $I = I1 + I2$ ),
- medida de las emisiones al agua y pérdidas en forma de residuos, etc. (Pérdidas = O2, O3, O6, O7, O8, O9),
- medida o cálculo de la eficiencia de eliminación de la técnica de depuración,
- estimación de la cantidad de disolventes conducidos a depuración ( $I - \text{Pérdidas}$ ),
- multiplicación de la cantidad de disolvente por la eficiencia porcentual de la depuración = emisiones de gases residuales O1,
- emisiones fugitivas (tal como se describe más arriba):  $F = I1 - O1 - O5 - O6 - O7 - O8$  o  $F = O2 + O3 + O4 + O9$ .

Nota: no es necesario calcular O1 para calcular las emisiones fugitivas: O1 es necesaria cuando se calculan las emisiones totales (por ejemplo para cumplir un valor límite de emisiones o cuando se utiliza un esquema de reducción, véase el anexo 24.2).

Los balances de disolvente cuya función es demostrar el cumplimiento de normativas o de límites ambientales permitidos generalmente se realizan una vez al año. Sin embargo, los balances se pueden realizar más frecuentemente, p. ej. mensual o trimestralmente, por los siguientes motivos:

- Al principio, los operarios necesitarán aplicar recursos para establecer un sistema adecuado de recolección de datos y para preparar y verificar los balances de disolvente. Por ejemplo, en grandes compañías, serán necesarios uno o dos hombres-día de trabajo al mes. una vez que el sistema ha sido establecido y se han identificado las medidas clave, éstas se pueden controlar fácilmente (véase la sección 20.1.3),
- realizar balances de disolvente frecuentemente puede ser más sencillo que anualmente. Por ejemplo, se pueden almacenar en una hoja de cálculo o se pueden derivar de ellos indicadores clave para una verificación regular, tales como cambios en el stock que pueden extraerse de fuentes administrativas en lugar de tener que realizar una comprobación física de stocks,
- realizar balances de disolvente no siempre es fácil. La compañía necesita recorrer una curva de aprendizaje. Los balances de disolvente deben ser realizados varias veces antes de darlos por válidos,
- los balances realizados frecuentemente muestran tendencias, proporcionando una alerta temprana si aparecen problemas. Los balances descubrirán en qué lugares es posible que se superen los límites de emisión, posibilitando corregir la situación a tiempo y estar dentro de los límites de cumplimiento al realizar el balance de disolvente de todo el año.

Para disponer de una verificación adicional de que los balances se están realizando correctamente, el balance anual no debería ser la simple suma de todos estos balances sino que debería, en la medida de lo posible, realizarse por separado. Este balance anual puede ser comparado a continuación con la suma de los balances frecuentes para detectar discrepancias.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Los balances de disolvente son esenciales para estimar las emisiones fugitivas y, por consiguiente, para controlarlas. Los balances frecuentes ponen de manifiesto cualquier situación irregular, reducen los riesgos ambientales y permiten la reducción de las emisiones de disolventes

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** Las cifras de emisiones deberían ser comparables y es importante que en la totalidad de un sector se apliquen las mismas definiciones, especialmente acerca de qué se clasifica como «disolvente» en lo que se refiere a un balance de masa. Es importante poner de

manifiesto que la SED no sólo define un COV por la presión de vapor en condiciones estándar, sino que también incluye a cualquier componente que tenga una volatilidad correspondiente bajo las condiciones específicas de uso.

Cuando se determina un balance de masa, generalmente se harán hipótesis acerca del funcionamiento eficiente de cualquier sistema de extracción y tratamiento de gases residuales. Por ejemplo, el espacio ventilado es el mismo que el diseñado (es decir, no hay conexiones no registradas), equipos tales como ventiladores funcionan a su eficiencia nominal, etc. los volúmenes de flujo de aire pueden ser grandes (p. ej., en algunos casos, órdenes de magnitud de  $10^6 \text{ m}^3/\text{h}$ ), de modo que los errores en estas cifras pueden producir grandes errores al calcular las emisiones emitidas (véanse los anexos 24.2 y 24.3).

Para que las hipótesis sean válidas, el sistema de ventilación debe ser inspeccionado y mantenido en buenas condiciones de funcionamiento (véase la sección 20.2.6 y específicamente la sección 20.11.1.2). Algunos ejemplos de problemas encontrados son (véase el anexo 24.3):

- el sistema de extracción no está construido tal como se había diseñado o bien ha sido modificado sin que se hayan actualizado los planos,
- los controles automáticos de presión, válvulas y alternadores no funcionan como han sido diseñados,
- sistemas trabajando de forma incorrecta, p. ej., impulsando en lugar de extrayendo, flujo en la dirección incorrecta, etc.
- los motores de ventiladores, correas o poleas de transmisión pueden haber sido cambiados, dando lugar a caudales distintos.

Para la determinación del caudal volumétrico, véase la Bibliografía de referencia a continuación y la sección 20.3.2.

Es necesario determinar la precisión de las cifras de partida de un balance de masa (véanse los anexos 24.2 y 24.3). Cuando el error máximo en una fuente cualquiera no tiene efectos sobre el objetivo del balance de masa, no es necesario hacer nada más para conseguir una estimación más precisa.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es aplicable a todos los sectores que utilizan disolventes y se utiliza para calcular las emisiones fugitivas. También se utiliza para demostrar el cumplimiento con la SED allí donde se utilizan esquemas de reducción.

Los balances de disolvente pueden ser imprecisos en situaciones complejas, con grandes desviaciones en los casos en que se utilizan técnicas de depuración (véase Información operativa, arriba).

Muchos países y organizaciones industriales disponen de guías sobre cómo llevar a cabo un balance de masa y crear un plan de gestión de disolventes. Una de ellas incluye una hoja de cálculo gratuita para ayudar a realizar el balance de masa (en inglés).

**Aspectos económicos:** Reducción de costes mediante la optimización del uso de disolventes.

**Motivo principal para su aplicación:** Directiva de Emisión de Disolventes (SED). Todas las instalaciones están obligadas a determinar las emisiones totales o bien las emisiones fugitivas por separado.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente usada.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004] [90, ETBPP, et al., 2004] [113, EIPPCB, 2003] [128, TWG, 2006] [135, ADEME, 2004].

### 20.3.2 Medida directa de los disolventes y las emisiones a la atmósfera

**Descripción:** La sección anterior 20.3.1 indica que algunas entradas (I) o salidas (O), tal como se muestra en la Figura 20.3.1, pueden ser medidas directamente. En el anexo 24.2 se muestran algunos ejemplos.

La medida directa puede consistir simplemente en la medida por volumen o por peso del disolvente o de materiales que contengan disolvente. En algunos casos, p. ej. algunas operaciones de limpieza, el disolvente utilizado se evapora totalmente y se pierde en forma de emisiones fugitivas. En tales casos, el volumen o el peso aportado es la cantidad remitida al aire. En otros casos, tales como cuando el disolvente queda retenido en materiales de desecho de limpieza y residuos, el peso de los disolventes en los residuos puede ser determinado y restado del disolvente aportado.

Las emisiones directas de gases residuales pueden ser medidas continua o discontinuamente mediante diversos tipos de equipos de detección, para parámetros tales como TOC, CO, polvo (partículas), NO<sub>x</sub>. Es igualmente importante la determinación del caudal y la velocidad, y entender y estimar las incertidumbres en la medida. Se puede encontrar más información sobre estas técnicas en el MON BREF [113, EIPPCB, 2003].

**Beneficios ambientales alcanzados:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Ampliamente usada.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** La SED exige que todas las instalaciones determinen las emisiones totales o las emisiones fugitivas por separado.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** El BREF de Control [113, EIPPCB, 2003] numera los estándares relevantes del CEN (Comité europeo de normalización), que se consideran los más robustos, seguidos de la International Standardisation Organisation (ISO) [113, EIPPCB, 2003]. Si la sustancia no puede ser controlada utilizando los estándares abarcados por los antes mencionados, entonces es posible utilizar otros métodos acreditados, tales como los siguientes:

- American Society for Testing and Materials (ASTM),
- Association Française de Normalisation (AFNOR),
- British Standards Institution (BSI),
- Deutsches Institute für Normung (DIN),
- United States Environmental Protection Agency (US EPA),
- Verein Deustcher Ingenieure (VDI),
- otros estándares nacionales acreditados.

Si la sustancia no puede ser controlada utilizando los estándares abarcados por los mencionados arriba entonces es posible desarrollar los siguientes métodos ocupacionales, siguiendo los requerimientos de ISO 17025 para el control de la emisión en chimeneas:

- Serie Method for the Determination of Hazardous Substances (MDHS) publicada por el Health and Safety Executive (HSE),
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH); y

- Occupational Safety and Health Administration (OSHA).

También existen guías de ámbito estatal acerca de la control de ciertos gases y de procedimientos de muestreo, tales como [121, UK DEFRA y notas, 2003] [148, TWG, 2006].

El documento de guía para el Registro europeo de emisión y transferencia de contaminantes (E-PRTR, basado en la norma EC 166/2006) numera métodos de medida internacionalmente reconocidos para contaminantes atmosféricos y del agua:

<http://ec.europa.eu/environment/ipcc/eper>.

### 20.3.3 Agua

#### 20.3.3.1 Prevención de la formación de atmósferas peligrosas en alcantarillas

**Descripción:** Al utilizar disolventes en procesos de producción, los disolventes pueden estar presentes en las aguas residuales, ya sea por contacto con agua o con vapor durante el proceso, o a causa de vertidos imprevistos (fugas, reboses, etc.). La presencia de disolventes en alcantarillas puede dar lugar a:

- riesgos de incendio y de explosión cuando se supera el límite inferior de explosión (LEL),
- la formación de vapores perjudiciales cuando se supera el límite de exposición profesional (valores TLV, OEL o MAK),
- daños al material de la alcantarilla,
- interferencias con el tratamiento de aguas residuales.

Nótese que la sustancia no necesita ser volátil o insoluble, puesto que la temperatura de las aguas residuales de la instalación y de las alcantarillas públicas puede ser elevada y volatilizar el disolvente. Algunas sustancias pueden ser eliminadas a concentraciones relativamente altas; sin embargo, este método no tiene en cuenta la capacidad para ser tratadas en una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas, ya sea municipal o de la instalación, ni otros motivos para aplicar otros límites de control.

La minimización de los vertidos imprevistos se analiza en la sección 20.2.1.

Allí donde se permita el vertido de un disolvente, para garantizar que la atmósfera de una alcantarilla no alcanza ninguna de las condiciones mencionadas anteriormente, el primer paso es estimar la cantidad de disolvente perdido en el agua residual y su concentración aproximada y, si es necesario, confirmarla mediante análisis. En aquellos casos en que la concentración es suficientemente alta como para llevar a cabo más investigaciones, el criterio más simple aplicable es que el agua residual que llega a la alcantarilla no debería provocar una concentración perjudicial de la sustancia en el aire (expresada como TLV, valor umbral límite). Éste es el valor más bajo de los mencionados anteriormente, y por consiguiente será más restrictivo frente a los demás factores. Se puede calcular de la forma siguiente:

$$vp = vp0 * \gamma * mf$$

Donde:

- vp = la presión de vapor medida
- vp0 = la presión de vapor del líquido orgánico puro
- $\gamma$  = el coeficiente de actividad
- mf = la fracción molar

**Beneficios ambientales alcanzados:** Niveles seguros de disolventes en el alcantarillado.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Es difícil obtener algunos datos, tales como la presión de vapor en el agua residual.



**Aplicabilidad:** Calcular la concentración del disolvente en la atmósfera del alcantarillado no se aplica generalmente, pero puede ser tenido en cuenta en los lugares donde se producen los mayores niveles de vertido de disolventes, particularmente disolventes solubles, en el agua residual.

**Aspectos económicos:** Coste de la obtención de los datos si no están disponibles para un disolvente específico.

**Motivo principal para su aplicación:** Salud y seguridad en el lugar de trabajo en la instalación y en el alcantarillado recolector.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [92, WRc\_plc, 1980] [128, TWG, 2005] [148, TWG, 2006]

### 20.3.3.2 Control de DBO y DQO y biodegradabilidad

**Descripción:** El contenido orgánico de las aguas residuales puede afectar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas (ya sea municipal o en las propias instalaciones) de dos modos: carga y biodegradabilidad. Los parámetros medidos usualmente son la DBO (normalmente como  $DBO_5$ ) y DQO (o a veces COT).

La carga es el volumen por hora o por día, multiplicada por la DQO o DBO y la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas debería ser capaz de recibir y tratar la carga vertida procedente de la instalación.

La relación entre DQO y DBO también da una indicación muy aproximada de la posibilidad de tratamiento biológico del efluente. Cuanto mayor es el ratio de DQO respecto a DBO, más difícil puede ser tratar las aguas residuales. En caso de necesitar confirmar este aspecto podrían ser necesarios ensayos más específicos. Algunos indicadores comparables son:

- para corrientes de efluentes domésticos y algunos compuestos fácilmente degradables:
  - $DBO_5 = 0,68 \times DQO$  (con un grado de fiabilidad razonable),
- para compuestos, una indicación aproximada es (aunque no siempre es fiable):
  - $DQO:DBO > 100:1$  un compuesto es normalmente relativamente no biodegradable,
  - $DQO:DBO < 10:1$  un compuesto es normalmente relativamente degradable.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Garantizar que los niveles de DBO y DQO en las aguas residuales tienen un mínimo impacto ambiental.

**Efectos cruzados:** El uso de recubrimientos de base acuosa para reducir las emisiones solventes al aire puede incrementar la carga orgánica vertida al alcantarillado. Ésta puede tener una DBO fácilmente tratable o DQO refractaria. Esto puede dar lugar a instalaciones de tratamiento de aguas residuales sobrecargadas (ya sea dentro o fuera de la instalación) y posiblemente al vertido de DQO refractaria a los cursos de agua.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Véase Efectos cruzados, arriba.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplimiento de la legislación relacionada con el vertido de residuos al agua

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [93, Agencias del Agua de Francia, et al., 2002] [128, TWG, 2005] [94, EIPPCB, 2006] [153, CEFIC, 1998] <http://www.cefic.be/activities/hse/rc/guide/11.htm>, [113, EIPPCB, 2003] [148, TWG, 2006]

### 20.3.3.3 Control y tratamiento de la toxicidad acuática

**Descripción:** Al utilizar agua, ya sea en la limpieza o como medio para un proceso (tal como el pintado asistido electrostáticamente, en tintas de base acuosa, etc.), el agua puede contener materiales en suspensión o en solución que son tóxicos en los medios acuáticos (incluyendo los fangos del alcantarillado). Algunos procesos de base acuosa pueden requerir la adición de biocidas para evitar la degradación biológica durante el almacenamiento y la utilización. Soluciones tales como las pinturas para recubrimiento asistido electrostáticamente también contienen catalizadores tales como compuestos organoestánicos.

Los datos sobre la toxicidad de las materias primas en estos medios acuáticos se pueden encontrar en la información proporcionada por los proveedores (tal como frases de riesgos relacionados con el medio ambiente, particularmente R50 y R53, así como R51 y R52; véase la sección 20.10) o directamente de los proveedores. Otras frases de riesgo pueden ser aplicables, según el punto de descarga y los usos del agua aguas abajo (tales como pesquerías, extracción de agua potable, etc.).

Un factor clave es la cantidad del material que se vierte, y ésta puede ser calculada a partir de información operativa o determinada mediante análisis. Si es necesario, se pueden solicitar ensayos de toxicidad específicos.

Las opciones para tratar el material vertido son:

- evaluar su reemplazo por materiales menos peligrosos (véase la sección 20.10),
- minimizar el uso en producción, por ejemplo mediante dosificación automática,
- minimizar las pérdidas procedentes de los tanques de producción, por ejemplo mediante múltiples aclarados (como en cascada) y filtración por membrana (véanse las secciones 20.7.5.1 y 20.7.5.3) con recirculación de los concentrados,
- tratar las aguas residuales para eliminar los materiales problemáticos.

Más información sobre estas técnicas está disponible en los BREF STM y CWW.

Si se vierten materiales de toxicidad acuática conocida en cantidades que pueden tener un impacto ambiental, el vertido debería ser controlado según el tipo de material y con la frecuencia necesaria para permitir el tratamiento del vertido (véase el BREF de control).

**Beneficios ambientales alcanzados:** Protección de los medios acuáticos y de fangos.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Ampliamente usada. Los niveles de vertido de las sustancias con toxicidad acuática dependerá de si el vertido se produce en aguas superficiales o en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. También dependerá de:

- la biodegradabilidad y la tasa de degradación,
- el destino de las sustancias en el tratamiento (es decir, retenidas en la columna de agua o separada en fangos),
- el tipo y destino de los fangos (p. ej. fangos de aguas residuales para ser incinerados o procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas para ser esparcidos en tierra).

**Aspectos económicos:** Los ensayos de toxicidad acuática pueden ser caros.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplimiento de la legislación relacionada con el vertido de residuos al agua.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizada en toda la Unión Europea.

**Bibliografía de referencia:** [93, Agencias del Agua de Francia, et al., 2002, 113, EIPPCB, 2003] [128, TWG, 2005] [67, EIPPCB, 2003, 97, EIPPCB, 2005, 113, EIPPCB, 2003][59, EIPPCB, 2005][148, TWG, 2006]

## 20.4 Gestión del agua

En los casos en que la mayor parte del tratamiento superficial se basa en disolventes, el consumo de agua es reducido, aunque se incrementa con las limpiezas de base acuosa o pinturas y tintas de base acuosa. Éstas también pueden aumentar el riesgo de contaminación del agua (p. ej. con residuos de resinas, pigmentos o biocidas vertidos al alcantarillado).

Más información acerca de la descripción de los procesos relevantes para la gestión del agua se puede encontrar en el BREF STM [59, EIPPCB, 2005].

### 20.4.1 Reutilización/reciclado del agua de aclarado

#### 20.4.1.1 Regeneración por intercambio iónico

El agua de aclarado utilizada se puede regenerar. Esto puede conllevar ahorros en el consumo de agua y reducir la cantidad de aguas residuales a tratar, reduciendo los costes de capital en tratamiento de aguas residuales, uso de energía y uso de productos químicos. Sin embargo, esto debe ser comparado con el coste de los equipos de regeneración así como el consumo de energía y de productos químicos que puedan ser necesarios. Cuando se trata del agua de entrada, a menudo resulta más fácil y económico (en términos de capital invertido, productos químicos y energía) recuperar el agua de aclarado que tratar el agua limpia de entrada, puesto que la concentración iónica o TDS del agua de entrada puede ser mayor que la del agua de aclarado [59, EIPPCB, 2005].

#### 20.4.1.2 Reutilización del agua dentro de la planta

**Descripción:** El reciclado de agua utilizando sistemas de circuito cerrado tales como torres de refrigeración (sistemas abiertos y cerrados) o intercambiadores de calor reducen la cantidad de agua utilizada en la línea.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Reduce el consumo de agua y el vertido de aguas residuales.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** La calidad del agua puede tener un impacto significativo sobre la calidad final del producto. En tales casos, la calidad del agua debe ser controlada cuidadosamente, y esto puede limitar el reciclado de agua en el proceso. El uso de productos químicos para el tratamiento del agua puede afectar la calidad del producto y restringir el reciclado del agua.

**Aplicabilidad:** Los sistemas de agua (de aclarado) en circuito cerrado son ampliamente utilizados en intercambiadores de calor y procesos de enfriamiento de recubrimientos orgánicos.

Esta técnica es ampliamente utilizada en el sector del recubrimiento de bobinas.

**Aspectos económicos:** Se produce un ahorro a causa del menor consumo de agua.

**Motivo principal para su aplicación:** Motivos económicos.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004]

### 20.4.1.3 Aclarado en cascada

**Descripción:** El aclarado en cascada inversa (una técnica de múltiples aclarados), combinado con medidas relacionadas de la conductividad y del caudal en el último paso del aclarado con agua, garantiza el mínimo consumo de agua y la mínima generación de residuos.

Normalmente, la cascada consiste en tres fases de aclarado. Cuantas más etapas se utilizan, menor es la cantidad de agua limpia que debe ser añadida en el último paso para mantener los límites de la conductividad. El rebose del primer paso de aclarado generalmente se dirige hacia el tratamiento de aguas residuales.

El aclarado multietapa es especialmente adecuado para conseguir un alto ritmo de aclarado con una pequeña cantidad de agua de aclarado. Por ejemplo, en el aclarado en cascada, el agua circula en dirección opuesta a la de la pieza. Esto da como resultado el requerimiento de calidad de aclarado constante en el agua de aclarado (el criterio de aclarado), y se puede expresar matemáticamente de la forma:

$$Q/t = \{Sk (V/t)\}^{(1/n)}$$

Donde:

- Q/t = cantidad necesaria de agua de aclarado (l/h) para alcanzar el criterio de aclarado
- Sk = criterio de aclarado
- n = número de fases de aclarado
- V/t = arrastre (l/h)
- l = litros
- h = horas

El mayor ahorro se alcanza con la transición de la primera a la segunda etapa. Tal como muestra la Tabla 20.4, es posible conseguir una menor cantidad de agua de aclarado seleccionando el sistema de aclarado correcto. La tasa alcanzable de recuperación está, para un determinado volumen de evaporación, directamente relacionada con la concentración de los productos químicos del proceso en la primera fase de aclarado.

Criterio de aclarado	10 000	5000	1000	200
<b>Número de fases</b>	<b>Cantidad necesaria de agua de aclarado en l/h</b>			
<b>Una fase</b>	10 000	5000	1000	200
<b>Dos fases</b>	100	71	32	14
<b>Tres fases</b>	22	17	10	6

**Tabla 20.4:** Cantidad específica de agua de aclarado (litros de agua de aclarado por litro arrastrado) en función del criterio de aclarado y del número de fases en el aclarado en cascada inversa

**Beneficios ambientales alcanzados:** Reducción del uso de agua y de la generación de residuos. Y ante la introducción de sistemas de aclarado en fases, parcialmente combinados con un sistema de reciclado de agua de aclarado, es posible alcanzar reducciones de la cantidad de agua residual de hasta el 90 %. Cuanto más cerca se está del vertido cero, más completa es la recuperación de productos químicos de proceso y menor es la necesidad de tratamiento de las aguas residuales.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** La conductividad en la última fase de aclarado con agua está relacionada con la carga máxima permitida de contaminantes que pueden influir en los tratamientos superficiales posteriores. El tiempo de vida de los baños de tratamiento químico puede ser mejorado monitorizando los contaminantes presentes en el agua de aclarado mediante la conductividad.

La acumulación de materiales disgregados que pueden reducir la calidad del proceso es probable a menos que se tomen otras medidas de mantenimiento de la solución. La acumulación de materiales disgregados puede ser monitorizada mediante medidas de conductividad.

**Aplicabilidad:** Existen opciones y combinaciones adecuadas para todas las instalaciones donde se utilizan baños de tratamiento.

**Aspectos económicos:** Generalmente, la instalación de técnicas de aclarado en múltiples fases va asociada a mayores necesidades de espacio y de inversión (costes en tanques adicionales, equipos y control para el transporte de las piezas). La reducción del consumo de agua, la recuperación de los productos químicos del proceso y el menor vertido de efluentes, que requieren instalaciones de procesamiento de aguas residuales más pequeñas y menos productos químicos de tratamiento, reducen los costes totales.

**Motivo principal para su aplicación:** Véanse los Aspectos económicos mencionados anteriormente.

**Ejemplos de instalaciones:** Esta técnica es ampliamente utilizada en el sector del recubrimiento de bobinas.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004, 59, EIPPCB, 2006].

### 20.4.1.4 Control del uso del agua

**Descripción:** El uso de agua puede ser optimizado con el fin de alcanzar requerimientos de calidad, por ejemplo mediante evaluación comparativa, cálculo, o análisis químico o fisicoquímico (que puede llevarse a cabo en línea o manualmente). El flujo es controlado por una persona autorizada utilizando técnicas diversas tales como el uso de válvulas del cierre de flujo o el control de parámetros clave. Por ejemplo, para el aclarado, la conductividad en la última etapa de aclarado con agua, está relacionada con la carga máxima permitida de contaminantes que pueden influir en los tratamientos superficiales posteriores. Controlar el vertido procedente de los aclarados utilizando medidas de conductividad puede reducir la cantidad de agua utilizada, porque ayuda a controlar la cantidad de agua de relleno necesaria.

**Beneficios ambientales alcanzados:** El consumo de agua y los residuos asociados al agua de aclarado se reducirán y se alargará la vida útil de los baños químicos de tratamiento posteriores.

**Efectos cruzados:** Reducir el uso de agua podría dar como resultado mayores niveles de emisión, tales como emisiones de DBO y CQD y una sobrecarga en la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas.

**Información operativa:** El equipo para las medidas de conductividad deberá ser robusto tanto en su manipulación como en su mantenimiento.

En el recubrimiento de bobinas, la conductividad permitida en la última etapa de aclarado depende del proceso siguiente, pero generalmente se encuentra entre 10 y 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (20 °C). Las medidas deben ser compensadas con la temperatura.

**Aplicabilidad:** Es aplicable allí donde se utilizan baños de tratamiento químico de base acuosa. Esta técnica es ampliamente utilizada en el sector del recubrimiento de bobinas.

**Aspectos económicos:** Se requieren bajos costes de inversión para el equipo de conductividad. Se reduce el consumo de agua y la generación de residuos con el consiguiente ahorro.

**Motivo principal para su aplicación:** Económicos y estabilidad global del proceso.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004]

## 20.5 Gestión de la energía

La gestión de la energía supone un avance sistemático hacia el uso eficiente de la energía. Incluye tanto medidas técnicas como organizativas. El objetivo es la minimización del consumo y de los costes de energía. Se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

- los datos específicos de la energía deben ser conocidos,
- gestión eficiente de la energía (uso eficiente de la energía y ahorro de costes),
- identificación de las posibilidades de ahorro de energía,
- influencia sobre el comportamiento de la organización (la cultura) y sobre los empleados para ahorrar energía.

Todas las entradas de energía pueden ser registradas en una base real, y separadas según el tipo y su principal uso final, que puede ser mensual, diaria, horaria, etc. Las entradas también pueden ser valoradas comparativamente y optimizadas frente a otras medidas de producción (véase la sección 20.1.3).

Las medidas y técnicas para el ahorro de energía se muestran en la Tabla 20.5 a continuación.

		Referencias
<b>Técnicas generales</b>		
Gestión y mantenimiento de la energía	Diseño para minimizar el uso de la energía	REF (ENE) sobre eficiencia energética
	Sistemas de gestión de la energía, incluyendo la identificación de opciones de ahorro de energía	ENE REF, secciones 20.1.1, 20.2.2
	Recopilación y uso de datos específicos sobre la energía	Sección 20.1.3
	Instalación de equipos energéticamente eficiente (de las referencias específicas, a continuación)	Sección 20.5.3 ENE REF
	Mantenimiento	Sección 20.2.6
<b>Técnicas para la gestión de la electricidad</b>		
Ajuste de la producción, equipos y procesos y de los equipos de procesos asociados	Ejemplos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• controladores ajustables y optimización (p. ej. en prensas de impresión)</li> <li>• optimización del uso de energía en el calentamiento/enfriamiento de espacios</li> <li>• optimización del uso de la energía en la iluminación</li> <li>• uso de la energía en equipos energéticamente eficiente</li> <li>• reemplazo puntual de cojinetes desgastados</li> </ul>	Véase la sección 20.2.5 20.2.6
Motores	Motores de alto rendimiento.	Sección 20.5.3
	Controlador de velocidad variable	
	Reducir la demanda al arrancar, p. ej. mediante: <ul style="list-style-type: none"> <li>• conversión de motores de conexión triángulo a estrella de motores (con menos del 50 % de la carga)</li> <li>• controladores automáticos triángulo estrella</li> <li>• ahorradores de energía en los motores</li> <li>• sistemas de arranque progresivo</li> </ul>	Sección 20.5.2
	Reemplazar las cintas transportadoras en «v» por cintas planas más eficientes energéticamente.	
	Apagar cuando no sean necesarios	
	Reemplazar motores sobredimensionados por motores de las dimensiones adecuadas	
	Mejora de las actividades de mantenimiento, comenzando por la lubricación con manos limpias para garantizar que el rebobinado se lleva a cabo de forma que no dé lugar a pérdidas de eficiencia	
Secado		Sección 20.8
Aire comprimido (sistemas de soplado o de vacío)	Control de fugas	
	Válvulas de aire comprimido en cada máquina	
	Sistema centralizado/compresor conectado en cascada	
	Reducción de la presión de trabajo	
	Compresores eficientes	
	Introducción de aire exterior frío	
Enfriamiento	Enfriamiento por evaporación en torre	CV BREF
	Ajuste electrónico del enfriamiento	
	Sistemas de enfriamiento energéticamente eficientes	



Técnicas para la gestión de gases de entrada		
Secado		Sección 20.8
Calor residual	Reutilización del calor residual de las tecnologías vinculadas	
Calderas y sistemas de vapor	Economizador	
	Condensador de gases efluentes	

		Referencias
Técnicas para la gestión de la energía de gases residuales		
Optimización del diseño y de la gestión de la extracción y depuración		Sección 20.11.1 CWW BREF
Diseño y optimización de la selección del sistema	Selección del tratamiento Eficiencia energética por debajo de las condiciones autotérmicas Relación coste-beneficio del consumo de energía dedicado a la reducción de emisiones de COV	Sección 20.11.1.1
Mantenimiento	Mantenimiento planificado Control del desgaste de los equipos clave (p. ej. cojinetes, etc.) y comprobación de que se mantienen las configuraciones adecuadas	Sección 20.11.1.2
Optimización de las cargas dirigidas hacia el tratamiento de gases residuales	Derivación de las cargas pico	Secciones 20.11.3
	Uso de la sobrecapacidad para el tratamiento de gases residuales	Sección 20.11.1.4
	Mantenimiento de la concentración del disolvente enviado a tratamiento utilizando controladores de frecuencia variable	Sección 20.11.1.5
Técnicas con recuperación de energía	Térmica recuperativa, térmica regenerativa, 2, 3 y múltiples lechos Catalítica	Secciones 20.11.4.3 a 20.11.4.6

**Tabla 20.5: Medidas y técnicas para el ahorro de la energía**

Existe más información acerca de la gestión de la energía en tratamientos superficiales de base acuosa, p. ej., minimización de las pérdidas de energía (corriente) en procesos electroquímicos tales como el galvanizado, uso de la energía eléctrica, calentamiento y enfriamiento, en el STM BREF [59, EIPPCB, 2005], [161, EIPPCB, 2006], [4, Intergraf y EGF, 1999] <http://members.rediff.com/seetech/Motors.htm>. [128, TWG, 2005]

### 20.5.1 Optimización del suministro eléctrico

**Descripción:** Mediante la minimización de las pérdidas de energía reactiva. Cualquier equipo eléctrico alimentado con corriente alterna, como transformadores, motores, etc., absorbe una energía total denominada energía aparente. Ésta se compone de energía activa (en forma de trabajo calor) y de energía reactiva, que es improductiva. La energía reactiva aumenta si la corriente se encuentra fuera de fase en relación con la tensión, y es la diferencia entre los picos de las ondas de tensión y de intensidad. El factor de potencia ( $\cos \varphi$ ) de un dispositivo eléctrico es el cociente entre la potencia activa  $P$  (kW) y la potencia aparente  $S$  (kVA) y equivale al coseno del ángulo entre los picos de las curvas sinusoidales de tensión y corriente. Cuanto más cercano es  $\cos \varphi$  a la unidad (1), más eficiente es el uso de la potencia; cuanto menor es el valor de  $\cos \varphi$ , menos eficientemente se utiliza la energía. Cuando  $\cos \varphi$  se encuentra permanentemente por encima de 0,95, las pérdidas de energía reactiva en los niveles de 15 kV y 150 kV son limitadas.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Minimiza las pérdidas de energía.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Todas las instalaciones que utilizan potencia trifásica. La corrección de potencia, reducción de la energía reactiva y reducción de la demanda instantánea requiere una revisión experta de las necesidades de potencia y su corrección. Todas las instalaciones que utilizan una potencia trifásica significativa pueden garantizar la reducción de la resistencia en la alimentación.

**Aspectos económicos:** Las pérdidas de energía en forma de calentamiento no deseado, energía reactiva, etc. aumentan el consumo de potencia y dan lugar a costes más elevados.

**Motivo principal para su aplicación:** Ahorro de costes.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente usada.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2006, 111, Eurofer, 2003] [148, TWG, 2006, 191, Senior, 2006]

### 20.5.2 Optimización de la demanda eléctrica

**Descripción:** Las elevadas demandas instantáneas pueden ocasionar pérdidas de energía mediante la distorsión del patrón uniforme de los ciclos de corriente alterna de las fases y la pérdida de energía útil. Pueden ser evitados o controlados en el arranque mediante, por ejemplo, la conversión de las conexiones de estrella a triángulo para cargas reducidas, utilizando convertidores automáticos triángulo – estrella, utilizando dispositivos de arranque progresivo, etc.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Minimiza las pérdidas de energía.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Todas las instalaciones que utilizan motores trifásicos.

**Aspectos económicos:** El consumo de potencia innecesaria provoca mayores costes.

**Motivo principal para su aplicación:** Ahorro de costes.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente usada.

**Bibliografía de referencia:** [111, Eurofer, 2003, 191, Senior, 2006]  
<http://members.rediff/seetech/Motors.htm>

### 20.5.3 Equipos energéticamente eficiente

**Descripción:** Es una buena práctica instalar equipos energéticamente eficientes, como motores energéticamente eficientes. Técnicas de gestión tales como un buen mantenimiento preventivo de los equipos con una elevada demanda de energía también pueden minimizar el uso de la energía.

Ver referencias sobre el uso de otros equipos energéticamente eficiente en la Tabla 20.5, más arriba.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Ahorro de energía. El mantenimiento preventivo de ventiladores y motores puede minimizar las emisiones de ruido.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Según el tamaño de la unidad de consumo de energía, el uso de motores energéticamente eficientes es una buena práctica para grandes aplicaciones. Pueden ser especificados para nuevas instalaciones, para el reemplazo de motores defectuosos o para ahorrar costes.

**Aspectos económicos:** Coste adicional mínimo cuando se reemplaza el equipo o cuando se adquieren nuevos.

**Motivo principal para su aplicación:** Ahorro de costes.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente usada.

**Bibliografía de referencia:** [111, Eurofer, 2003]

## 20.6 Gestión de materias primas

### 20.6.1 Gestión justo a tiempo (just-in-time)

**Descripción:** La aplicación de un sistema de gestión just-in-time garantizará que la cantidad solicitada de materiales, p. ej. de pintura o de tinta, que va a ser utilizada para una tarea específica, se ajusta al volumen que se necesita. Por ejemplo, la cantidad pedida de pintura de cierto color se ajustará al volumen necesario para recubrir una franja específica. Esto se aplica a los proveedores externos, y no incluye la preparación de lotes de tintas, pinturas, etc. en las propias instalaciones

**Beneficios ambientales alcanzados:** Se producirán menos materiales de desecho y se utilizarán menos materias primas.

**Efectos cruzados:** Este tipo de sistema de gestión transfiere la carga ambiental al proveedor. Implica la fabricación de lotes de menor tamaño y un incremento del transporte.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Los sistemas de gestión de pinturas se aplican generalmente en plantas de recubrimiento de bobinas, talleres de pintura de vehículos y recubrimiento de madera.

**Aspectos económicos:** Reducción de costes mediante la optimización de la logística.

**Motivo principal para su aplicación:** Reducción de costes.

**Ejemplos de instalaciones:** Todas las plantas de automoción.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.6.2 Control de calidad de pinturas y disolventes

**Descripción:** Las pinturas y disolventes son generalmente aprobados por expertos competentes (propios o externos) antes de su uso en talleres de pintura. Este procedimiento de aprobación consiste en una prueba de calidad a fondo e incluye la verificación de que no se utilizan materiales sustitutos con mayor impacto toxicológico o ambiental. El control de calidad y los procedimientos de verificación deben ser diseñados para tener en cuenta específicamente los riesgos ambientales, para la salud y los riesgos de los productos.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Una evaluación y reducción sistemática de los impactos ambientales adversos a la atmósfera y el agua.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** En grandes compañías donde la aplicación de pinturas es una cuestión de calidad importante.

**Aspectos económicos:** La prueba y aprobación de materiales en las propias instalaciones es muy cara, y sólo se instala para conseguir una alta calidad de pintura.

**Motivo principal para su aplicación:** Exigencias de calidad.

**Ejemplos de instalaciones:** Todos los OEM de automoción.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.6.3 Minimización del consumo de materias primas

Véase también la sección 20.13 sobre minimización y tratamiento de residuos.

#### 20.6.3.1 Sistemas de mezcla avanzados

**Descripción:** Al utilizar sistemas de mezcla automáticos, no es estrictamente necesario utilizar colores normalizados para obtener el color requerido. Los colores específicos se pueden componer a partir de colores no normalizados mediante equipos controlados por ordenador. Esto, sin embargo, requiere un software muy sofisticado y un conocimiento exacto de los colores no normalizados que se van a utilizar para la mezcla. Con este propósito, estos colores no normalizados deben ser medidos mediante un espectrofotómetro e introducir el resultado en el ordenador de control del color.

Por ejemplo, en un sistema de mezcla en línea de productos de dos componentes, tales como pinturas o adhesivos, la cantidad exacta necesaria se dosificará y mezclará inmediatamente antes de su uso. La unidad de mezcla no forma parte de la herramienta de pintado o de aplicación de adhesivo. Es una unidad aparte.

Es posible obtener beneficios proporcionales similares utilizando escalas programables o sistemas de ajuste de color Pantone computerizados.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Reducción de los materiales de desecho y ahorro de recursos. Durante el mezclado manual, se pueden producir pérdidas del 1 o 2 % de disolventes. Éstos forman parte del 15% de emisiones totales de COV. El mezclado automático en máquinas confinadas reduce la mayor parte de estas emisiones. Además, se necesita menos agente limpiador.

En procesos de impresión, la cantidad de tinta residual se puede reducir en un 75 % dependiendo del número de veces que se mezclen las tintas y de las cantidades implicadas. La técnica automatizada permite una dosificación perfecta de modo que no es necesaria ninguna corrección de color, así que tan sólo se prepara la cantidad precisa de tinta.

Con un sistema de mezclado en línea para productos de dos componentes, es posible alcanzar reducciones del 10 – 30 % de los residuos.

**Efectos cruzados:** La automatización requiere energía.

**Información operativa:** Este método de trabajo también hace posible utilizar retornos de pinturas o tintas de impresión como ingrediente para nuevas pinturas o tintas (véase la sección 20.6.3.2). Los retornos de pintura o tintas de impresión se mezclan según el color aproximado,

es decir, verdes claros, verdes oscuros, rojos claros y rojos oscuros. Una vez que se consigue una cierta cantidad, el color resultante se mide y se indica al ordenador que utilice ese color en cuanto se requiera.

**Aplicabilidad:** Comúnmente aplicada en flexografía y huecograbado de envases con tintas de base disolvente, donde se mezclan más de 200 toneladas de tintas listas para impresión al año.

En la industria del recubrimiento de bobinas, la mezcla automatizada de colores se lleva a cabo rutinariamente en las fábricas de pinturas, y la aplicación se ofrece en las líneas del recubrimiento de bobinas, pero no siempre resulta apropiada. Depende del color y de la mezcla de productos. Existen ejemplos de líneas de recubrimiento de bobinas utilizando esquemas de mezcla de colores controlada por ordenador en las propias instalaciones.

Los sistemas de mezclado en línea para productos de dos componentes son aplicables cuando se preparan en equipos dedicado a una única línea de productos. No hay ninguna restricción en las técnicas de aplicación posteriores. En los Países Bajos, se recomienda a las empresas aplicar esta técnica cuando necesitan mezclar más de 2000 litros de pintura de dos componentes. En el caso de adhesivos, se mezclan cantidades relativamente pequeñas. Se aplica comúnmente en el pintado de madera y de mobiliario. También es aplicable al recubrimiento de trenes, p. ej. para aplicar la capa inicial y la imprimación/masilla.

**Aspectos económicos:** En impresión, el coste de inversión depende del tamaño y de los requerimientos exactos, comenzando aproximadamente en 50 000 EUR. Sin embargo, se producen ahorros en las operaciones, porque se utiliza menos tinta y es necesario eliminar menos residuos. Según el tamaño de las operaciones, los ahorros pueden dar lugar a un tiempo de retorno de la inversión favorable.

Para sistemas de mezclado en línea de productos de dos componentes, los costes de inversión son de 9000 – 18 000 EUR para una instalación controlada mecánicamente utilizada para la mezcla de la capa base. Los costes son de 27 000 – 37 000 EUR para una instalación controlada electrónicamente. El tiempo de recuperación de la inversión será generalmente de varios años para empresas que recubran series pequeñas. Sin embargo, esto dependerá de la cantidad de residuos que se ha conseguido evitar, del precio de los materiales que se mezclan y de los costes de eliminación.

**Motivo principal para su aplicación:** El Motivo principal para su aplicación se centra más en la mezcla automatizada que evitar generar residuos. Para la aplicación de adhesivos, la automatización es el motivo principal.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003] [63, Vito, 2003] [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

### 20.6.3.2 Reutilización de pinturas o tintas de retorno

**Descripción:** Las pinturas o tintas de base disolvente y en agua excedentes pueden ser reutilizadas si no están demasiado diluidas ni contaminadas con agentes limpiadores cuando éstos difieren del disolvente utilizado para diluir. Las pinturas o tintas de base acuosa contaminadas con agentes limpiadores no se pueden reutilizar de ningún modo. Para evitar la contaminación del resto de pinturas o tintas, las piezas de las máquinas que contienen la pintura o tinta deben ser vaciadas tan lejos como sea posible antes de su limpieza.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Menor consumo de tinta o pintura nueva y menos residuos a eliminar.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** En general, se pueden reutilizar menos pinturas o tintas de base acuosa en comparación con las de base disolvente. En los procesos de flexografía de base disolvente, la cantidad de tinta residual que debe ser eliminada puede ser reducida en un 30 – 50 % y se necesita menos tinta nueva.

**Aplicabilidad:** La técnica se utiliza cuando se emplean colores normalizados. Cuando se utilizan colores no normalizados, es necesario un sistema de ajuste de colores basado en ordenador (análisis de color) para poder utilizar la mezcla como fuente para una mezcla nueva.

Es aplicable en la impresión offset con secado por calor y el huecogrado de publicaciones donde sólo se utilizan cuatro colores estándar. En estos procesos, se utiliza la misma tinta para el lote siguiente, y ésta permanece en la prensa. Las tintas excedentes de impresión sólo son un problema en los casos en que se mezclan colores específicos para tareas específicas, tal como sucede en la impresión de envases flexibles.

En el recubrimiento de bobinas, es una práctica habitual reutilizar la pintura que sobra de los cabezales de recubrimiento. El bidón se sellará de nuevo para su uso posterior cuando se necesite el mismo producto/color. El único desperdicio procedente de la aplicación de recubrimiento de bobinas es la fina capa que permanece en los rodillos y en el equipo de transferencia, que requiere una limpieza manual de las superficies para permitir los cambios de producto/color.

La reutilización de pinturas recuperadas es difícil en el pintado de madera y de mobiliario donde se utilizan muchos tipos distintos de colores. Es aplicable cuando se utilizan grandes volúmenes de los mismos colores.

**Aspectos económicos:** Ahorro debido al menor consumo de tinta o pintura nueva y la menor cantidad de residuos a eliminar.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004] [63, Vito, 2003] [147, Presti, 2005]

### 20.6.3.3 Reutilización de tintas o recubrimientos recuperados

**Descripción:** Al utilizar recubrimientos, pinturas o tintas de base acuosa, es posible reutilizar los sedimentos recuperados de pintura o de tinta, p. ej. utilizando ultrafiltración (véase la sección 20.12.6). Cuando se captan mezclas de aguas residuales, la pintura o la tinta recuperada pueden ser reutilizadas como aditivo para pintura o tinta negra. Cuando las aguas residuales se captan por separado de cada unidad individual, los distintos colores se pueden reutilizar para el mismo color.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Se generan menos residuos y se consumen menos materiales nuevos.

**Efectos cruzados:** La filtración requiere energía.

**Información operativa:** En procesos de recubrimiento mediante electroinmersión (véase galvanización, sección 20.7.3.4), es posible reciclar la pintura y el agua totalmente desmineralizada utilizando un circuito cerrado. En esta situación a menudo se aplica ultrafiltración.

**Aplicabilidad:** Sólo es aplicable a tintas de un solo componente de base acuosa y pinturas y recubrimientos en polvo de un solo componente de base acuosa o en disolventes. Las restricciones a su aplicabilidad se pueden explicar por los motivos siguientes:

- la tinta negra se utiliza en pequeñas cantidades,
- la tinta de cada color es una preparación diferente de alta calidad,
- el sedimento puede contener agentes limpiadores.

En el sector de la automoción, existe una compañía que utiliza esta técnica en la sección de imprimación.

En el sector de la impresión, se aplica en la impresión de envases flexibles. No es aplicable para envases destinados a la alimentación, puesto que se pueden producir adiciones incontroladas a las tintas.

**Aspectos económicos:** El elevado consumo de energía requerido hace que esta técnica sea más rentable para plantas de tratamiento de aguas residuales.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004] [54, BMLFUW Austria, 2003]

#### 20.6.3.4 Canalización directa de la pintura o de la tinta desde el almacenamiento

**Descripción:** La pintura o la tinta se transportan directamente desde el área de almacenamiento a las unidades de pintado o de entintado a través de sistemas de canalizaciones.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Los sistemas canalizados presentan numerosas ventajas, que son:

- reducción del riesgo de vertido durante la transferencia y decantado,
- eliminación de la necesidad de destapar tanques y depósitos, permitiendo un mejor sellado y reduciendo el riesgo de exposición a contaminantes,
- posibilidad de incorporar caudalímetros para permitir una comprobación precisa.

Menos pinturas o tintas residuales, menos contenedores y menos materiales para limpiar. Por ejemplo, el nivel de residuos alcanzable para una planta de impresión offset con secado por calor es < 1 % de la tinta adquirida.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La canalización directa se aplica en grandes plantas donde se utilizan grandes contenedores de pintura o tinta reutilizable.

En impresión, es aplicable a plantas con consumo de tinta suficiente; comúnmente aplicada en grandes plantas de impresión offset con secado por calor. En el huecograbado de publicaciones, ésta es una técnica estándar. En flexografía y huecograbado de envases, no se aplica debido a los cientos de colores distintos utilizados.

Ampliamente utilizada en la industria de la automoción.



**Aspectos económicos:** La inversión en canalizaciones y bombas es considerable. Por ejemplo, para la industria de la impresión, la inversión mínima es de 5000 – 24 000 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004] [89, UK y Programme, 1996]

### 20.6.3.5 Canalización directa de los disolventes desde el almacenamiento

**Descripción:** Los disolventes para el control de la viscosidad se canalizan directamente desde el área de almacenamiento a las unidades de pintado o de entintado. Para un mejor control, se deberían utilizar canalizaciones por encima del nivel del suelo puesto que las canalizaciones subterráneas de disolventes son una fuente conocida de contaminación grave del suelo y de las aguas subterráneas.

El sistema es eficaz si se acompañan de inspecciones y mantenimientos regulares. De otro modo, las pérdidas de disolventes procedentes de bombas, válvulas y juntas se pueden sumar y convertirse en una fuente significativa de emisiones de COV.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Los sistemas canalizados presentan numerosas ventajas, que son:

- reducción del riesgo de vertido durante la transferencia y decantación,
- eliminación de la necesidad de destapar tanques y depósitos, permitiendo un mejor sellado y reduciendo el riesgo de exposición a contaminantes,
- posibilidad de incorporar caudalímetros para permitir una comprobación precisa.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** En huecograbado de publicaciones, sólo se utiliza tolueno y, por consiguiente, la canalización directa es fácil de aplicar. Sin embargo, en la impresión de envases flexibles, la situación es más compleja porque el control de la viscosidad se lleva a cabo con distintos disolventes según la tarea que se esté realizando. Generalmente se utiliza etanol (para flexografía) o acetato de etilo o mezclas específicas de etanol/acetato de etilo (para huecograbado), en ocasiones MEK (para adhesivos y pinturas) y a veces incluso otros disolventes.

La canalización sin mediciones puede hacer que la medida del consumo de disolventes en partes específicas del proceso sea imposible. Esto reduce la cantidad de datos disponibles para el plan de gestión de disolventes y hace más difícil la identificación y cuantificación de las emisiones fugitivas.

**Aplicabilidad:** Comúnmente aplicada en el huecograbado de publicaciones y procesos de impresión de envases flexibles. Ampliamente utilizada en la industria de la automoción. No es aplicable en la industria del recubrimiento de bobinas. Comúnmente aplicada en el recubrimiento de madera y mobiliario cuando se utilizan grandes volúmenes de pintura, en compañías de tamaño medio o grande.

**Aspectos económicos:** Para nuevas plantas este es un elemento de bajo coste; sin embargo, la conversión es muy cara.

**Motivo principal para su aplicación:** Además de reducir el uso y emisiones de disolventes, también reduce el tiempo en que las unidades de pintado o de entintado no están en funcionamiento.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004] [89, UK y Programme, 1996] [128, TWG, 2005]

### 20.6.3.6 Pintado discontinuo/agrupación de colores

**Descripción:** El pintado discontinuo, también llamado agrupación de colores o pintado en bloque, significa que una serie de productos específicos se pintan de un mismo color. Esto da como resultado cambios de colores menos frecuentes.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Reducción de COV gracias a la reducción de las limpiezas/purgados de la línea de pintura. Producción de menos residuos de pintura.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** Se debe disponer de suficiente espacio para el almacenamiento de los productos así como un sistema de planificación logística adecuado. También depende del número de colores diferentes y de su abundancia relativa en el programa de producción. En la industria de la automoción, la longitud promedio del grupo de color es de entre dos y seis unidades.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es comúnmente aplicada en la industria de la automoción, en el recubrimiento de camiones y vehículos comerciales y en el recubrimiento de envases metálicos. No es aplicable a procesos de impresión.

**Aspectos económicos:** Los ahorros en pinturas, disolventes y tiempos de limpieza/parada se deben comparar con los costes de una mayor capacidad de almacenamiento.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** De uso común en la mayoría de las plantas de automoción.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.6.3.7 Sistemas de rascado

**Descripción:** Este método consiste en llenar el sistema únicamente con la pintura necesaria para el proceso de recubrimiento. La pintura es presionada a través del tubo (flexible) sobre el depósito de pintura mediante un módulo de separación elástico (rascador) y se reutiliza. Las purgas de disolventes pueden ser recuperadas y reutilizadas.

Existe un tipo especial de purgado llamado «soft purging», en que para purgar las pistolas y líneas se utilizan materiales de pintura con menor contenido de COV, en lugar de disolvente.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Las ventajas son el menor uso de agentes limpiadores, la reducción de pérdidas de pintura y de disolvente, así como la reducción de los procesos manuales durante el cambio de color

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Sólo aplicable allí donde:

- las pinturas o tintas se introducen en la maquinaria mediante canalizaciones,
- Se transportan distintos colores a través de la misma canalización con regularidad.

No es aplicable cuando se utilizan productos de baja viscosidad puesto que atravesarían la rasqueta. Actualmente se aplica en algunas líneas de recubrimiento base de talleres de pintura para automoción.

En la industria de la automoción, la tendencia hacia colores más especiales ha iniciado el desarrollo de nuevos sistemas de distribución de lacas permitiendo un cambio económico en los colores. También se aplica el «soft purging».

En la industria del mobiliario, existe una demanda creciente de mobiliario pintado en colores individuales y especiales y, consecuentemente, de sistemas de rascado de tuberías.

Esta técnica no se aplica generalmente en el recubrimiento de trenes.

**Aspectos económicos:** Reducción de costes mediante el consumo de pintura y de disolventes.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Volkswagen AG, Wolfsburg, Alemania; y Renault, Flins sur Seine, Francia.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

## 20.7 Procesos y equipos de recubrimiento

### 20.7.1 Pretratamientos anteriores al pintado

Las técnicas de limpieza y su selección también se analizan en la sección 20.9. También se puede encontrar más información en el STM BREF [59, EIPPCB, 2005].

#### 20.7.1.1 Desengrasado de base disolvente

**Descripción:** El aceite, grasa y suciedad de los sustratos de metal o plástico se eliminan mediante disolventes. Esto normalmente se lleva a cabo mediante inmersión en un tanque de disolvente o en el vapor del disolvente que queda por encima del líquido. Los tanques pueden ser abiertos o cerrados, y se pueden utilizar con sistemas de ultrasonidos.

**Beneficios ambientales alcanzados:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** A menudo se utilizan COV altamente volátiles o halogenados.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Ampliamente utilizado allí donde sea compatible con los materiales. Estos procesos no se aplican en el recubrimiento de madera y mobiliario puesto que no son necesarios y eliminan los aceites de la madera.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2005]

### 20.7.1.2 Pretratamientos de base acuosa

Los pretratamientos de base acuosa se aplican por tres motivos: para eliminar la grasa y la suciedad de operaciones anteriores, para mejorar la resistencia frente a la corrosión y para mejorar la adhesión de las capas de pintura subsiguientes. Los pretratamientos normalmente aplicados son el desengrasado, la fosfatación y el cromado. Se puede encontrar más información en el STM BREF [59, EIPPCB, 2005]. Estos procesos no se aplican en el recubrimiento de madera y mobiliario puesto que no son necesarios y eliminan los aceites de la madera.

#### 20.7.1.2.1 Desengrasado de base acuosa

**Descripción:** El aceite, grasa y suciedad de los sustratos de metal o plástico se eliminan mediante soluciones de detergente de base acuosa. Existe una variedad de detergentes y soluciones ácidas o alcalinas adecuadas para todas las situaciones (véase también la sección 20.9).

**Beneficios ambientales alcanzados:** Reducción de las emisiones de disolvente, particularmente disolventes halogenados.

**Efectos cruzados:** Normalmente requiere calentamiento. Estos sistemas contienen agentes tensoactivos que pueden necesitar el tratamiento de las aguas residuales.

**Información operativa:** Es necesario seleccionar un sistema adecuado para el sustrato y para los aceites/grasas a eliminar.

**Aplicabilidad:** Ampliamente usada. Véase el BREF STM para un análisis de las opciones.

**Aspectos económicos:** Económico de instalar y utilizar.

**Motivo principal para su aplicación:** Cumplimiento legal, p. ej. la SED fomenta el uso de sistemas de base acuosa.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizado en el tratamiento superficial para el recubrimiento de bobinas y de carrocerías para automoción.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2005] [128, TWG, 2005]

#### 20.7.1.2.2 Fosfatación

**Descripción:** Los recubrimientos de conversión de fosfatos se utilizan para mejorar la resistencia a la corrosión y la adhesión de las capas de pintura subsiguientes sobre sustratos de acero. Normalmente contienen hierro, cinc, níquel y manganeso. Pueden ser aplicados mediante pulverización, pero actualmente se aplican mediante inversión para obtener un recubrimiento más completo y consistente. Se incluyen más datos en el STM BREF.

**Beneficios ambientales alcanzados:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** En términos generales, los impactos son bajos. Del mismo modo que los metales, los aniones pueden incluir nitritos y fluoruros, aunque por lo general no es necesario ningún tratamiento específico de las aguas residuales para eliminarlos. En las soluciones que se utilizan en el proceso se forman fangos que requieren ser eliminados y gestionados como residuos. Con componentes tales como nitritos habría que tener en cuenta algunos aspectos sobre salud y seguridad.

**Información operativa:** Véase el BREF STM.

**Aplicabilidad:** Utilizado casi universalmente como pretratamiento para el pintado de acero con grandes volúmenes de pintura. Fácilmente aplicado si el sustrato está bien desengrasado. La superficie puede ser activada mediante soluciones especiales con titanio o magnesio.

**Aspectos económicos:** Económico, dependiendo del grado de automatización del sistema de aplicación.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad de acabado del producto.

**Ejemplos de instalaciones:** Todas las plantas de automóviles, y ampliamente utilizado en otros sectores.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005] [59, EIPPCB, 2005] [128, TWG, 2005]

### 20.7.1.2.3 Recubrimiento de conversión con cromo

**Descripción:** Los recubrimientos de conversión de cromato contienen cromo trivalente o hexavalente. Se utilizan para mejorar la protección frente a la corrosión de diversas superficies metálicas, incluyendo el zinc electrodepositado, el zinc galvanizado en caliente, el aluminio, el acero inoxidable, el acero laminado en frío, el estaño, el cobre y el magnesio.

El mecanismo de protección se basa en la disolución del Cr (VI) presente en la superficie de la capa. La presencia de cromato actúa localmente para inhibir cualquier acción corrosiva sobre la superficie metálica expuesta. Sin esta protección, las superficies de acero recubiertas con zinc tienen una fuerte tendencia a la corrosión con formación de óxido blanco.

Los recubrimientos de conversión de cromo hexavalente y sus técnicas asociadas, incluyendo alternativas, también son analizados en el STM BREF [59, EIPPCB, 2005] .

**Beneficios ambientales alcanzados:** Alargamiento de la vida material del producto. La cromatación no tiene efectos sobre el reciclado de los metales del sustrato.

**Efectos cruzados:** La concentración de cromo hexavalente en el baño de tratamiento afecta, en el caso de aclarados posteriores, la contaminación y el tratamiento de las aguas residuales.

El cromo hexavalente (Cr VI) es tóxico debido a su carácter cancerígeno, así como perjudicial para el medio ambiente. Su utilización está en estos momentos virtualmente prohibida en las industrias de la automoción, y de los productos eléctricos y electrónicos. No se han identificado sustitutos directos hasta el año 2005 [59, EIPPCB, 2005]. Sin embargo, se han identificado alternativas en el recubrimiento de bobinas para aplicaciones de escasa exposición a la corrosión (véase la sección 20.7.1.2.3).

**Información operativa:** El grosor de la capa de los recubrimientos de cromatación es de entre 0,1 y 2  $\mu\text{m}$ . Son adecuados como mediadores en la adhesión para el recubrimiento posterior con capas de pintura o recubrimientos de materiales sintéticos. Es posible incluir lubricantes para disminuir la fricción sobre la tira tratada.

Este sistema se aplica mediante pulverización/inmersión y escurrido o «recubrimiento químico» (recubridor con rodillos).

**Aplicabilidad:** Ampliamente utilizado por motivos de calidad. En el tratamiento de superficies, la cromatación se utiliza para mejorar la protección frente a la corrosión de diversas superficies metálicas, incluyendo el zinc electrodepositado, el zinc galvanizado en caliente, el aluminio, el acero inoxidable, el acero laminado en frío, el estaño y el cobre. Sin esta protección, las superficies de acero recubiertas con zinc tienen una fuerte tendencia a la corrosión con formación de óxido blanco en cuestión de horas.

En la industria de la automoción, la pasivación de la capa de fosfatación con zinc se solía obtener mediante soluciones de cromo (VI) o hexafluoruro de zirconio. Actualmente, se aplica un recubrimiento de imprimación mediante inmersión catódica directamente sobre la capa de fosfato para alcanzar una protección de alta calidad contra la corrosión.

La cromatación se aplica a las aeronaves para una mayor protección frente a la corrosión cuando existen condiciones climáticas de alta humedad y la alta salinidad en la atmósfera o a petición del cliente (alrededor del 10 % de la aeronave). Si la aeronave se va a utilizar cuando las condiciones climáticas son normales se puede aplicar una imprimación libre de cromatos. El cromato que contiene pintura de imprimación anticorrosiva sólo se aplica sobre superficies metálicas y no sobre materiales compuestos. No puede ser sustituida por motivos de seguridad.

**Aspectos económicos:** Económico de utilizar.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizado pero decreciente.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [59, EIPPCB, 2005] [76, TWG, 2004] [102, EC, 2000]

#### 20.7.1.2.4 Recubrimientos de conversión libres de cromo

**Descripción:** Existen algunos sistemas de recubrimiento de conversión libres de cromo, basados en tratamientos con soluciones orgánicas compuestas de fluoruro de zirconio, cloruro de titanio, tartrato, ácido fosfórico o con derivados orgánicos del silicio (silanos). Pueden necesitar una capa polimérica posterior para obtener la resistencia a la corrosión requerida.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Elimina el cromo en forma de Cr (VI) de los residuos de las aguas residuales.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** Las imprimaciones libres de cromo en sistemas de recubrimiento de gran duración sometidos a ambientes agresivos todavía no están completamente probados.

**Aplicabilidad:** Son aplicables a algunas combinaciones específicas de sustratos metálicos y sistemas de pintura, para aplicaciones concretas de uso final, p. ej. para sistemas internos y con bajas especificaciones.

En las industrias de fabricación de vehículos, el recubrimiento electrodepositado de imprimación por inmersión se aplica directamente sobre la capa de fosfato sin cromatación para alcanzar una protección anticorrosión de alta calidad.

El pretratamiento libre de cromo con titanio, ácido fosfórico y polímero orgánico (listado en Tabla 14.9) ha sido desarrollado con un proveedor de productos químicos para los procesos convencionales de pulverización e inmersión. Desde el año 1998, una sola compañía ha utilizado este método con éxito en máquinas de recubrimiento de bobinas.

Actualmente, en el sector aeronáutico, se utilizan recubrimientos de conversión libres de cromo para anodización, de base de tartrato y ácido fosfórico.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Salud y seguridad laboral.

**Ejemplos de instalaciones:** Alternativas al CrVI, Airbus, Francia.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004] [59, EIPPCB, 2005] [128, TWG, 2005]

#### 20.7.1.2.5 **Mantenimiento del baño. Reducción de agua y residuos y reducción de las aguas residuales**

Véase la sección 20.7.5.

### 20.7.2 **Sistemas de pintado**

#### 20.7.2.1 **Pinturas convencionales de base disolvente**

**Descripción:** Las pinturas convencionales de base disolvente contienen aproximadamente el 35 – 80 % en peso de disolventes orgánicos para la regulación de la viscosidad y la formación de la capa. El tipo de disolventes utilizado depende principalmente de las resinas o aglomerantes empleados. Según el proceso de formación de la capa, los materiales se pueden subdividir en:

- recubrimientos termoplásticos, que se secan por la evaporación del disolvente y permanecen químicamente inalterados en la capa de recubrimiento seca, p. ej. acrílicos, vinilos,
- recubrimientos termoestables, que se «secan» por la evaporación del disolvente seguida de un curado químico o reacción para producir una red de polímeros insolubles reticulados, p. ej. poliéster/amino, poliuretano, epoxi,
- recubrimientos de secado oxidativo, resinas alquídicas modificadas con aceites secantes naturales que se curan mediante una reacción con el oxígeno atmosférico.

La selección del tipo del disolvente utilizado se basa en los criterios siguientes principales:

- capacidad para disolver la resina,
- velocidad de evaporación (velocidad de secado),
- riesgo, olor y coste.

**Beneficios ambientales alcanzados:** En comparación con sistemas de base acuosa, se requiere menos energía para el secado.

**Efectos cruzados:** El uso de pinturas convencionales de base disolvente da lugar a las mayores emisiones de COV y seguramente requiere medidas de depuración de las emisiones de COV tal como se describe en la sección 20.11.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Los productos de base disolvente se utilizan como primera capa/juntas, imprimadores y capas protectoras, dependiendo del sector y del sustrato.

Las pinturas de base disolvente se aplican comúnmente en:

- la industria de la automoción: véase la sección 6.4.1.
- el recubrimiento de camiones y vehículos comerciales: véase la sección 7.4.1.
- recubrimiento de autobuses: véase la sección 8.4.2.2.
- recubrimiento de trenes: véase la sección 9.4.1.
- recubrimiento de equipos para la agricultura y para la construcción: véase la sección 10.4.1.
- recubrimiento de barcos y yates: véase la sección 11.4.1.
- recubrimiento de aeronaves: véase la sección 12.4.1.



- recubrimiento de bobinas: véase la sección 14.4.2.
- recubrimiento de envases metálicos: véase la sección 15.4.1.
- recubrimiento de piezas de plástico: véase la sección 16.4.3.
- recubrimiento de mobiliario y materiales de madera: véase la sección 17.4.2.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005].

### 20.7.2.2 Pinturas de base disolvente de alto contenido en sólidos

**Descripción:** El uso de pinturas de alto contenido en sólidos reduce el uso de disolventes en comparación con las pinturas convencionales de base disolvente, incluso aplicando la cantidad requerida de recubrimiento. Su contenido en sólidos alcanza más del 65 % en volumen (p. ej., para yates se utilizan 450 g/l de epoxi para usar bajo la línea de flotación). La formación de la capa están principalmente basados en epoxi, poliuretano de dos componentes, polisiloxano, oxirano o resina alquídica.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Reducción significativa del uso y de las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Para el pintado de maquinaria agrícola y maquinaria para la construcción o dispositivos para uso doméstico, se utilizan mayoritariamente pinturas de alto contenido en sólidos basadas en acrilato e isocianato de poliéster.

**Aplicabilidad:** Ampliamente aplicable.

En el recubrimiento de barcos y yates, generalmente se aplican recubrimientos de epoxi de alto contenido en sólidos a las partes sumergidas de barcos y yates.

En el recubrimiento de aeronaves, a veces se aplican recubrimientos de alto contenido en sólidos en la capa protectora.

En el recubrimiento de trenes, la pintura de alto contenido en sólidos sólo se aplica en la capa protectora de una capa.

En el recubrimiento de autobuses, se aplican pinturas de alto contenido en sólidos en el sistema de capa protectora de una capa.

En el tratamiento de superficies, las pinturas de alto contenido en sólidos son de uso común.

Actualmente no se aplican en envases metálicos.

Actualmente no se aplican en el recubrimiento de madera y de mobiliario porque son demasiado viscosas y dan lugar a un aspecto «plástico» no deseado de las superficies de los productos de madera recubiertos.

**Aspectos económicos:** Los costes de compra de pinturas de alto contenido en sólidos son mayores que los de pinturas convencionales, pero puesto que proporcionan una cobertura mayor, el coste por m<sup>2</sup> suele ser inferior. Se pueden prever ahorros en costes de mano de obra.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [27, InfoMil, 2003, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.7.2.3 Pinturas de base acuosa

**Descripción:** Las pinturas de base acuosa contienen agentes peliculígenos de base acuosa o dispersables en agua. Los sistemas de pintura de base acuosa pueden ser de un componente; sin embargo, principalmente se aplican pinturas de dos componentes y de curado por radiación UV. Se basan principalmente en resinas alquídicas, de poliéster, acrilato, melamina y epoxi. Los recubrimientos en polvo y de suspensión de polvo de base acuosa se analizan en la sección 20.7.2.6 y la sección 20.7.2.7 respectivamente.

Los sistemas de pintura de base acuosa generalmente tienen un contenido de agua del 10 – 65 % en peso y a menudo también contienen < 3 – 18 % de disolventes orgánicos para mejorar la solubilidad y mejorar las propiedades de la capa de recubrimiento húmeda. También existen pinturas totalmente libres de disolventes orgánicos. Los biocidas pueden formar parte de la formulación como conservantes para el almacenamiento de las pinturas, en aplicaciones arquitectónicas y para electrodeposición (que se mantiene en tanques).

Las principales mejoras de estos materiales son su protección anticorrosión y resistencia en el exterior (frente a los impactos climáticos).

Las pinturas de dos componentes de base acuosa muestran una mayor resistencia, especialmente mecánica, y también un muy buen comportamiento aislante incluso sobre maderas ricas en aceites naturales.

**Beneficios ambientales alcanzados:** Las principales ventajas de las pinturas de base acuosa son la reducción de las emisiones de COV y la posibilidad de reciclar la pintura en ciertas aplicaciones, por ejemplo utilizando ultrafiltración. La limpieza de los dispositivos de pulverización y otras herramientas se puede llevar a cabo con agua/mezclas de disolventes con una proporción de disolvente de alrededor del 5 al 20 %.

Otra ventaja es que no hay riesgos de inflamación asociados con estas pinturas, minimizando los riesgos de combustión y explosión.

**Efectos cruzados:** En comparación con los disolventes orgánicos, el agua tiene una mayor energía de evaporación. Por consiguiente, es de esperar que la energía necesaria para el secado de pinturas de base acuosa sea mayor, si se desea alcanzar la misma velocidad de secado que para pinturas de base disolvente. Sin embargo, en comparación con la atomización, aclimatación de las cabinas de pulverización, calentamiento de los sustratos, pérdidas de los hornos, etc. las necesidades de energía para la evaporación de compuestos volátiles se encuentran tan sólo en el rango del 1 % para muchos procesos industriales. El agua, en lugar de los disolventes orgánicos, tiene un menor impacto sobre la energía total del proceso. La energía adicional requerida sólo es significativa para el secado en condiciones ambientales y en el caso de procesos húmedo sobre húmedo.

Puesto que las pinturas de base acuosa tienen eficiencias de aplicación menores, el consumo de pintura puede aumentar. Sin embargo, en la práctica, la menor eficiencia de transferencia es válida para la aplicación con campanas electrostáticas en alta rotación si se utiliza carga externa (siedo un 5 % inferior como máximo). Se puede producir una menor eficiencia de transferencia en la aplicación manual asistida electrostáticamente donde la tensión está limitada por motivos de seguridad. Se dispone de técnicas alternativas (carga interna) y son ampliamente utilizadas. Puesto que los recubrimientos de base acuosa se utilizan principalmente en instalaciones nuevas o remodeladas, normalmente la eficiencia mejora debido a un mayor rendimiento del equipos y

posiblemente a tasas mayores «correcta ejecución a la primera» (right first time). La evidencia procedente de las aplicaciones en automoción muestra eficiencias de transferencia comparables con las de los sistemas de base disolvente.

En las aguas residuales se encontrará un incremento de DBO y CQD, y sustancias tales como biocidas, catalizadores organostánnicos y amoníaco que deberán ser tratadas correctamente.

Según los sistemas utilizados, la cantidad y calidad de los residuos peligrosos puede cambiar significativamente.

**Información operativa:** Las pinturas de base acuosa pueden iniciar problemas significativos de corrosión en los sistemas de pulverización debido a la presencia de agua y oxígeno. La sustitución por pinturas basadas al agua en instalaciones convencionales generalmente exige una modificación significativa de las instalaciones, tal como el reemplazo de las líneas de distribución de pintura por materiales fabricados con acero de alta calidad.

Se ha registrado un incremento de las obstrucciones de los equipos de pulverización en el recubrimiento de mobiliario y de madera. Se desconoce si éste es un problema debido al proceso o si puede ser resuelto mediante formación y adaptación.

Para utilizar pinturas de base acuosa, generalmente se deben cumplir los siguientes requisitos:

- la temperatura ambiente debe estar entre 18 y 28 °C,
- la temperatura de la superficie de las piezas no puede ser inferior a 15 °C,
- el procesamiento óptimo se produce con una humedad ambiental entre 55 y 75 %,
- las pinturas de base acuosa no deben ser almacenadas a menos de 0 °C (daños por congelación),
- buen flujo de aire sobre toda la superficie.

**Aplicabilidad:** Durante muchos años, las pinturas de base acuosa han estado disponibles en el mercado y son ampliamente utilizadas. Gracias al desarrollo permanente de estos materiales, su gama de aplicaciones crece constantemente.

Se aplican comúnmente en la industria de la automoción.

En el recubrimiento de barcos y yates, aunque se dispone de pinturas de base acuosa para diversas aplicaciones, se utilizan sólo en un número limitado de ellas. Las aplicaciones de base acuosa utilizan la pulverización sin aire o rodillos, y no la campana electrostática de alta rotación.

En el recubrimiento de trenes, se aplican pinturas de base acuosa de dos componentes libres de cromatos, basadas en epoxi, en la capa base, imprimación/masilla y a veces en las capas protectoras. Las pinturas de base acuosa también se aplican para proteger el chasis inferior.

En el recubrimiento de autobuses, sólo en algunos casos se utilizan pinturas de base acuosa (recubrimiento por inmersión cataforética y protección del chasis inferior). Con una excepción, no se utilizan pinturas de base acuosa como capas protectoras. Se recubren autobuses urbanos completamente con pinturas de base acuosa en tan sólo una instalación.

En el recubrimiento de equipos para uso agrícola y para la construcción, se aplican comúnmente en forma de recubrimiento por inmersión cataforética y también en capas protectoras de una sola capa.

En el recubrimiento de camiones y vehículos comerciales, se aplican comúnmente en forma de recubrimiento por inmersión cataforética, imprimación/masilla y en los recubrimientos de base de vehículos comerciales, cabinas de camión, chasis y ejes.

En el tratamiento de superficies, si se utilizan recubrimientos de base acuosa, en la mayoría de los casos la aplicación se limita a imprimaciones y recubrimientos de la cara posterior.

En el recubrimiento de envases metálicos se utilizan pinturas de base acuosa. Sin embargo, contienen hasta un 38 % de disolventes orgánicos. El recubrimiento externo de bidones utiliza recubrimientos de base acuosa con < 10 % de disolventes orgánicos.

En el recubrimiento de piezas de plástico, se utilizan comúnmente sistemas de recubrimiento de base acuosa como capa inicial, capa base y, a veces, como recubrimiento incoloro.

En mobiliario y madera, se utilizan comúnmente pinturas de base acuosa de dos componentes y de curado por radiación UV, sobre algunas piezas planas de mobiliario antes de su ensamblaje. Sin embargo, existen limitaciones técnicas, tales como la dilatación de las fibras, dependiendo del sustrato. Al pasar a utilizar productos de base acuosa, el volumen total de productos a secar aumenta, puesto que se necesitan más etapas de pintado y secado, con pulidos con arena y bruñidos intermedios adicionales. Tanto el pulido con arena como el secado adicional dan lugar a un aumento en el uso de energía, materias primas y mano de obra. Como alternativa, se pueden introducir otros tipos de sistemas de secado. Esto puede suponer trabajo de desarrollo nuevo e incrementar los costes. No es posible realizar el acabado de mobiliario ensamblado con UV.

En el recubrimiento de aeronaves, no se utilizan actualmente debido a su escasa resistencia frente a productos químicos tales como el aceite hidráulico. Puesto que la garantía de protección frente a la corrosión ofrecida por el fabricante dura 25 años, sólo es posible utilizar sistemas de pintura específicos aprobados.

Esta técnica no es muy utilizada en embarcaciones.

**Aspectos económicos:** Los costes para cambiar las líneas existentes de pintado automático pueden ser muy elevados en algunos casos. La remodelación generalmente se lleva a cabo al fin de la vida útil técnica de la instalación existente. En los casos en que la pintura se aplica manualmente, los costes de remodelación son inferiores pero todavía significativos, y dependerán de la fracción de equipos manual frente al automático.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [8, IFARE y CITEPA, 2002] [27, InfoMil, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [168, ESIG, 2005] [63, Vito, 2003] [147, Presti, 2005]

### 20.7.2.4 Recubrimientos de base acuosa con bajos requerimientos de vaporización instantánea (flash-off)

**Descripción:** Para el desarrollo hasta obtener recubrimientos de base acuosa, véanse los Información operativa, más abajo. Los sistemas de capa base muestran características similares a los actuales sistemas diluibles en agua.

**Beneficios ambientales alcanzados:** El consumo de energía puede ser inferior que el de sistemas convencionales de base disolvente, e inferior que para la aplicación de sistemas convencionales de capa base diluibles en agua (no es necesario el secado mediante infrarrojos)

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Las capas base estándar de base acuosa necesitan un control estricto de las condiciones de funcionamiento de la cabina de pulverización, un buen control de las

condiciones climáticas de las cabinas de pulverización (con una estrecha escala, rango de funcionamiento), una vaporización instantánea (flash-off) forzada de cinco a seis minutos, y canalizaciones de acero inoxidable. El requerimiento de la evaporación instantánea en particular obstaculiza la aplicación de recubrimientos de base acuosa en instalaciones existentes. Para capas base con vaporización instantánea (flash-off) reducida, basta con un tiempo de vaporización de 90 a 150 segundos (resinas de secado rápido, disolventes altamente volátiles y azeotrópicos, y zonas de soplado a alta velocidad), de modo que encajan en muchas de las líneas existentes. A la vez, se amplía la escala, rango de operación.

**Aplicabilidad:** El uso de este concepto queda limitado por la subsiguiente capa de pintura. Las pruebas han demostrado que es posible conseguir buenos resultados en la calidad de la superficie con un recubrimiento incoloro de dos componentes, mientras que con sistemas de capa incolora de un componente, todavía aparecen algunas imperfecciones en la calidad (p. ej. turbidez). Se han llevado a cabo pruebas en línea con éxito y existen recubrimientos incoloros de uno y dos componentes aprobados.

**Aspectos económicos:** La capa base de base disolvente se puede sustituir por una capa base diluible en agua con un coste técnico reducido (en comparación con el de una planta nueva).

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Los productos con un menor tiempo de vaporización instantánea (flash-off) se utilizan con fines comerciales en Hyundai Assam, Corea del sur, y Alfa Romeo Pomigliano, Italia.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005]

### 20.7.2.5 Pinturas de curado por radiación

**Descripción:** Los revestimientos de curado por radiación basan su curado en la activación de determinados grupos químicos mediante la aplicación de luz UV o de haces de electrones (véase el apartado 20.8.2). Esta propiedad puede hallarse tanto en las resinas como en los diluyentes líquidos, por lo que es posible crear sistemas de revestimiento líquidos que se curen y endurezcan sin necesidad de calor y sin que se produzca ninguna emisión de COVs. Como alternativa, es posible incorporar una funcionalidad química similar en los revestimientos basados en agua e, incluso, en los revestimientos sólidos (en polvo). Entre las resinas de base se incluyen las resinas epoxis, poliésteres y poliuretanos, aunque todas ellas deben presentar una funcionalidad acrílica o vinílica. La reacción de curado se inicia directamente mediante radiación de un haz de electrones (EB) o mediante radiación de luz ultravioleta (UV) a través de un fotoiniciador añadido.

Para obtener más información acerca de:

- curado mediante radiación UV (ultravioleta): véase el apartado 20.8.2.3,
- curado mediante radiación EB (haz de electrones): véase el apartado 20.8.2.4.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las pinturas de curado por radiación, ya sean al agua o libres de disolventes, no generan aguas residuales ni emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** La aplicación de las pinturas de curado por UV puede realizarse utilizando diversas técnicas, entre las que se encuentran la aplicación a brocha, a rodillo, colada, mediante pulverización y por vaporización a vacío. Los revestimientos en polvo curados por radiación se encuentran en fase de desarrollo; no obstante, los revestimientos en polvo son curados básicamente en hornos convencionales a altas temperaturas (véase el apartado 20.7.2.6).

**Aplicabilidad:** Amplio rango de aplicaciones.

En el revestimiento de envases metálicos, los revestimientos curados por UV son ampliamente utilizados en la fabricación de latas de tres piezas; sin embargo, no se aplican en la fabricación de latas embutidos y estirados (DWI) ni de tubos de aluminio.

En cuanto al revestimiento de piezas de plástico, los revestimientos curados por UV se emplean como revestimientos transparentes, por ejemplo, en las cubiertas de ruedas.

En el pintado de muebles y madera, los revestimientos al agua curados por UV se aplican frecuentemente en aquellos casos en los que los paneles planos se pueden revestir de forma independiente y en los que el proceso de revestimiento se lleva a cabo antes de realizar el montaje del mueble.

En la actualidad, este tipo de revestimientos no se utiliza en la industria de la automoción, ni en el revestimiento de aeronaves, barcos, trenes, autobuses, equipos para la agricultura y la construcción, camiones y vehículos comerciales, ni en los tratamientos superficiales (véase también el apartado 22.14.2).

**Aspectos económicos:** El coste de estos revestimientos dependerá de las especificaciones, de las cantidades y del proveedor. Como ejemplo, el coste de las pinturas al agua curadas por UV (con cerca del 50 % de material sólido) es de aprox. 6,50 EUR/kg, superior al de las pinturas convencionales (por ejemplo, el coste de la pintura de poliuretano de 2 componentes es de 4,35 EUR/kg). No obstante, en el caso de las pinturas curadas por UV puras (que son 100 % sólidas), el coste global por m<sup>2</sup> será menor gracias a que el elevado contenido sólido permite alcanzar una mayor eficiencia y gracias también a la posibilidad de reutilizar al menos el 50 % de la niebla de pulverización.

El precio aproximado por kilo de revestimiento en polvo curado por UV se encuentra entre 3,01 y 5,38 EUR.

Los costes de inversión para un nuevo sistema de revestimiento en polvo curado por UV son de unos 875 000 EUR, incluyendo unos 275 000 EUR de la cabina de aplicación y de la instalación de secado y unos 600 000 EUR para la automatización, los materiales tampón (buffer), el sistema de transporte, etc. Los costes de explotación serán prácticamente similares a los de un sistema convencional de aplicación de revestimientos con base de disolvente ya existente.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003, 76, TWG, 2004] [155, UNECE, 2006]

### 20.7.2.6 Revestimientos en polvo curados de forma convencional

**Descripción:** Los revestimientos en polvo son materiales libres de disolventes formados por partículas de polvo con un tamaño que varía entre 25 y 60 µm. En el apartado 20.7.2.5 se describe el desarrollo del proceso de curado por radiación de los revestimientos en polvo, aunque la mayoría de estos revestimientos se curan en hornos convencionales a elevadas temperaturas.

Los principales agentes peliculógenos son las resinas de poliéster o epoxis. Para llevar a cabo el curado, el material es calentado en un horno de convención hasta que se funde y forma una película. Los sistemas de revestimiento en polvo presentan las siguientes ventajas:

- las emisiones de disolventes son prácticamente nulas,
- no es necesario utilizar agua para absorber las partículas de laca en la cabina de pintado,



- escasa generación de residuos si se utiliza la posibilidad de reciclado de la pintura,
- el reciclado de la pintura es técnicamente posible (hasta un 95 %) y necesario por motivos económicos,
- elevada eficiencia de aplicación, hasta el 100 %,
- la elevada proporción de aire que circula por la cabina de pintado permite reducir el consumo de energía.

Sin embargo, el uso de este tipo de revestimientos también presenta las siguientes desventajas:

- resulta difícil controlar el espesor de la película (véase la Información operativa a continuación). Así, por ejemplo, en el caso de la industria de la automoción se formará una capa con un espesor superior al necesario (aprox. 65  $\mu\text{m}$ ), con el consiguiente aumento del consumo de pintura. No obstante, en la actualidad cada vez son más los sistemas que permiten conseguir capas más finas (aprox. 55 - 60  $\mu\text{m}$ ),
- se requieren mayores temperaturas de curado (aprox. 140 – 200 °C) y, por ello, esta técnica no puede aplicarse a todo tipo de sustratos; no obstante, la disponibilidad de revestimientos en polvo para bajas temperaturas (con temperaturas de curado de 60 – 100 °C) es cada vez mayor,
- las condiciones de aplicación se definen de forma estricta (temperatura, humedad),
- la aplicación manual sólo es posible si se satisfacen determinadas normativas de seguridad (frente al polvo, las descargas electrostáticas).

**Beneficios ambientales obtenidos:** La aplicación de revestimientos en polvo no genera ningún tipo de agua residual ni emisiones de COV significativas.

La tecnología de pintura en polvo aplicada mediante pulverización electrostática no requiere la recaptura en agua de las partículas de pintura de la niebla de pulverización. Por ello, no es necesario reprocessar las aguas residuales y puede evitarse el uso de aditivos (como agentes de coagulación).

Las herramientas de aplicación y las cabinas completas pueden limpiarse mediante aspiración o mediante soplado con aire comprimido. De esta manera, se hace un uso sostenible de los recursos y se evitan las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** Se requieren elevadas temperaturas de curado; sin embargo, el curado mediante técnicas combinadas de infrarrojos y circulación de aire permite un mayor aprovechamiento energético que las técnicas de curado convencionales.

Debido a las reacciones químicas existentes, se pueden emitir bajos niveles de COV durante el curado.

Existen posibles riesgos para la salud de los trabajadores debido, por ejemplo, al uso de sustancias mutagénicas como triglicidil isocianurato (TGIC).

Pueden existir posibles riesgos electrostáticos.

**Información operativa:** En los revestimientos en polvo, el problema del espesor de la película no es una cuestión fácil de solucionar. El posible rango de espesores de película aplicable está limitado por la distribución de tamaños de partícula del polvo, así como por la velocidad de aplicación y las condiciones de curado. Así, resulta técnicamente posible aplicar un revestimiento de tan sólo 5 micras, aunque para ello sea necesario que el polvo se deposite en una capa muy fina y que dicha deposición se controle de forma precisa. El problema es que dicho proceso resulta muy caro. Además, estos polvos muy finos presentan escasas propiedades de flujo y transporte, por lo que resultan difíciles de aplicar. Los revestimientos en polvo que se pueden aplicar a un espesor de 30 micras están disponibles para numerosos usos finales. En el otro extremo, es posible aplicar revestimientos de gran espesor mediante sinterizado del polvo, aunque en este caso el factor limitante es el tiempo necesario para transportar el calor que debe fundir, difundir y fusionar el polvo. Si la formulación es termoestable (endurecimiento por



calor), el curado de la superficie puede producirse antes de que se finalice el proceso de fundición y fusión, atrapando burbujas de aire en el interior de la película. A menos que se trate de un uso final muy específico, los espesores de película superiores a 90 micras son poco habituales por una simple cuestión económica.

Actualmente, los revestimientos en polvo se aplican principalmente mediante pulverización electrostática sobre las piezas de trabajo (normalmente sobre el metal, aunque también se aplican sobre superficies de vidrio). Los revestimientos en polvo empleados para el revestimiento en serie de la madera sólo se aplican en un número muy limitado de instalaciones, ya que se requieren elevadas temperaturas de secado. Los tableros de fibra de densidad media (MDF) son un buen ejemplo de una aplicación satisfactoria de los revestimientos en polvo. El uso de revestimientos en polvo también está limitado en el caso de las superficies plásticas debido a la ausencia de conductividad eléctrica y a la sensibilidad a la temperatura.

**Aplicabilidad:** En numerosos sectores industriales, la aplicación de revestimientos en polvo es actualmente una técnica bien establecida. En cuanto a las ventajas ambientales, es posible llevar a cabo la automatización del proceso y un buen aprovechamiento de los recursos gracias a la posibilidad de reciclar la niebla de pulverización, por lo que el uso de los revestimientos en polvo está cada vez más extendido. Los revestimientos en polvo requieren el uso de técnicas de aplicación electrostática y, por ello, son especialmente adecuados para los metales.

En la industria de la automoción, la imprimación en polvo y el revestimiento transparente se usan en una única instalación europea (véase el apartado 6.4.3.2), aunque son ampliamente utilizados en los EE.UU. En la actualidad, y debido a los problemas operativos asociados al cambio de proceso (como la conservación de los colores y acabados correctos), un sistema de revestimiento en polvo no cumple la mayoría de los requisitos de calidad de los fabricantes europeos.

En el revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción, actualmente se está construyendo una instalación que utilizará este tipo de revestimientos. Esta línea de producción sustituirá a un sistema convencional de revestimiento exterior con base de disolvente de 1 capa y 2 componentes. Esta técnica está preparada para la producción en serie de equipos para la agricultura y la construcción.

En cuanto al proceso de tratamientos superficiales, el revestimiento en polvo sólo se usa de forma limitada debido a las dificultades de velocidad de aplicación y control. Estos revestimientos se emplean de forma especial en el sector de la construcción, por ejemplo, para paneles planos, marcos de ventanas y cabinas sanitarias, así como por la industria de procesamiento de láminas metálicas.

En el revestimiento de envases metálicos, puede aplicarse durante la soldadura de las latas de tres piezas, aunque no puede utilizarse en el revestimiento de latas DWI.

En el revestimiento de piezas de plástico, sólo se aplica actualmente en pequeñas cargas en el revestimiento de piezas pequeñas, como piezas que combinan plástico y metal para radiadores de coches.

En el pintado de muebles y madera, hasta la fecha sólo se aplica con éxito en los tableros MDF.

En la actualidad, no se utilizan en el revestimiento de aeronaves, barcos, trenes, autobuses, camiones y vehículos comerciales, empleándose únicamente en el revestimiento de determinados componentes (como en el capítulo 13 sobre revestimiento de otras superficies metálicas y en el capítulo 16 sobre el revestimiento de plásticos). En el caso de las aeronaves y barcos, el argumento que justifica la no utilización de este tipo de revestimiento es la necesidad de una etapa de secado forzado y el hecho de que dicha etapa sólo pueda llevarse a cabo en determinados componentes en este tipo de industria.

**Aspectos económicos:** El coste de estos revestimientos dependerá de las especificaciones, de las cantidades y del proveedor. Actualmente, el precio de los sistemas de revestimiento en polvo sigue siendo superior al de los sistemas de revestimiento convencionales. El precio por kilo en 2006 se encontraba en la escala de 3,01 – 5,38 EUR.

La reconversión de una unidad de aplicación convencional de base disolvente para obtener una unidad de revestimiento en polvo sólo requiere la sustitución de los sistemas de aplicación de la pintura, no siendo necesario sustituir los hornos. No obstante, en la industria de la automoción, los sistemas de revestimiento en polvo requieren el uso de cabinas de pulverización, sistemas de suministro y hornos de curado completamente nuevos.

**Motivo principal para su aplicación:** Reducción de las emisiones de COV.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [155, UNECE, 2006] [168, ESIG, 2005] [89, Envirowise, 2003] [90, Envirowise, 1998]

### 20.7.2.7 Fango (slurry) de material en polvo

**Descripción:** Los fangos (slurry) de material en polvo son partículas en polvo dispersadas y estabilizadas en agua que se aplican utilizando los equipos convencionales empleados para las pinturas líquidas. Pueden utilizarse en la aplicación de revestimientos transparentes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La aplicación de un revestimiento de fango (slurry) de polvo no genera aguas residuales ni emisiones de COV. En el sector de la automoción, se pueden obtener importantes ahorros energéticos mediante la sustitución del revestimiento transparente convencional de 2 componentes por el revestimiento transparente de fango (slurry) de polvo aplicado «húmedo sobre húmedo». Con la aplicación «húmedo sobre húmedo» puede eliminarse la etapa intermedia de secado.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Se requiere una etapa de secado forzado.

**Aplicabilidad:** Esta técnica sólo se utiliza actualmente en el revestimiento de coches (véase el apartado 6.4.3.3).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 20.7.2.8 Materiales previamente revestidos

**Descripción:** Los materiales previamente revestidos pueden utilizarse en el montaje de productos, reduciendo así el número de revestimientos de pintura o eliminando la necesidad de pintar. En el caso de sustratos de revestimiento de dimensiones uniformes, como son los metales revestidos en continuo, los tableros de madera o de fibra, etc., los revestimientos pueden aplicarse utilizando técnicas que serían mucho más difíciles de usar en los productos

ensamblados o en los productos por piezas, pero que resultan mucho más beneficiosas para el medio ambiente (véase el apartado 20.7.3).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Una reducción significativa de las emisiones de COV, dependiente de las actividades de pulverización que se sustituyan por la aplicación de los materiales revestidos en continuo. Uso más eficaz de los materiales. Mayor eficiencia en el secado o el curado. Mayor eficiencia en la captación y eliminación de las emisiones durante el proceso de tratamientos superficiales, ya que la aplicación de los revestimientos y la extracción de los gases residuales son más sencillas y eficaces en el caso de una superficie plana continua que en el caso del revestimiento de componentes y cuerpos ya formados.

**Efectos cruzados:** Ninguno. Aunque las emisiones se trasladen al fabricante de tratamientos superficiales, éstas son menores (véanse arriba los Beneficios ambientales obtenidos).

**Información operativa:** Los materiales previamente revestidos se producen mediante un proceso de tratamientos superficiales (véase el capítulo 14).

**Aplicabilidad:** El metal revestido en continuo suele suministrarse completo, con el revestimiento final, aunque también pueden suministrarse únicamente con la imprimación para someterse posteriormente al proceso de revestimiento. Se utiliza en un número creciente de aplicaciones, incluyendo: productos de edificación y construcción, electrodomésticos (productos de línea blanca), sector de automoción, caravanas y casas móviles (mobil homes), armarios metálicos, etc.

En el revestimiento de trenes, los materiales previamente revestidos en continuo se emplean cada vez más en la producción de vagones de mercancías.

En cuanto a los equipos para la agricultura y la construcción, algunos fabricantes aplican un revestimiento electrolítico o revestimiento exterior antes de que tenga lugar el ensamblaje de las piezas; en estos casos, el uso de materiales revestidos en continuo puede ser una buena opción. En el revestimiento de envases metálicos, los materiales revestidos en continuo se utilizan habitualmente en la fabricación de latas de tres piezas.

**Aspectos económicos:** Reducción de los pasos de producción y de la concentración en las instalaciones principales.

**Motivo principal para su aplicación:** Reducción de las emisiones al entorno y al lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizados.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.7.2.9 Pinturas que contienen metales tóxicos

**Descripción:** En el pasado, los pigmentos de las pinturas contenían metales tóxicos como cadmio, cromo hexavalente, níquel y plomo para aportar color y resistencia a la corrosión a los mismos. Sin embargo, actualmente su uso está estrictamente limitado mediante reglamentaciones de actividades que no forman parte del ámbito de aplicación de este documento, (véase el apartado 1.2.3).

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Materiales tóxicos en el entorno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Aplicaciones especializadas como restauración, etc., que no forman parte del ámbito de aplicación de este documento.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo. Marketing y reglamentación de uso. Legislación sobre productos y residuos.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [102, CE, 2000]

### 20.7.3 Procesos y equipos de aplicación de pintura

Entre los procesos con una elevada eficiencia de aplicación se incluyen la aplicación por relleno, rodillo, colada, inmersión, inundación y revestimiento en vacío. Estos procesos generan menos niebla de pulverización que las aplicaciones por pulverización, pero no se pueden aplicar de forma universal. Existen dos procesos de inmersión: convencional y revestimiento electrolítico.

La pulverización puede realizarse de forma electrostática o no electrostática. En la pulverización electrostática, se genera un campo eléctrico entre la pieza de trabajo y la pistola pulverizadora. Así, se consiguen las siguientes ventajas ambientales y de eficiencia del revestimiento:

- menor consumo de materiales, menores emisiones, menor cantidad de fangos de pintura y escasa contaminación del suelo de las zonas pintadas (menor limpieza),
- mejoradas posibilidades de automatización de los procesos de pintado, mayor rapidez del proceso de revestimiento y, por ello, mayor productividad,
- menor consumo de aire (menor demanda energética).

Las desventajas de las aplicaciones por pulverización electrostática son el riesgo de formación de rebordes y de un espesor excesivo de la capa en las cavidades y en los bordes interiores debido a una excesiva concentración de materiales en dichas zonas. Algunas aplicaciones por pulverización electrostática utilizadas actualmente se describen en las siguientes secciones de este documento. Además, pueden existir requisitos especiales de calidad, geometría, materiales de pintado, conductividad eléctrica (por ejemplo, que afecten a la capacidad para volver a recubrir las superficies) y seguridad en el lugar de trabajo en cuando al uso de altas tensiones.

A pesar de que las técnicas de aplicación electrostática son cada vez más utilizadas, la pulverización sin carga electrostática sigue empleándose de forma generalizada en diferentes aplicaciones. Esto se debe a que, en comparación con los procesos electrostáticos, las inversiones son significativamente menores. Además, no existen requisitos especiales en cuanto a geometría, materiales de pintado, conductividad eléctrica y seguridad en el lugar de trabajo. La desventaja de este tipo de técnicas de aplicación es su baja eficiencia. Por ello, se han desarrollado diversas técnicas que permiten minimizar la niebla de pulverización y cuya eficiencia es comparable a la de los procesos electrostáticos. Dichas técnicas se describen también en las siguientes secciones [128, TWG, 2005].

#### 20.7.3.1 Revestimiento por rodillos

**Descripción:** La aplicación se lleva a cabo mediante rodillos giratorios revestidos de espuma o goma; también es posible el revestimiento a dos caras. El peso de la aplicación puede ajustarse modificando el espacio existente entre los rodillos. Si la pieza de trabajo y el rodillo se mueven en el mismo sentido, sólo se pueden aplicar capas de hasta 12  $\mu\text{m}$ , y únicamente con materiales de revestimiento que posean una cierta viscosidad. Estos problemas no se producen en los procesos de revestimiento inverso, en donde el rodillo gira en sentido opuesto al movimiento de la pieza de trabajo.

Un uso particular del revestimiento inverso es la aplicación de rellenos a la madera. En los procesos automatizados, el material de relleno es aplicado por los rodillos en sistemas de revestimiento inverso y el exceso de material es eliminado. Tras el endurecimiento, la pieza debe someterse a un proceso de abrasión para obtener una superficie lisa.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Dependiendo de la pieza de trabajo y de las condiciones de procesamiento, se puede alcanzar una eficiencia material del 90 – 100 %.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** El revestimiento por rodillos es especialmente aplicable a materiales de 1 y 2 componentes, así como a materiales de polimerización con elevada viscosidad o con un contenido sólido del 100 %.

En el revestimiento de envases metálicos, los sistemas de revestimiento por rodillos se utilizan de forma ordinaria en la aplicación del revestimiento externo de las latas. En la fabricación de latas de tres piezas, los sistemas de revestimiento por rodillos se usan exclusivamente para pintar las láminas. Además, el uso de los rodillos permite aplicar «costuras laterales». En la fabricación de tubos de aluminio extruido, los sistemas de revestimiento por rodillos se usan exclusivamente para aplicar el revestimiento de base.

Esta técnica se utiliza ampliamente en los tratamientos superficiales (véase el apartado 14.4.4.1).

En el revestimiento de madera y muebles, el uso de rodillos se emplea principalmente en piezas de trabajo planas, como paneles (planchas) fabricados en mezclas de madera, aunque también pueden procesarse productos ligeramente curvados como los paneles de madera. Para otras superficies más curvadas, los rellenos se aplican con equipos manuales como las espátulas.

En el sector marítimo, sólo se emplea para el revestimiento de las redes de pesca.

**Aspectos económicos:** Una máquina de relleno de escaso peso utilizada en la industria del revestimiento de madera y muebles, con una anchura útil de trabajo de 1,3 metros y una carga eléctrica instalada de 5,5 kW costaba 55 000 EUR en el año 2000. En otro ejemplo, un rodillo de espuma con una anchura útil de trabajo de 1,3 metros y una carga eléctrica de 3 kW costaba unos 26 000 EUR en el año 2000, mientras que una máquina de dos rodillos (sistema doble) con la misma anchura útil de trabajo y una carga eléctrica de 6 kW costaba 52 000 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Véanse los Aspectos económicos.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

### 20.7.3.2 Revestimiento en cortinas (colada)

**Descripción:** La pintura o el revestimiento se mantienen en un colector y se descargan como en una película laminar a través de la cual pasan las piezas de trabajo. El exceso de material de revestimiento es recogido en un depósito y bombeado nuevamente hasta el colector.

La mayoría de las lacas libres de disolvente basadas en poliéster se aplican utilizando esta técnica, aunque también pueden procesarse otros tipos de materiales de revestimiento. El revestimiento en cortinas permite alcanzar una elevada calidad en cuanto a la uniformidad de las capas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Dependiendo de la pieza de trabajo y de las condiciones de procesamiento, se puede alcanzar una eficiencia material del 90 – 98 %.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** El uso del revestimiento en cortinas permite revestir piezas de trabajo planas o casi planas. En función del tipo de máquina, podrán procesarse pesos de aplicación de entre 40 y 500 g/m<sup>2</sup>.

El revestimiento en cortinas se utiliza principalmente en la industria del mueble para llevar a cabo el revestimiento de puertas, unidades de pared y otras planchas.

También es ampliamente utilizado en el revestimiento de placas de circuito impreso (se puede encontrar más información en el BREF STM [59, EIPPCB, 2005]).

**Aspectos económicos:** Una instalación de revestimiento por colada aplicada a la industria de revestimiento de madera y muebles con una anchura útil de trabajo de 1,3 metros y una carga eléctrica instalada de 3 kW costaba 35 000 EUR en el año 2000.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [59, EIPPCB, 2005]

### 20.7.3.3 Inmersión convencional

**Descripción:** Las piezas de trabajo se sumergen manualmente o son transportadas y sumergidas por sistemas automáticos en un depósito lleno de material de revestimiento. La inmersión puede utilizarse en todos los sistemas de revestimiento de un componente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Entre las ventajas de la inmersión se incluyen una eficiencia muy elevada (de hasta el 100 %), el completo revestimiento de las piezas (tanto las superficies exteriores como las interiores), una excelente relación coste/eficiencia, elevada capacidad operativa y buenas posibilidades de automatización. No obstante, también se han descrito rangos de eficiencia del 80 – 90 %.

No se lleva a cabo ninguna operación de pulverización para eliminar el disolvente, aunque se producirá una cierta evaporación en el depósito.

**Efectos cruzados:** En comparación con la pulverización, la inmersión consigue capas de mayor espesor que, consecuentemente, pueden conllevar un mayor consumo de materias primas. En el revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción, la pulverización (HVLP, gran volumen baja presión) permite obtener una capa con un espesor de 50 µm, en lugar de las 85 µm obtenidas al utilizar la inmersión, con un menor consumo de material (a pesar de que la eficiencia es menor debido a la aplicación de pulverización).

**Información operativa:** Es posible que las piezas de trabajo deban tener orificios de ventilación para liberar el aire atrapado.

En las pinturas al agua, la inmersión puede generar espuma. Las pinturas al agua sólo son estables en un estrecho rango de pH y, por ello, son muy sensibles a la contaminación que puede arrastrarse desde los procesos de pretratamiento (encontrará más información en el BREF STM



[59, EIPPCB, 2005]). Cuando se utilizan pinturas al agua, la etapa de secado posterior al pretratamiento (como los procesos de limpieza) no suele ser necesaria.

**Aplicabilidad:** La inmersión es aplicable a la producción en serie de artículos voluminosos que se revisten en un tono único sin cambios de colores, pudiéndose procesar unos pesos de aplicación de 60 – 200 g/m<sup>2</sup>.

En el revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción, la inmersión se utiliza para la aplicación de revestimientos exteriores de una capa. Normalmente se consiguen capas de 85 µm.

En el revestimiento de madera y muebles, la inmersión suele utilizarse para el revestimiento de marcos de ventanas en madera en un sistema de producción en serie. Sin embargo, la aplicación de esta técnica en el sector de la madera y los muebles es bastante limitada.

En la actualidad, esta técnica no se emplea en el revestimiento de aeronaves ni barcos y, si lo hace, sólo se aplica a componentes recientemente construidos. Tampoco se aplica al revestimiento de trenes.

En el sector marítimo, se emplea para el revestimiento de las redes de pesca.

**Aspectos económicos:** Ésta es una técnica con una buena relación coste/eficiencia.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [59, EIPPCB, 2005]

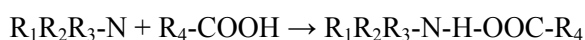
### 20.7.3.4 Revestimiento electrolítico

**Descripción:** También conocido como pintado electrolítico, inmersión electroforética, revestimiento por electrodeposición, ELPO, inmersión cataforética, etc. En un depósito de pintura al agua una corriente eléctrica directa circula entre la pieza de trabajo (que constituye uno de los electrodos) y los electrodos con polaridad opuesta situados en el depósito. De esta manera, se deposita una película protectora estable. Dependiendo de la polaridad de la pieza de trabajo, se llevará a cabo un revestimiento electrolítico anódico (anaforético) o catódico (cataforético), con diferentes características. En un revestimiento anódico, existe la posibilidad de que el sustrato sufra ciertas pérdidas de metal que transformen la superficie metálica fresca en una superficie ácida que pueda oxidarse fácilmente (es decir, corroerse). Sin embargo, esto no sucede en los sistemas anódicos, que son los sistemas más utilizados en la actualidad, y que contribuyen a modernizar los sistemas de revestimiento con elevada resistencia a la corrosión (esenciales como parte de los estándares de calidad, por ejemplo, para los coches).

El electrolito contiene partículas cargadas positivamente de pigmentos pinturas suspendidos y bases (como una resina polimérica), así como partículas cargadas negativamente de aniones de un ácido orgánico R-COOH (normalmente ácido acético, en donde R = CH<sub>3</sub>).

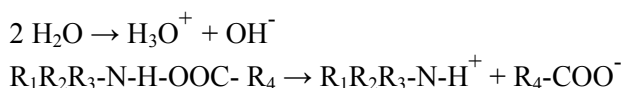
En la disolución (o, mejor dicho, en la suspensión coloidal), los aniones ácidos (en una proporción adecuada) son atraídos hacia las partículas de resina soluble que presentan una elevada densidad de carga. Las partículas de resina están formadas por aminas terciarias de elevado peso molecular (en general, R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>3</sub>-N) que, en la solución ácida orgánica, reaccionan para formar iones amonio cuaternario con una carga positiva.

En la preparación de la pintura, la reacción inicial es:

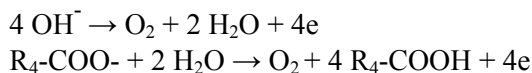




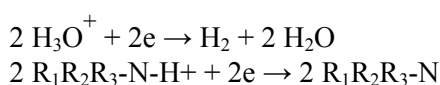
En la disolución se producen procesos de disociación:



En el ánodo se producen procesos electroquímicos:



Las partículas coloidales cargadas positivamente se mueven mediante electroforesis por la solución conductora (con su potencial (voltaje) aplicado) hacia el cátodo (negativo). En una disolución a pH neutro, la primera etapa incluye los siguientes procesos electroquímicos, que tienen lugar en el cátodo para formar una capa de difusión alcalina sobre la superficie del ánodo (con un pH de 12 a 14):



A medida que los cationes (resina y pigmento) reaccionan con los iones hidroxilo para pasar a ser insolubles, las partículas se van depositando por electrodeposición. Finalmente, a medida que las partículas sólidas de las pinturas precipitan en el cátodo, el agua es conducida por electroendósmosis desde las proximidades del cátodo hacia la película semiporosa. El efecto global es la formación de una película fuertemente adherida y físicamente duradera. Dado que la película presenta una resistencia relativamente elevada, el proceso se detendrá por sí solo cuando el espesor de la misma sea prácticamente igual en todas las superficies y bordes.

El arrastre contiene la pintura no depositada, que debe ser eliminada para poder conseguir una elevada calidad en los procesos de revestimiento posteriores.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Todos los procesos de revestimiento electrolíticos actualmente utilizados emplean revestimientos al agua libres de plomo (el plomo ha sido sustituido por itrio o bismuto) con un contenido de disolventes orgánicos de aprox. 2 – 6 %. Cuando se combina con el lavado en cascada inversa con filtración por membrana, esta técnica permite recuperar una proporción muy elevada de la pintura arrastrada (cerca del 100 %).

**Efectos cruzados:** Posible aumento del caudal de aguas residuales. La suspensión de pintura puede contener compuestos organoestánicos como catalizadores, así como otros compuestos ecotóxicos, aunque éstos quedarían retenidos en su mayor parte durante el proceso que tiene lugar en el sistema de reciclado de partículas sólidas de la pintura. El efluente también contiene una sustancia con una DQO (demanda química de oxígeno) de 1000 a 5000 mg/l (cuando se emite desde los procesos de lavado) y una DBO (demanda bioquímica de oxígeno) de 200 a 1000 mg/l (1 – 3 g/m<sup>2</sup> de DQO y 0,2 – 1 g/m<sup>2</sup> de DBO). El 90 % de DQO y el 99 % de DBO pueden eliminarse mediante tratamiento físico-químico seguido de una depuración biológica.

**Información operativa:** Las ventajas del revestimiento electrolítico son:

- la obtención de un revestimiento consistente y completo con un espesor uniforme (incluso en las cavidades) sin que se formen rebordes, en parte debido al hecho de que el proceso limita de forma inherente el espesor de la película,
- los parámetros pueden controlarse con el voltaje (potencial) aplicado, el tiempo de revestimiento y los sólidos del baño (dentro de las limitaciones del proceso),
- un proceso de elevada eficiencia con posibilidades de automatización total.

Las desventajas son:

- el elevado nivel de mantenimiento de los depósitos de pintura necesario para garantizar la calidad,
- los elevados costes de capital de un sistema completo.

El uso de técnicas en cascada y de ultrafiltración para los tanques de lavado del sistema de revestimiento electrolítico es una práctica común (véase el apartado 20.12.6). Encontrará más información en el BREF STM [59, EIPPCB, 2005].

**Aplicabilidad:** Esta técnica se aplica de forma ordinaria en el sector de la automoción para el revestimiento de autobuses, de equipos para la agricultura y la construcción y de camiones y vehículos comerciales.

Puede aplicarse a componentes metálicos, incluso a mezclas de metales como son algunas aleaciones y subconjuntos con latonado o soldadura. También se emplea ampliamente en el revestimiento de una gran variedad de pequeños componentes.

Esta técnica no se utiliza actualmente en el revestimiento de aeronaves, trenes, barcos y yates.

**Aspectos económicos:** Dado que el revestimiento electrolítico suele estar altamente automatizado y que se suministra completo, con sistemas de lavado múltiple a contracorriente y filtración por membrana para recuperar la pintura arrastrada, los costes materiales y de inversión de este tipo de sistemas suelen ser elevados.

**Motivo principal para su aplicación:** Escaso impacto en la seguridad en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizado en la producción de vehículos; CROPUSA, Burgos, España (para componentes).

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [59, EIPPCB, 2005][128, TWG, 2005] [179, Francia y TWG, 2003 177] [180, Chequia, 2006] [181, ACEA, 2003]

### 20.7.3.5 Inundación

**Descripción:** Las piezas de trabajo son transportadas a través de sistemas de transporte hasta un canal cerrado, en donde son inundadas con el material de pintura a través de tubos de inyección. El exceso de material es recogido y reutilizado.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Dependiendo de la pieza de trabajo y de las condiciones de procesamiento, se pueden alcanzar eficiencias del 95 – 99 %.

**Efectos cruzados:** En comparación con las aplicaciones por inmersión, las pérdidas por evaporación son mayores.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Este proceso es especialmente adecuado para piezas voluminosas con una gran superficie, como son los elementos calefactores, para el proceso de pintado de piezas del chasis de un camión o de maquinaria agrícola, así como para la aplicación de sellado de cavidades en la industria de la automoción.

Se pueden procesar unos pesos de aplicación de 60 – 200 g/m<sup>2</sup>.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 20.7.3.6 Revestimiento en vacío

**Descripción:** Las piezas de trabajo se transportan a través de sistemas de transporte hasta una cámara cerrada en la que se crea vacío. Los productos que se van a pintar se llevan hasta dicha cámara a elevada velocidad, y la pintura se aplica desde cuatro ángulos diferentes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Dependiendo de la pieza de trabajo y de las condiciones de procesamiento, se pueden alcanzar eficiencias del 80 – 100 %.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** El revestimiento en vacío puede utilizarse para pintar paneles MDF, madera maciza, chapas, perfiles fabricados con mezclas de papel, paneles de ventanas, zócalos y paneles para paredes y techos.

Además de utilizarse con pinturas al agua, el revestimiento en vacío se ha empleado recientemente en la aplicación de pintura con curado por UV sobre maderas o mezclas de madera. El revestimiento en vacío sólo puede aplicarse a aquellas maderas que soporten el vacío.

**Aspectos económicos:** En un escenario real descrito en 2003, la sustitución de un sistema de pulverización con aire sin aire en la pistola de pinturas al agua con secado por infrarrojos por un sistema de revestimiento en vacío que aplique pinturas de curado por UV supuso un ahorro anual de 262 000 EUR, con un plazo de amortización inferior a dos años. El resultado fue la ausencia de emisiones de COV (14 toneladas/a), residuos (que solían ser de 100 toneladas/a) y una eficiencia material de la pintura de curado por UV del 100 %.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [63, Vito, 2003, 76, TWG, 2004]

### 20.7.3.7 Pintado en el molde

**Descripción:** El revestimiento superficial se aplica en un molde y al material a revestir se le aplica el revestimiento en el interior o encima del molde.

Esta técnica se aplica a los volantes fabricados con materiales PUR de 2 componentes que se vierten y curan en un molde. La producción y el pintado del volante se realizan de forma simultánea. Para llevar a cabo el revestimiento del volante, se aplica un agente de desmoldeo sobre el molde calentado y el material de revestimiento se pulveriza sobre el agente de desmoldeo. Tras un corto período de evaporación, el material PUR con el que se fabrica el volante se vierte en el molde y éste se cierra. El proceso de espumado del PUR comienza de forma simultánea a la adhesión del material de revestimiento al PUR.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La proporción de niebla de pulverización y, por tanto, la pérdida de material, es de cerca del 20 % del material inicial.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Hasta el momento, sólo se han utilizado materiales de revestimiento con base de disolventes, ya que los sistemas de revestimiento en el molde con base de agua se encuentran en fase de prueba.

**Aplicabilidad:** Esta técnica puede utilizarse en la construcción de componentes de resinas plásticas (por ejemplo, cascos de barcos) y en la producción de volantes.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 20.7.3.8 Pulverización convencional a alta y baja presión

**Descripción:** La atomización de la pintura se realiza mecánicamente mediante el uso de aire comprimido. En una pistola pulverizadora convencional, la pintura y el aire comprimido se introducen en un cañón desde el que se atomiza la pintura. El aire descargado transporta las partículas de pintura hasta la superficie. Cuanto mayor es la presión de aire, mayor es la cantidad de pintura pulverizada, aunque también aumentan las pérdidas por niebla de pulverización. Por el contrario, si la presión de aire es demasiado baja, el resultado puede ser un revestimiento de escasa calidad.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** El mayor consumo de recursos en comparación con el resto de las técnicas de aplicación, así como una mayor cantidad de emisiones de COV.

**Información operativa:** Este método permite revestir todo tipo de superficies, pudiéndose alcanzar unas calidades superficiales elevadas.

**Aplicabilidad:** La eficiencia varía entre cerca del 5 % para las piezas tipo reticular hasta el 30 – 60 % para piezas con una gran superficie. En el sector de la automoción se han obtenido eficiencias que varían entre un 18 y un 35 % cuando la pulverización se realiza manualmente de forma no electrostática.

La pulverización convencional puede aplicarse a todo tipo de superficies como, por ejemplo, el revestimiento de vehículos, muebles y maquinaria, pudiéndose procesar unos pesos de aplicación de hasta 250 g/m<sup>2</sup>.

En la industria de la automoción, tras la aplicación electrostática del revestimiento de base suele ser necesario llevar a cabo un procedimiento de aplicación con una pistola pulverizadora convencional, con el fin de conseguir la calidad óptica deseada (efectos metálico y perlado).

Esta técnica se aplica con frecuencia en el revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción, de trenes, de envases metálicos (para el interior de las latas DWI) y en el pintado de la madera y los muebles.

La pulverización convencional es la elección preferida para la aplicación del revestimiento exterior de los yates con elevada calidad, ya que consigue un acabado con gran brillo.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

### 20.7.3.9 Pulverización a gran volumen y baja presión (HVLP) (pistolas pulverizadoras de alta eficiencia)

**Descripción:** La atomización de la pintura se realiza mecánicamente mediante el uso de aire comprimido. Para llevar a cabo la atomización, la pintura y el aire comprimido se introducen en el cañón de una pistola pulverizadora que atomiza la pintura. El aire descargado transporta las partículas de pintura hasta la superficie. Cuando mayor es la presión de aire, mayor es la cantidad de pintura pulverizada, aunque también aumentan las pérdidas por niebla de pulverización debido a la corriente de aire perdida. Por el contrario, si la presión de aire es demasiado baja, el resultado puede ser un revestimiento de escasa calidad. La HVLP genera menor cantidad de pequeñas partículas de pintura atomizadas que las técnicas de pulverización convencional descritas en el apartado 20.7.3.8, debido a la aplicación de una presión de aire reducida.

El concepto de HVLP fue desarrollado en la década de los 80 con la idea principal de alcanzar una eficiencia de transferencia del 60 % mediante la limitación de la presión de atomización a 0,7 bar. Sin embargo, dicha presión no permitió alcanzar la calidad de acabado o la velocidad de aplicación necesarias. Con posterioridad, se han desarrollado nuevos diseños de válvulas de aire que permiten obtener la eficiencia de transferencia necesaria, así como la calidad de acabado y la velocidad de aplicación deseadas, aunque la presión de aire empleada para realizar la atomización sea mayor. En estas pistolas, la presión de atomización es superior a la presión relacionada con HVLP, aunque sigue siendo menos de la mitad de la presión utilizada en las pistolas pulverizadoras con atomización por aire. Las pistolas de baja presión pueden alimentarse desde cualquier tipo de contenedor de pintura acoplado a la pistola, depósito o bomba de suministro de presión. El contenedor de pintura puede situarse encima o debajo de la pistola; en el caso de que el contenedor se coloque encima del nivel de la pistola, podrá utilizarse hasta que quede completamente vacío.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La pulverización HVLP consigue una utilización del material en el rango de 40 – 80 %. En comparación con el pulverizado con aire comprimido a alta presión, se puede conseguir un ahorro de material de hasta el 20 % si el contenedor de pintura se coloca encima de la pistola pulverizadora.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Debido a la generación de partículas de pintura más grandes, la apariencia óptica puede ser diferente de la obtenida con la pulverización convencional. Sin embargo, las pistolas a baja presión modernas permiten obtener revestimientos con una calidad similar a la alcanzada con las pistolas a alta presión, con una carga de trabajo similar. Con la pulverización HVLP, el ritmo de trabajo puede ser bajo y existe un escaso control del espesor de la película seca.

Se pueden procesar unos pesos de aplicación de hasta 250 g/m<sup>2</sup>.

**Aplicabilidad:** La pulverización HVLP puede aplicarse a todo tipo de superficies. En el pintado de la madera y los muebles, la pulverización HVLP se utiliza para aplicar tintes para madera con baja viscosidad; no obstante, también se está utilizando de forma creciente en otros sistemas de pintado. Esta técnica también se aplica de forma extensiva en el sector de automoción general y, con un menor alcance, en el revestimiento de camiones y vehículos comerciales y en el revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción. Por otra parte, dado que los trenes se revisten manualmente, la pulverización HVLP puede aplicarse a los revestimientos exteriores. También se aplica en el revestimiento de piezas de plástico.

Esta técnica no se utiliza normalmente en el revestimiento de barcos (en donde la HVLP se usa en algunas aplicaciones de revestimiento exterior y, posiblemente, en el barnizado) o aeronaves.

**Aspectos económicos:** Las pistolas pulverizadoras de HVLP cuestan unos 275 – 550 EUR, sin incluir los costes de adaptación del compresor y los tubos de aire comprimido para los caudales más elevados. Los costes de formación del personal que puede durar uno o dos días también deben tenerse en cuenta.

El plazo de amortización de la inversión es, frecuentemente, inferior a un año, dependiendo de la cantidad de pintura aplicada y de las eficiencias reales conseguidas.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003, 76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.7.3.10 Pulverización en caliente

**Descripción:** La atomización de la pintura puede realizarse usando aire comprimido o usando la pulverización sin aire en caliente. En este último caso, la pintura y el aire comprimido se calientan, reduciendo la viscosidad del sistema de pintura y permitiendo el uso de una menor cantidad de diluyentes, por lo que las emisiones de COV son menores. El calentamiento (a 60 – 70 °C) de la pintura se realiza en el contenedor de la pistola pulverizadora o a través de tuberías calientes para el aire comprimido y la pintura. Los calentadores continuos se utilizan para calentar el aire comprimido en el caso de pinturas que, de otro modo, comenzarían a reaccionar a dichas temperaturas. Esta técnica puede utilizarse con sistemas epoxi de 2 componentes libres de disolventes con base de agua o de disolvente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La reducida cantidad de diluyentes permite reducir o, incluso, eliminar las emisiones de COV. En comparación con la pulverización convencional, se puede reducir el número de capas.

Se pueden conseguir eficiencias materiales del 40 – 60 %, lo que supone un aumento de la eficiencia de hasta el 10 % en comparación con la pulverización convencional.

**Efectos cruzados:** Es necesario utilizar energía para el proceso de calentamiento.

**Información operativa:** Se utiliza de forma ordinaria para pinturas con elevado contenido sólido, aunque también puede aplicarse a la pulverización de cera caliente. Puede emplearse en las siguientes condiciones:

- 60 – 200 bar cuando se pulverizan pinturas con un elevado contenido de disolvente o agua,
- 200 – 400 bar cuando se pulverizan pinturas con un elevado contenido de sólidos densos,
- pinturas de 2 componentes si se realiza un mezclado en línea (véase el apartado 20.6.3.1).

Gracias al aumento de la temperatura, se pueden aplicar capas de mayor espesor sin que se formen rebordes. No obstante, también se aplican las siguientes restricciones:

- vida útil muy corta,
- costosos equipos,
- se requiere una relación de mezclado en volumen inferior a 10,
- se usa una pintura epoxi con elevado contenido sólido/libre de disolventes,
- el operario debe someterse a formación debido a la dificultad de uso del equipo.



**Aplicabilidad:** El necesario recalentamiento tras los cambios de color hace que esta técnica no sea adecuada para los procesos con cambios frecuentes de color.

La pulverización en caliente se usa en algunas ocasiones para pintar muebles como, por ejemplo, armarios; no obstante, esta técnica también puede aplicarse al revestimiento de barcos y yates.

**Aspectos económicos:** Dado que el espesor de las capas es mayor, los costes por mano de obra son menores en comparación con los revestimientos convencionales y con sus métodos de aplicación.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [27, InfoMil, 2003] [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005]

### 20.7.3.11 Pulverización sin aire

**Descripción:** La atomización de la pintura se realiza mecánicamente mediante el uso de presión hidrostática. La pintura se hace pasar a través de pequeñas boquillas metálicas duras (< 2 mm) a presiones de material de 80 - 250 bar. A continuación, el chorro de pintura se rompe por fuerzas de expansión e interacción del mismo con el aire estacionario del exterior de la boquilla. La técnica de pulverización sin aire puede automatizarse completamente o puede utilizarse de forma manual.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La eficiencia material de la técnica de pulverización sin aire es de aprox. 5 % para las piezas de tipo reticular y del 40 – 75 % para piezas con una gran superficie.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Para obtener unas calidades superficiales similares a las de la pulverización con aire comprimido a alta presión, es necesario ajustar las condiciones de procesamiento. Los cambios rápidos de colores no son posibles debido a las bombas de alta presión esenciales para el sistema.

El uso de pulverización sin aire proporciona un perfil desigual que requiere de una etapa de lijado antes de poder aplicar otros revestimientos más refinados.

**Aplicabilidad:** La pulverización sin aire se usa en la industria de la automoción. También se emplea frecuentemente en la industria del mueble y en el revestimiento industrial de objetos de tamaño considerable como aeronaves, barcos o maquinaria pesada. En los trenes, el revestimiento de base puede aplicarse mediante pulverización sin aire. En los barcos, la gran mayoría de las capas de pintura se aplican normalmente mediante pulverización sin aire, ya que se trata de una técnica barata, rápida y bien conocida que ha sido utilizada durante años. Además, se puede tener un buen control del espesor de la película en seco y puede utilizarse para pinturas de 1 y 2 componentes.

**Aspectos económicos:** Los costes de inversión, incluyendo una pistola pulverizadora, una bomba y el resto del equipo necesario ascienden a 3600 – 7800 EUR, aunque existen costes adicionales necesarios para formar a los operarios.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [27, InfoMil, 2003] [76, TWG, 2004]



### 20.7.3.12 Pulverización con aire sin aire en la pistola

**Descripción:** Las mismas condiciones que cuando se usa la técnica sin aire descrita en el apartado 20.7.3.11.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La eficiencia material para la técnica con aire sin aire en la pistola es del 35 – 70 %.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** La pulverización con aire sin aire en la pistola suele dar mejores resultados que la pulverización sin aire. Con una buena formación del operario, se puede alcanzar el mismo rendimiento que con la pulverización convencional, especialmente en el caso de las imprimaciones.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se aplica, principalmente, en el revestimiento de grandes piezas o superficies. Se utiliza normalmente en el pintado de madera y muebles y se está convirtiendo en una técnica cada vez más común en el acabado de yates.

**Aspectos económicos:** Los costes de inversión, incluyendo una pistola pulverizadora, una bomba y el resto del equipo necesario ascienden a 2600 – 5200 EUR (véase a continuación la Bibliografía de referencia), aunque existen costes adicionales necesarios para formar a los operarios.

En un caso específico, el coste inicial para la aplicación de esta técnica fue de 2900 EUR, mientras que el ahorro en el consumo de pintura fue de 3100 EUR al mes. En este caso particular, el plazo de amortización fue inferior a un mes.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Véanse los Aspectos económicos.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [128, TWG, 2005]

### 20.7.3.13 Atomización de CO<sub>2</sub>, el sistema Unicarb

**Descripción:** En este proceso, los compuestos orgánicos son sustituidos por CO<sub>2</sub>, que es alimentado a la pintura de alta viscosidad. La mezcla de pintura y CO<sub>2</sub> se procesa a temperaturas de 40 – 70 °C con una presión de aprox. 100 bar. La atomización se realiza mediante una aplicación de pulverización sin aire. Debido a la rápida evaporación del CO<sub>2</sub>, es necesario utilizar un chorro de pulverización en forma de campana con una velocidad de las partículas de pintura que es inferior a la de una pulverización sin aire regular.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las primeras experiencias prácticas obtenidas en diferentes sectores, principalmente en EE.UU., muestran reducciones significativas en el consumo de material y en las emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** Es necesario utilizar energía para el proceso de calentamiento. El CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera genera un efecto sobre el calentamiento global, aunque la cantidad puede no ser significativa.

**Información operativa:** Las primeras experiencias prácticas se han obtenido en diferentes sectores, principalmente en EE.UU.

**Aplicabilidad:** Aplicable en diversos sectores. La atomización por CO<sub>2</sub> no es aplicable a las resinas epoxi, ya que el CO<sub>2</sub> reacciona con el agente de curado.

El sustrato debe ser resistente a la temperatura, ya que la mezcla pintura/CO<sub>2</sub> se procesa a temperaturas de 40 – 70 °C. Dicha temperatura puede ser incluso mayor para la madera (riesgo de coloración).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [146, CEI-BOIS, 2006]

#### 20.7.3.14 Procesos de atomización electrostática

**Descripción:** Para llevar a cabo este proceso, la pintura es atomizada mediante un campo eléctrico. A continuación, es transportada hasta la pieza de trabajo a lo largo del mismo campo eléctrico que provoca la atomización.

Existen tres opciones diferentes:

- desfase de pulverización, adecuado para piezas planas sin depresiones. El caudal máximo de material es de 2 – 3 ml/min. El tiempo necesario para los cambios de color es elevado (aprox. 30 minutos). Dependiendo de la pieza de trabajo y de las condiciones de procesamiento, la eficiencia puede ser de hasta el 99 %;
- campana de pulverización, adecuada para piezas pequeñas y estructuras tubulares con pequeñas depresiones. En función del tamaño de las campanas de pulverización, se puede alcanzar el caudal máximo de material de hasta 250 ml/min. Los cambios de color pueden realizarse en unos pocos minutos. La eficiencia material también es muy elevada (hasta el 95 % en función de las condiciones de procesamiento y de la geometría de la pieza);
- disco de pulverización, adecuada también para estructuras tubulares y piezas pequeñas con depresiones. El caudal máximo de material puede ser de hasta 800 ml/min en función del tamaño del disco. Los tiempos necesarios para los cambios de color, así como la eficiencia, son comparables a los de las campanas de pulverización.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Dependiendo de la pieza de trabajo y de las condiciones de procesamiento, la eficiencia varía entre el 95 % y el 100 %. Comparado con la pulverización convencional, la cantidad de residuos generada es menor y las cabinas de pulverización quedan menos contaminadas, por lo que se requiere una menor cantidad de agentes limpiadores. El tiempo necesario para aplicar la pintura también es menor.

**Efectos cruzados:** Consumo de energía.

**Información operativa:** Para aplicarlo a la madera, el contenido de humedad de la misma debe ser inferior al 10 %.

**Aplicabilidad:** En general, para poder realizar aplicaciones por pulverización eléctrica, el sustrato deberá ser conductor, de forma que no sea posible recubrir de nuevo las capas ya existentes (por ejemplo, en la reparación y mantenimiento de barcos). Esto también limita el tipo de revestimientos y sustratos que pueden utilizarse en estas técnicas. Puede ser necesario añadir un aditivo de transferencia de carga. Los materiales al agua no pueden procesarse empleando esta tecnología, por lo que los procesos con atomización electrostática sólo pueden utilizarse para aplicaciones específicas. La ventaja de este tipo de dispositivos es su gran fiabilidad y elevada eficiencia. El efecto de la «jaula de Faraday» hace imposible que las partículas de pintura alcancen las cavidades. Pueden existir problemas como la aparición de pequeños agujeros o de un aspecto de baja calidad.

La pulverización electrostática automatizada suele aplicarse en el revestimiento de coches, camiones y vehículos comerciales.

En el pintado de madera y muebles, la pulverización electrostática se utiliza en ciertas ocasiones para pintar sillas y marcos de ventanas. Suele combinarse con otras técnicas de pulverización como la pulverización neumática, con aire o sin aire en la pistola.

Esta técnica no se utiliza en el revestimiento de barcos y trenes.

**Aspectos económicos:** Un sistema electrostático para la pulverización de pintura líquida que incluya una pistola pulverizadora, un contenedor de ocho litros de capacidad y el equipo asociado cuesta 5100 – 7800 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [62, CITEPA, 2003] [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004]

### 20.7.3.15 Campanas electrostáticas de alta rotación

**Descripción:** Las campanas electrostáticas de alta rotación atomizan la pintura de forma mecánica. Por ello, las propiedades eléctricas de la pintura no son relevantes. En comparación con la atomización electrostática, estos procesos muestran una mayor flexibilidad en cuanto a los materiales de pintura y a los caudales.

Se pueden alcanzar unos caudales de material de hasta 1000 ml/min, y los cambios de color pueden conseguirse en unos pocos minutos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Minimización del consumo de materiales y de la cantidad de residuos.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** La carga puede obtenerse externa o internamente; la carga interna es más cara pero proporciona mayores eficiencias de transferencia. Si se usan pinturas al agua, la pintura no debe cargarse electrostáticamente antes de abandonar la campana de aplicación (cargada externamente). Si se aplican lacas especiales (pinturas metálicas), puede producirse una variación de color y de calidad superficial.

Dependiendo de la pieza de trabajo y de las condiciones de procesamiento, se pueden alcanzar eficiencias de aplicación de hasta el 95 %. En el sector de la automoción, las eficiencias pueden ser de hasta el 70 % cuando se utilizan sistemas electrostáticos cargados internamente. Comparado con la pulverización convencional, la cantidad de residuos generada es menor y las cabinas de pulverización quedan menos contaminadas, por lo que se requiere una menor cantidad de agentes limpiadores. El tiempo necesario para aplicar la pintura también es menor.

**Aplicabilidad:** Pueden procesarse pinturas al agua. Esta técnica puede utilizarse en aplicaciones automatizadas o puede aplicarse manualmente.

Las campanas electrostáticas de alta rotación se utilizan de forma generalizada en el sector de la automoción, y cada vez más en las piezas de automoción.

En el revestimiento de aeronaves, la pulverización electrostática se emplea de forma generalizada.

En el revestimiento de camiones y vehículos comerciales, la pulverización electrostática se emplea de forma generalizada.

Esta técnica no se utiliza en el revestimiento de barcos y trenes.

**Aspectos económicos:** Los procesos cargados internamente suelen costar entre 250 000 y 1 600 000 EUR, dependiendo del tamaño y del porcentaje de automatización.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Renault, Francia.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [68, ACEA, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.7.3.16 Discos electrostáticos de alta rotación

**Descripción:** Los discos electrostáticos de alta rotación atomizan la pintura mecánicamente, de forma similar a las campanas de alta rotación descritas en el apartado 20.7.3.15.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Dependiendo de la pieza de trabajo y de las condiciones de procesamiento, se pueden alcanzar eficiencias de hasta el 95 %. Comparado con la pulverización convencional, la niebla de pulverización es menor y las cabinas de pulverización quedan menos contaminadas, por lo que se requiere una menor cantidad de agentes limpiadores.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Las aplicaciones más habituales son el pintado de perfiles y marcos de bicicletas. Este proceso es adecuado para la mayoría de las pinturas, incluyendo las pinturas al agua. Esta técnica puede utilizarse en aplicaciones automatizadas o manuales. Gracias a unos caudales de material de hasta 1500 ml/min y a una eficiencia material del 95 %, el proceso es apto para las operaciones de pintado industrial universales.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** El tiempo necesario para aplicar la pintura también es menor.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

### 20.7.3.17 Pulverización electrostática con aire comprimido, sin aire en la pistola y con aire

**Descripción:** En la pulverización electrostática con aire comprimido, sin aire en la pistola y con aire, la atomización de la pintura se realiza de forma similar a como sucede en la pulverización con aire comprimido regular, excepto por el empleo de la técnica sin aire. Así, la atomización se realiza generando presión electrostática en el material. Además, las partículas de pintura se cargan electrostáticamente, aunque esto no sucede cuando se aplican pinturas al agua. En función de las condiciones de aplicación, los caudales de material para el aire comprimido alcanzan hasta 1000 ml/min. En las técnicas de pulverización sin aire o con aire sin aire en la pistola, el caudal de material alcanza los 3000 ml/min.

La pulverización electrostática de revestimientos en polvo se describe en el apartado 20.7.3.18.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La eficiencia material es de aprox. 85 %. En el pintado de muebles y madera, se pueden alcanzar unos niveles de eficiencia que varían entre un 50 y un 75 %. Comparado con la pulverización convencional, la cantidad de residuos generada es menor y las cabinas de pulverización quedan menos contaminadas, por lo que se requiere una menor cantidad de agentes limpiadores. El tiempo necesario para aplicar la pintura también es menor.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** El tiempo necesario para producir un cambio de color varía en función del equipo de suministro incorporado (una sola bomba o una bomba para cada color).

Las piezas con geometrías complejas y depresiones pueden pintarse utilizando la pulverización con aire comprimido.

**Aplicabilidad:** Todas las técnicas electrostáticas pueden utilizarse con materiales convencionales y con base de agua. Estas técnicas pueden automatizarse completamente o puede utilizarse de forma manual. En el pintado de muebles y madera, las técnicas de pulverización sin aire en la pistola o con aire sin aire en la pistola se usan principalmente para elevados consumos de material o para elevados volúmenes superficiales como, por ejemplo, en el revestimiento automatizado de muebles (piezas con depresiones), el revestimiento automatizado de marcos de ventanas o el revestimiento manual de grandes piezas.

En la industria de la automoción, las técnicas neumáticas sólo se emplean en algunas aplicaciones, ya sea de forma manual o mediante el uso de robots, como en el revestimiento de interiores.

En el revestimiento de aeronaves, las pulverizaciones electrostáticas se emplean de forma generalizada.

En el revestimiento de trenes, los sistemas de pulverización sin aire pueden usarse para aplicar revestimientos de base; sin embargo, no se dispone de ningún dato relativo a la aplicación de la pulverización electrostática en los trenes.

En el revestimiento de piezas de plástico, las pulverizaciones electrostáticas se emplean de forma generalizada.

Esta técnica no se aplica habitualmente en el revestimiento de barcos, ya que el movimiento del aire es excesivo cuando se trabaja al aire libre y no es posible realizar los trabajos en zonas con escasa ventilación debido al riesgo de explosión. No obstante, se ha utilizado en algunos yates en los Países Bajos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Véase la **Aplicabilidad descrita anteriormente**.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

### 20.7.3.18 Aplicación de revestimientos en polvo mediante pulverización electrostática

**Descripción:** Las partículas en polvo se cargan electrostáticamente y se pulverizan sobre la pieza base usando aire comprimido.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se consiguen eficiencias de material en el rango de 80 – 95 %.

Las cabinas de pulverización y las herramientas de aplicación pueden limpiarse mediante limpieza a vacío o mediante soplado con aire comprimido. De esta manera, se hace un uso sostenible de los recursos y se evitan las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** El aire comprimido requiere el uso de energía.

**Información operativa:** Hay que tener en cuenta la conductividad eléctrica.

**Aplicabilidad:** Aplicado de forma generalizada.

Esta técnica se usa en un escaso número de líneas de tratamientos superficiales, ya que presenta serias limitaciones en cuanto a velocidad y espesor de la película (véase el apartado 14.4.3.3). En el pintado de muebles y madera, se aplica de forma ordinaria cuando se usa un revestimiento en polvo.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.7.3.19 Aplicación de revestimientos en polvo mediante sinterización de polvo

**Descripción:** Para llevar a cabo la sinterización de revestimientos en polvo, las piezas de trabajo deben calentarse por encima de la temperatura de fusión del revestimiento en polvo antes de poder llevar a cabo el proceso de revestimiento en sí mismo. En cuanto el polvo entra en contacto con la superficie, tienen lugar los procesos de sinterización y unión. Para aplicar este principio existen diversas técnicas disponibles, como por ejemplo el revestimiento en lecho fluidizado.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Alta eficiencia de los materiales empleados.

**Efectos cruzados:** Mayor consumo de energía.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Aplicado de forma generalizada.

Una variante de esta técnica se encuentra actualmente en fase de desarrollo para los tratamientos superficiales, aunque para ello utiliza un bloque sólido de material de revestimiento formulado que se «restriega» contra una tira metálica precalentada. Esta nueva técnica no se aplica de forma generalizada (véase el apartado 14.4.3.3).

El sustrato debe ser resistente al calor, ya que es necesario calentar las piezas de trabajo. En algunos casos, dicha temperatura es demasiado elevada para la madera, al existir riesgo de tinción o incendio.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

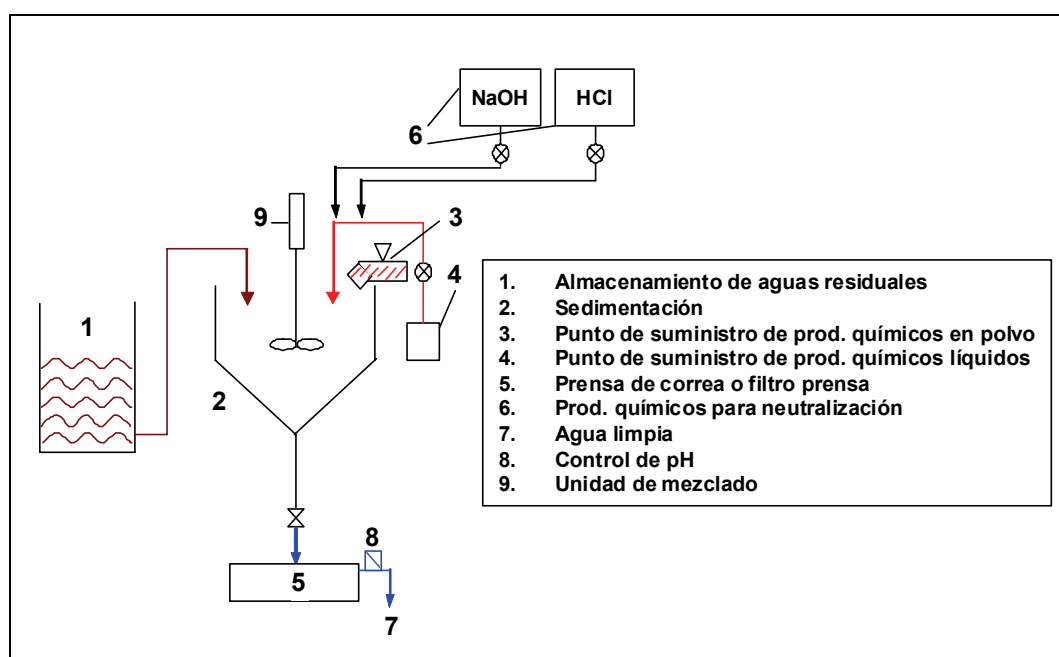
**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [146, CEI-BOIS, 2006]

## 20.7.4 Técnicas para gestionar la niebla de pulverización

### 20.7.4.1 Cabina de pulverización con separación húmeda

**Descripción:** La niebla de pulverización de una cabina de pulverización en la que las superficies se pulverizan con pintura puede interceptarse mediante la colocación de una cortina de agua. La mezcla de pintura y agua es capturada y depurada en un contenedor situado bajo la cabina de pulverización. Para conocer los detalles sobre la depuración de aguas residuales, consulte el apartado 20.12. La Figura 20.2 muestra un esquema de depuración de aguas residuales aplicado a una cabina de pulverización con separación húmeda.



**Figura 20.2:** Esquema de depuración de aguas residuales aplicado a una cabina de pulverización con separación húmeda

[63, Vito, 2003] con referencia a Kluthe Benelux BV

**Beneficios ambientales obtenidos:** Eliminación del material en particulado (TPM). Se pueden conseguir eficiencias del 98 – 99 %. En algunos casos, la pintura se puede reutilizar.

**Efectos cruzados:** Existen aguas residuales que a menudo pueden reutilizarse y fangos contaminados que deben ser eliminados.

**Información operativa:** Las aguas residuales suelen depurarse mediante aplicación de floculación y coagulación. El agua es llevada a través de cascadas o circula gracias a la entrada de aire.

**Aplicabilidad:** Las cabinas de pulverización con separación húmeda pueden utilizarse con pinturas al agua y al disolvente. Se utilizan de forma ordinaria en:

- pintado de madera y muebles,
- industria de la automoción,



- revestimiento de componentes de aeronaves,
- revestimiento de trenes,
- revestimiento de camiones y vehículos comerciales.

**Aspectos económicos:** Los costes estimados de una instalación con capacidad para soportar 2 – 5 m<sup>3</sup>/h de aguas residuales que cubra una superficie de suelo de aprox. 4 m<sup>2</sup> es de unos 20 000 EUR o de 1 – 2 EUR por cada Nm<sup>3</sup>. Este tamaño de instalación es adecuado para pulverizar grandes zonas con diversas cortinas de agua.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004]

#### 20.7.4.2 Cabina de pulverización con pintura sobre pintura

**Descripción:** La niebla de pulverización de un proceso de pulverización de pintura es recogida parcialmente por una pantalla fabricada en Teflón. La temperatura de la pantalla es de tan sólo unos grados centígrados y, por ello, se forma una capa de condensación sobre la misma. La pintura que se recoge sobre la pantalla fluirá en sentido descendente por gravedad hasta un depósito o una cinta transportadora. La pintura recogida será reutilizada.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Normalmente se puede reutilizar un 33 – 50 % de la niebla de pulverización.

**Efectos cruzados:** El consumo de disolventes aumenta en el caso de las pinturas al disolvente.

**Información operativa:** Existen diferentes diseños, también como parte integrante de una zona o línea automatizada de pulverización. La limpieza de la pantalla tras un cambio de color requiere unos cinco minutos.

**Aplicabilidad:** Este proceso es aplicable a pinturas de un solo componente, pinturas al agua y al disolvente. Puede utilizarse en actividades de pulverización automatizadas y manuales. Sin embargo, es menos adecuado para series pequeñas con numerosos cambios de color y para pinturas con una corta vida útil.

En ocasiones, se emplea en el pintado de la madera y los muebles, pero no se usa de forma generalizada debido a los numerosos cambios de color necesarios.

**Aspectos económicos:** El coste energético del enfriamiento de la pantalla es de aprox. 1000 EUR/a. El ahorro incluye una reducción de la cantidad de materias primas, ya que la pintura se reutiliza y la cantidad de pintura residual que hay que eliminar es menor.

El sistema es económicamente viable para empresas que apliquen 15 toneladas o más de pintura al año. Los plazos de amortización descritos en seis casos de estudio se encuentran entre 1,5 y 5 años.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Los seis casos de estudio citados en la primera referencia (véase la Bibliografía de referencia a continuación).

**Bibliografía de referencia:** [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004]

### 20.7.4.3 Técnicas de emulsión con agua

**Descripción:** Las técnicas de emulsión de la niebla de pulverización de pintura pueden utilizarse para eliminar los residuos de los fangos de pintura y los residuos del uso de la cabina de agua. La niebla de pintura pulverizada se concentra en una emulsión y se elimina fuera de la planta. Teóricamente, la pintura puede reutilizarse, aunque en la práctica no se hace.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Este proceso elimina al 100 % el uso de agua en la cabina y reduce la producción de fangos residuales en más de un 95 %. Consigue una separación de partículas de más del 99 % con un contenido de partículas restante de  $< 3 \text{ mg/m}^3$  en el caudal de aire de escape.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Este proceso puede aplicarse a cabinas de pulverización de pinturas al agua, así como de pinturas de un solo componente y pinturas con base de disolvente, y se utiliza en algunas instalaciones del sector de la automoción.

**Aspectos económicos:** Los costes pueden reducirse gracias al ahorro de agua (la emulsión de agua recircula por la cabina) y a la menor limpieza. Los costes de instalación suelen ser de 1 millón de EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** Menor limpieza.

**Ejemplos de instalaciones:** Ford, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004]

### 20.7.4.4 Cabinas de pulverización con placa fría

**Descripción:** Las placas frías se usan para reciclar la niebla de pulverización. Así, la niebla se deposita sobre una pared metálica fría, cae hasta un sistema de recogida y es devuelta al proceso de aplicación.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Normalmente se puede reutilizar la mayor parte de la niebla de pulverización, por lo que el consumo de material disminuye.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se utiliza para reciclar las pinturas y lacas al agua.

**Aspectos económicos:** El precio de estas cabinas de pulverización varía entre 25 000 y 60 000 EUR para un flujo de salida de aire de 5000 – 10 000  $\text{m}^3/\text{h}$ .

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Airtech, Dinamarca.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005]

## 20.7.5 Técnicas de depuración de aguas para reducir la cantidad de aguas residuales y los residuos y para depurar las aguas residuales

El principal objetivo de las medidas que se describen en los siguientes apartados es evitar las pérdidas de materiales y los vertidos al agua, reducir el uso de agua y, consecuentemente, reducir la necesidad de depuración de las aguas residuales. Para hacerlo, se aplican diversas operaciones bien conocidas para la separación de los materiales y las fases. La mayoría de estas técnicas se describen en detalle en el BREF STM [59, EIPPCB, 2005].

### 20.7.5.1 Aclarado múltiple (en cascada)

**Descripción:** El proceso incluye etapas de desengrasado, fosfatado y revestimiento electrolítico, seguidas de una etapa de aclarado para eliminar el material sobrante del producto. Para minimizar el consumo de agua, se usa una cascada de aclarado con más de un tanque de aclarado. El flujo de agua en un tanque a otro es opuesto a la dirección del flujo de material. Los sucesivos pasos de dilución mejoran el resultado del aclarado y reducen la cantidad de agua necesaria para conseguir la dilución necesaria del contaminante en la superficie. En el BREF STM se describen más detalladamente las diferentes opciones de aclarado múltiple.

El material transportado desde el primer tanque puede incorporarse nuevamente al baño del proceso. Este paso puede simplificarse empleando técnicas de concentración como las descritas en el apartado 20.4. En el BREF STM se describen técnicas adicionales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Ahorro de materiales, que son devueltos al tanque de proceso. Existe una reducción significativa del consumo de agua corriente y de la producción de aguas residuales.

**Efectos cruzados:** Se pueden generar mayores concentraciones de contaminantes en las aguas residuales.

**Información operativa:** Necesario para evitar problemas de calidad en el proceso de pintado.

**Aplicabilidad:** Las disposiciones en cascada se aplican de forma ordinaria en procesos de pretratamiento, por ejemplo, en la industria de la automoción, en el revestimiento superficial (véase el apartado 14.4.1.2) y en el revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción.

**Aspectos económicos:** Menor coste de agua corriente y de depuración de las aguas residuales.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad, reducción de costes y obligación legal en algunos Estados miembros.

**Ejemplos de instalaciones:** Aplicado de forma generalizada.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [59, EIPPCB, 2005] [76, TWG, 2004] [58, ECCA, 2004]

### 20.7.5.2 Uso de intercambiadores iónicos

**Descripción:** Un intercambiador iónico sirve para realizar el mantenimiento del baño y para ahorrar agua en las etapas de fosfatación y pasivación (véase la Figura 20.3). Aquí, el intercambio de iones puede utilizarse para retirar los iones metálicos, que son transportados desde el depósito de fosfato hasta el primer baño de aclarado.

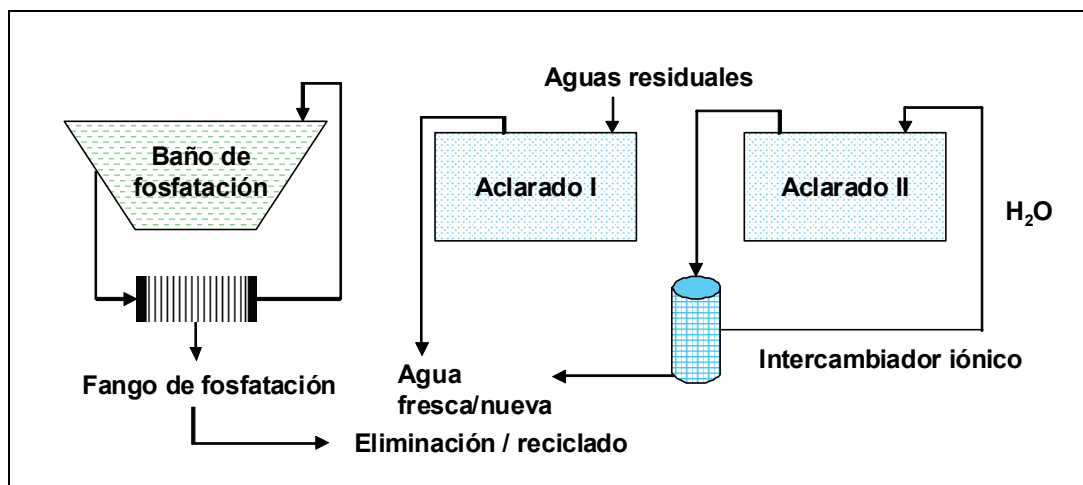


Figura 20.3: Esquema de una unidad de fosfatación con un intercambiador iónico [13, DFIU e IFARE, 2002]

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menor consumo de agua en la cascada de aclarado. Menor cantidad de residuos y con mayor concentración.

**Efectos cruzados:** Consumo de materias primas y de energía para regenerar el intercambiador iónico. Se producen residuos durante la regeneración.

**Información operativa:** Existirá un mayor esfuerzo de mantenimiento técnico y, posiblemente, un deterioro de la seguridad operativa si el servicio no es realizado por expertos, dado que se puede producir contaminación por gérmenes y abrasión mecánica permanente de las partículas.

**Aplicabilidad:** Se utiliza de forma ordinaria en el sector de la automoción y en el revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción.

**Aspectos económicos:** Ahorro de agua corriente y ahorro en la depuración de las aguas residuales.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad de los procesos de aclarado y producción, reducción de costes y obligación legal en algunos Estados miembros.

**Ejemplos de instalaciones:** VW Wolfsburg, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002, 76, TWG, 2004]

### 20.7.5.3 Filtración por membrana

**Descripción:** Algunos tipos de procesos de filtración por membrana se aplican con tratamientos acuosos previos como, por ejemplo:

- la regeneración del baño de desengrasado mediante la eliminación del aceite se lleva a cabo por ultrafiltración,
- los agentes de neutralización liberados durante el revestimiento electrolítico se difunden a través de las membranas de intercambio de aniones integradas y se pasan a una solución en el circuito de circulación del anolito,
- la ultrafiltración se utiliza para separar los residuos sólidos de la pintura de revestimiento electrolítico transportados en el agua de aclarado, introduciéndolos nuevamente en el baño de inmersión (véase el lavado múltiple, apartado 20.7.5.1).

En el BREF STM se describen detalles adicionales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Retención de materias primas. Menor consumo de agua. Se reduce la cantidad de aguas residuales y los contaminantes están más concentrados.

**Efectos cruzados:** La producción de agua y el caudal de aguas residuales que deben depurarse.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Estas técnicas se emplean de forma generalizada en el sector de la automoción.

**Aspectos económicos:** Menor coste de agua corriente y de depuración de las aguas residuales.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad de los procesos de aclarado y producción, reducción de costes y obligación legal en algunos Estados miembros.

**Ejemplos de instalaciones:** Aplicado de forma generalizada.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2005] [76, TWG, 2004]

#### 20.7.5.4 Eliminación de los fangos del baño

**Descripción:** En la pulverización y el desengrasado del baño de las carrocerías de los coches en el taller, las partículas se introducen en el baño de limpieza. Con el tiempo, la parte inferior del baño de limpieza se recubre con fango. Estos residuos se retiran manualmente tras el bombeo de los fluidos, depositándolos temporalmente en tanques de reserva (tanque de recuento). Este mismo procedimiento se lleva a cabo de forma periódica con los fangos de fosfato de hierro generados en el proceso de fosfatación.

En el BREF STM se describen éstas y otras técnicas de mantenimiento.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se consigue la conservación del material al ampliarse la vida útil de los baños de pretratamiento.

**Efectos cruzados:** Producción de residuos.

**Información operativa:** La frecuencia a la que debe realizarse la eliminación de fangos depende en gran medida del resto de las operaciones de mantenimiento. Normalmente, los baños de desengrasado se limpian cada dos o seis meses y los baños de fosfatación se limpian entre una vez al mes y una vez al año.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se emplea de forma generalizada en el sector de la automoción.

**Aspectos económicos:** Ahorro en la fabricación de soluciones frescas, nuevas.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad del pretratamiento. Prolongación de la vida útil del baño. Menor consumo de material. Ahorro de costes al reducir la adquisición de material y la depuración de aguas residuales.

**Ejemplos de instalaciones:** Aplicado de forma generalizada.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2005] [76, TWG, 2004]

#### 20.7.5.5 Filtración de la solución de proceso

**Descripción:** Las partículas se retiran continuamente de los fluidos de proceso mediante filtración. Normalmente se usan filtros de arena o filtros de tela.

En el BREF STM se describen éstas y otras técnicas de mantenimiento.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se consigue la conservación del material al ampliarse la vida útil de los baños de pretratamiento. Reducción del tratamiento requerido.

**Efectos cruzados:** Producción de residuos (filtrados y filtros).

**Información operativa:** Necesario para evitar problemas de calidad en el proceso de pintado.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se emplea de forma generalizada en el sector de la automoción.

**Aspectos económicos:** Ahorro en la fabricación de soluciones frescas, nuevas y en el tratamiento de los productos rechazados.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad.

**Ejemplos de instalaciones:** Aplicado de forma generalizada.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2005] [76, TWG, 2004].

### 20.7.5.6 Descarga continua de fangos de pintura

En las cabinas de pulverización con separación húmeda, la vida útil del agua puede ampliarse hasta un año mediante la descarga continua de los fangos de pintura.  
[13, DFIU e IFARE, 2002]

### 20.7.5.7 Sistema de decantación

En las cabinas de pulverización con separación húmeda, los sistemas de decantación aumentan la vida útil del agua. Esta técnica se emplea de forma ordinaria en:

- la industria de la automoción,
- el revestimiento de camiones y vehículos comerciales,
- el revestimiento de trenes.

[13, DFIU e IFARE, 2002]

### 20.7.5.8 Coagulación de partículas sólidas de pintura en sistemas de limpieza húmeda

**Descripción:** En el pintado por pulverización se produce niebla de pulverización que, en las plantas de pintado industrial o cabinas de pulverización, es capturada en sistemas de lavado húmedo. El agua necesaria para limpiar el aire residual circula por un sistema cerrado. No obstante, la niebla de pulverización o el fango de pintura deben eliminarse de dicho agua para poder mantener unas condiciones de funcionamiento adecuadas.

La niebla de pulverización de las pinturas con base de disolvente no suele formar una dispersión en agua, sino que forma una capa coagulada flotante que se puede retirar fácilmente. Si se usan adsorbentes para desadherir dicha capa, la niebla de pulverización se distribuye dentro del proceso de limpieza y puede retirarse en una derivación o en una ruta de flujo principal. La clarificación del agua se lleva a cabo mediante el uso de agentes de precipitación o floculación.

Por el contrario, las pinturas al agua están formadas en su mayor parte por componentes que formarán una suspensión en el agua. Estos mismos métodos de separación se emplean para las pinturas con base de disolvente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menor consumo de agua en el sistema de circulación.

**Efectos cruzados:** El coágulo debe retirarse del circuito de agua y debe desecharse.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Estas técnicas se emplean de forma generalizada en el sector de la automoción.

**Aspectos económicos:** Menores costes de agua corriente y de depuración de las aguas residuales.

**Motivo principal para su aplicación:** Es necesario utilizar lavadores húmedos de gases para poder retirar las partículas de pintura del aire residual. La coagulación continua es el método más adecuado para mantener una larga vida útil del ciclo de agua.

**Ejemplos de instalaciones:** Aplicado de forma generalizada.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

## 20.8 Secado o curado

El secado es uno de los procesos que más energía consume. El secado se usa para:

- secado de pintura,
- secado de tinta,
- secado de adhesivos,
- secado de agua retenida o de otros líquidos procedentes de zonas de pretratamiento o lavado,
- gelificación y solidificación de adhesivos o materiales de protección del chasis inferior de los vehículos,
- pretratamiento de piezas de trabajo (frente a superficies frías o aire atrapado en el lacado de la madera).

### 20.8.1 Procesos de evaporación

#### 20.8.1.1 Secado convencional por convección

**Descripción:** El aire caliente circula por el secador o el horno para llevar el calor hasta la pieza de trabajo. El aire está en contacto directo con el objeto o la superficie a secar. El tiempo de secado depende del objeto o sustrato, del tipo de revestimiento y del espesor del revestimiento, y varía desde unos pocos segundos hasta una hora completa.

Para secar revestimientos al agua o para llevar a cabo el paso de presecado de construcciones en capas «húmeda sobre húmeda» se usa aire deshumidificado, empleando secadores por convección con una etapa de deshumidificación adicional. Debido a la eliminación de agua, los tiempos de secado se pueden reducir significativamente.

Los secadores se construyen como secadores de línea plana, secadores de boquilla, sistemas de bandejas o secadores de torre. La demanda de energía depende en gran medida de las pérdidas de calor del secador.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.



**Información operativa:** El tiempo y la temperatura de secado influyen en la calidad de la superficie. Existe un riesgo de inclusión de polvo en la capa húmeda. Los tiempos de secado son bastante prolongados y la demanda de energía es elevada. No obstante, con esta técnica de secado se puede alcanzar un elevado nivel de automatización y existe una gran flexibilidad.

Dado que el secado por convección requiere que un aporte de calor constante, el riesgo de sobrecalentamiento es bajo, incluso cuando se producen paradas cortas de los transportadores.

El secado por aire circulante puede combinarse con el curado por radiación infrarroja (reactor térmico) para reducir el tiempo de secado y el consumo de energía. Esta combinación se aplica en el pintado de la madera y los muebles, aunque los datos sugieren que no se trata de una práctica común en la Europa de los 25.

**Aplicabilidad:** En secadores utilizados para realizar movimientos rápidos, sustratos continuos como el papel y las láminas de plástico o en corrientes continuas de pequeños objetos como latas de bebidas, el tiempo de secado se mide en segundos y la longitud de los secadores en centímetros. El factor más importante no es la temperatura, sino el flujo de aire. Es posible ahorrar energía haciendo recircular el aire, aunque esto está limitado por la necesidad de evitar un incendio o explosión y de evitar los malos olores en el producto final. Los secadores se calientan por medio de llama, vapor, aceite térmico o electricidad.

Esta técnica es aplicable a todos los materiales de revestimiento o impresión con secado por calor, tanto con base de disolvente como libres de disolvente. No existe una limitación en cuanto al espesor de la capa o a la pigmentación. La geometría del sustrato revestido no es relevante, aunque sí debe ser resistente al calor.

Los secadores por convección pueden utilizarse para secar capas de pinturas al agua, en un paso de presecado o en las construcciones en capas «húmeda sobre húmeda». Se utilizan de forma generalizada en el revestimiento de parachoques de plástico, en procesos de tratamientos superficiales, en el pintado de madera y muebles, en la fabricación de cintas adhesivas y en el sector de la automoción.

Los secadores por convección se emplean de forma ordinaria en la fabricación de abrasivos.

**Aspectos económicos:** Los costes de secado constituyen hasta un 15 – 20 % de los costes energéticos totales de la línea de pintado en la industria de la automoción.

Un secador por convección utilizado durante 10 minutos en la industria del revestimiento de madera y muebles con una carga eléctrica instalada de 30 kW y una salida de aire de 1500 m<sup>3</sup>/h costaba 60 000 EUR en el año 2000, sin incluir el control eléctrico y la unidad de transporte.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [12, UBA Alemania, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.8.1.2 Secado por convección de gas inerte

**Descripción:** El gas inerte es calentado por gas o vapor por medio de intercambiadores de calor o de gasóleo. La aplicación de un gas inerte en lugar del aire normal permite alcanzar cargas de disolvente superiores a 1200 g/m<sup>3</sup> de nitrógeno.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El gas inerte puede contener mucho más disolvente que el aire normal. En un proceso de secado por gas inerte, por ejemplo, una cantidad de disolvente de

400 kg/h requiere un volumen de gas en circulación de 2000 m<sup>3</sup>. En el caso del secado por aire, este volumen debería ser hasta 10 veces superior para alcanzar un 40 % del valor LEL.

Esta técnica ahorra energía y permite diseñar sistemas de depuración de gases residuales para capacidades inferiores a las correspondientes con aire normal. También se reduce la posibilidad de inflamación.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Aquellos sistemas que usen un gas inerte para el proceso de secado podrán utilizar la condensación como una técnica para recuperar los disolventes (véase el apartado 20.11.5).

**Aplicabilidad:** Aplicable tanto a plantas e instalaciones nuevas como a las ya existentes. No obstante, la reconversión de las mismas puede resultar difícil.

Esta técnica se aplica de forma ordinaria como un paso de presecado en la fabricación de cintas adhesivas.

Esta técnica no puede aplicarse en aquellos casos en los que los secadores necesiten ser abiertos regularmente. La apertura del secador requiere la posterior purga, es decir, la sustitución del aire por gas inerte, y éste es un proceso costoso y que requiere tiempo. Por este motivo, no se aplica en industrias donde los cambios de tareas son una práctica diaria, como sucede en todos los procesos de impresión, por ejemplo, de embalajes flexibles.

Tampoco se aplica en la fabricación de abrasivos, en los tratamientos superficiales, en el sector de la automoción ni en el revestimiento de madera y muebles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [14, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [146, CEI-BOIS, 2006]

### 20.8.1.3 Secado por inducción

**Descripción:** Las bobinas electromagnéticas montadas junto a la bobina pintada inducen corrientes oscilantes en el interior del metal, que pueden ajustarse para generar velocidades de calentamiento de cientos de grados por segundo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El calentamiento eléctrico es fácilmente controlable y muy eficiente, sin ninguna emisión local.

**Efectos cruzados:** El uso de la electricidad para sustituir al gas y la posterior traslado de las emisiones a las plantas generadoras.

**Información operativa:** En las instalaciones ya existentes, es necesario rediseñar la unidad de depuración de gases residuales, ya que los tiempos de calentamiento son mucho menores que en los secadores convencionales.

**Aplicabilidad:** Esta tecnología se usa de forma rutinaria en el revenido y recocido de metales, aunque también es apropiada para el curado rápido de pinturas. Se aplica si el sustrato u objeto a secar conduce la electricidad. También puede aplicarse como sustituto o complemento a los hornos de gas ya existentes. La demanda de electricidad, potencialmente muy elevada, puede limitar su aplicabilidad.

En la impresión de envases metálicos, se aplica a todos los materiales de revestimiento o impresión con secado por calor, así como a los sustratos ferromagnéticos. Sin embargo, las formulaciones de los revestimientos pueden necesitar una pequeña modificación para adecuarse a las diferentes velocidades de calentamiento. Pueden existir otras limitaciones en cuanto al espesor de la película de pintura que puede obtenerse con velocidades de calentamiento muy elevadas.

La inducción suele utilizarse en aplicaciones especiales como el endurecimiento de enlaces estructurales (adhesivos) en la industria de la automoción. También se emplea en algunas líneas de tratamientos superficiales.

Debido a la necesidad de un sustrato metálico, no se emplea en los procesos de impresión, la fabricación de abrasivos, la fabricación de cintas adhesivas ni en el revestimiento de madera y muebles. Tampoco se aplica en la industria de fabricación de bobinas de alambre.

**Aspectos económicos:** Sólo es económicamente viable para nuevas instalaciones o en el caso de que sea necesario sustituir un horno.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004] [146, CEI-BOIS, 2006]

### 20.8.1.4 Secado por radiación (microondas y alta frecuencia)

**Descripción:** En este proceso, la capa de pintura húmeda es calentada por medio de microondas electromagnéticas. Las dos técnicas disponibles son el secado por microondas y el secado por alta frecuencia (HF). Debido al impacto de estas ondas electromagnéticas, los dipolos experimentan una oscilación y, así, la energía electromagnética es transformada en energía calorífica. De esta manera, el agua contenida en la pintura se evapora rápidamente y debe extraerse.

Los secadores de HF constan de un generador de alta frecuencia, una unidad de transmisión, electrodos colectores y la adecuada zona de vaporización instantánea (flash-off) para la eliminación del agua evaporada. Alternativamente, la capa de pintura húmeda es calentada por medio de microondas electromagnéticas. En este caso, la evaporación y el secado tienen lugar desde el interior de la capa de pintura hacia el exterior, con un calentamiento homogéneo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Los secadores por ondas electromagnéticas se aplican exclusivamente a revestimientos al agua y tintas, así como a sustratos no metálicos.

Los secadores de HF se emplean de forma generalizada en la fabricación de abrasivos, aunque no se aplican en la fabricación de cintas adhesivas ni en la industria de fabricación de bobinas de alambre.

El secado por microondas se aplica en el revestimiento de madera, para piezas de trabajo no ensambladas y para piezas de pequeñas dimensiones, ya que los productos de mayor tamaño requerirían un gran horno microondas con un coste energético muy superior. En la práctica, su uso es bastante incierto. No se aplica en la fabricación de abrasivos ni en la fabricación de cintas adhesivas.

**Aspectos económicos:** Un secador por microondas utilizado durante 2 minutos en la industria del revestimiento de madera y muebles con una carga eléctrica instalada de 60 kW y una salida de aire de 1500 m<sup>3</sup>/h costaba 75 000 EUR en el año 2000, sin incluir el control eléctrico y las unidades de transporte.

Un secador de alta frecuencia utilizado durante 2 minutos en la industria del revestimiento de madera y muebles con una carga eléctrica instalada de 120 kW y una salida de aire de 1500 m<sup>3</sup>/h costaba 150 000 EUR en el año 2000, sin incluir el control eléctrico y las unidades de transporte.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [146, CEI-BOIS, 2006]

## 20.8.2 Procesos de curado por radiación

**Descripción:** El curado por radiación se basa en la reacción que tiene lugar entre las resinas y los diluyentes reactivos (monómeros) al exponerlos a luz ultravioleta (UV) o a haces de electrones (EB) de alta energía. Las resinas suelen ser poliésteres, poliuretanos o epoxis, con funcionalidad acrilato o metacrilato, aunque también se pueden utilizar otros productos químicos de revestimiento. Las formulaciones son líquidas, aunque están libres de disolventes y se curan muy rápidamente (en unos pocos segundos), normalmente a temperatura ambiente o a una temperatura ligeramente superior.

Los apartados 20.8.2.1, 20.8.2.2, 20.8.2.3 y 20.8.2.4 describen en detalle los diferentes tipos de técnicas de curado por radiación.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La completa eliminación del uso de disolventes en el sistema de revestimiento. Normalmente, no se producen emisiones significativas durante el curado y los revestimientos curados no contienen ya ningún componente volátil. Existe una mayor eficiencia energética, junto con un consumo mínimo de gas, ya que dejan de ser necesarios los hornos de altas temperaturas y la incineración de los gases de escape.

**Efectos cruzados:** Puede llegar a producirse un bajo nivel de emisiones de COV debido al uso de monómeros orgánicos reactivos en las formulaciones.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Los revestimientos curados por radiación están bien establecidos en las industrias de revestimientos de madera e impresión para el revestimiento de piezas planas y láminas, aunque no han tenido tanto éxito en el revestimiento de metales. Los tratamientos superficiales suponen una gran exigencia para el sistema de revestimiento, especialmente en cuanto a la adhesión, flexibilidad y durabilidad. Las empresas de revestimientos en continuo y los proveedores de revestimientos han realizado considerables esfuerzos de desarrollo para satisfacer dichas demandas, aunque hasta el momento no se ha conseguido un éxito absoluto en ninguna aplicación de revestimientos en continuo curados por radiación (véase el apartado 22.14.2).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Eliminación de disolventes y eficiencia energética.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [146, CEI-BOIS, 2006].

### 20.8.2.1 Curado por radiación infrarroja

**Descripción:** En el curado por radiación infrarroja, la pieza de trabajo es calentada mediante la absorción de radiación infrarroja. El proceso de secado se inicia en el interior y progresa hacia el exterior. La intensidad de la radiación infrarroja depende del rango de longitud de onda y, por tanto, de la temperatura del radiador. La absorción de la radiación depende del alisado de la superficie, el color o la luminosidad, así como de su composición química.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menor demanda energética en comparación con los secadores que aplican aire circulante.

**Efectos cruzados:** Debido al calor radiante emitido por los secadores, los disolventes se evaporan de forma similar a como lo hacen en los procesos de calentamiento convencionales.

**Información operativa:** Se trata de una técnica de rápido calentamiento (1 a 5 segundos en el caso de onda media o larga de IR cercano, aunque mayor tiempo para IR) y, cuando la temperatura del sustrato es baja durante el curado de la pintura, que requiere sólo cortos períodos de enfriamiento. La composición del disolvente debe ajustarse a la energía de la radiación.

Existe riesgo de formación de matices en los rebordes y en los huecos.

Existen diferentes radiadores en función de la longitud de onda utilizada. Dependiendo de las condiciones de secado y de la calidad de la superficie, se utilizarán instalaciones con control programado o con ruta de tratamiento.

**Aplicabilidad:** No existe limitación en cuanto al espesor de la capa, excepto en aquellos casos en que se requieran tiempos de curado muy cortos (por ejemplo, cuando el sustrato se mueve rápidamente, como en los tratamientos superficiales).

La geometría del sustrato recubierto o impreso no es relevante, siempre que sea resistente al calor. En algunos casos, la temperatura puede ser demasiado elevada para la madera, existiendo riesgo de tinción o incendio.

El curado por infrarrojos se utiliza en un escaso número de líneas de tratamientos superficiales. En las instalaciones de tratamientos superficiales ya existentes, es necesario rediseñar la unidad de depuración de gases residuales, ya que los tiempos de calentamiento son mucho menores que en los secadores convencionales.

Esta técnica se aplica de forma ordinaria en el sector de la automoción para el presecado de los revestimientos exteriores que se aplican empleando la técnica húmedo sobre húmedo. También se está utilizando cada vez más en la fabricación de cintas adhesivas.

No se aplica en la fabricación de abrasivos.

En la industria de la impresión, ha dejado de utilizarse debido a las mejoras en las tintas. En este sector, las desventajas del uso del curado por radiación infrarroja eran el calor producido en la pila de las láminas impresas y el bloqueo (es decir, la imagen impresa reproducida en la parte posterior de la lámina anterior).

**Aspectos económicos:** Los costes de inversión son relativamente bajos; sin embargo, la reconversión de los secadores ya existentes puede ser costosa. En la industria de tratamientos superficiales, esta técnica sólo resulta económicamente viable para nuevas instalaciones o en el caso de que sea necesario sustituir un horno.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Opel Eisenach GmbH, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [146, CEI-BOIS, 2006]

### 20.8.2.2 Curado por radiación infrarroja cercana (NIR)

**Descripción:** Los emisores de NIR operan a temperaturas muy elevadas, produciendo radiación infrarroja con longitud de onda muy corta a una densidad de potencia muy elevada. La absorción de la longitud de onda específica por parte del revestimiento y los cortos tiempos de permanencia pueden reducir el calentamiento del sustrato.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Gran demanda de potencia eléctrica. El IR cercano requiere un suministro eléctrico fiable y de elevada potencia.

**Información operativa:** En el revestimiento de la madera, la técnica de NIR permite obtener los menores tiempos de secado y de ciclo.

**Aplicabilidad:** Debido a la escasa duración del curado (1 – 5 segundos), esta técnica es muy adecuada para materiales sensibles al calor como la madera y el plástico. Los revestimientos en polvo se curan frecuentemente mediante la aplicación de radiación NIR, al igual que las pinturas al agua aplicadas sobre la madera.

El curado mediante NIR se está empezando a utilizar en los tratamientos superficiales para el curado rápido de revestimientos finos y de revestimientos en polvo. Su expansión a las líneas de procesamiento general dependerá de los ensayos de verificación a realizar.

No se aplica en la fabricación de abrasivos, la fabricación de cintas adhesivas, en la industria de fabricación de bobinas de alambre ni en el sector de la automoción.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Hornos compactos más cortos, elevada velocidad y potencia controlable.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.8.2.3 Curado por ultravioleta (UV)

**Descripción:** La descarga eléctrica en los gases se usa como un radiador para el curado por UV. Las lámparas utilizadas con mayor frecuencia para este propósito son las lámparas de vapor de mercurio. La radiación inicia un entrecruzamiento químico en el interior de la capa de pintura o tinta. El curado por UV requiere la presencia de un fotoiniciador.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El consumo de energía es bajo. Los sistemas de curado por UV usan poco o ningún disolvente.

**Efectos cruzados:** Se producen emisiones de ozono, que suele ser extraído y llevado a un eliminador de ozono con catalizador o a un sistema de oxidación térmica. Las lámparas de vapor de mercurio utilizadas contienen pequeñas cantidades de mercurio, que deben eliminarse a través de las adecuadas instalaciones de depuración de residuos.



**Información operativa:** Los sustratos de madera o plástico pueden mostrar amarillamiento y pueden volverse quebradizos. Esta técnica requiere poco espacio de instalación y el proceso de curado se produce en unos pocos segundos (elevada velocidad).

**Aplicabilidad:** Aplicable tanto a instalaciones nuevas como a las ya existentes.

Aplicable a poliésteres insaturados, poliacrilatos, resinas epoxis, etc. Especialmente aplicable a los revestimientos transparentes y satinados con espesores de capa elevados. En los revestimientos con pigmentos, el curado por UV sólo es aplicable a pequeños espesores de capa. También puede utilizarse en las tintas de curado por UV.

Los sustratos revestidos o impresos deben ser resistentes al curado por UV y, preferiblemente, ser planos o bidimensionales. El curado de piezas tridimensionales de madera o plástico revestidas con revestimientos en polvo es más complicado, aunque existen sistemas de secado que consiguen un buen rendimiento.

La radiación UV se aplica de forma generalizada a sustratos de papel y cartón. Así, por ejemplo, se aplica en el secado de muebles pintados, en donde los paneles planos pueden revestirse de forma independiente y en donde el proceso de revestimiento se lleva a cabo antes de ensamblar las diferentes piezas del mueble. También se está utilizando cada vez más en la producción de cintas adhesivas.

En el tratamientos superficiales, esta técnica se encuentra actualmente en proceso de evaluación (véase también el apartado 22.14.2).

No se aplica en la fabricación de abrasivos ni en el sector de la automoción.

**Aspectos económicos:** En comparación con los secadores convencionales, el coste energético puede reducirse en hasta un 70 %. En comparación con un horno de gas convencional (incluyendo el ventilador) para pinturas al agua, el coste energético puede reducirse en un 40 – 50 %. En el sector de la impresión, el consumo energético puede ser tan elevado como en el caso del secado convencional. El consumo de energía se reduce en un 50 % si se utilizan sistemas de curado rápido, en donde la lámpara sólo se enciende cuando el sustrato real se encuentra bajo la misma. Este sistema presenta beneficios económicos, por ejemplo, cuando se está llevando a cabo la impresión no rotativa.

Con los sistemas de curado por UV se pueden conseguir velocidades de impresión hasta 3 – 4 veces más rápidas.

Una instalación de curado por UV común con una anchura de 25 cm cuesta unos 6600 EUR (prevista para utilizarse únicamente en la impresión de etiquetas, que, como actividad independiente, no está incluida en el alcance de este documento), aunque la tendencia actual es la disminución de los precios. El coste operativo de una unidad con 12 lámparas de 5,6 kW cada una era de unos 5 EUR/h en energía (Flanders, 2003). Sin embargo, una instalación de curado por UV de 25 cm no suele ser representativa de otro tipo de procesos de impresión.

Por ejemplo, una planta compacta de aplicación de pintura por UV (un solo trabajador) que incluya una zona de curado por UV aplicada en la industria del revestimiento de madera y muebles costaba aproximadamente unos 40 000 EUR en el año 2000.

El menor tiempo de curado/secado y las mayores velocidades de producción alcanzadas conllevan beneficios financieros.

El plazo de amortización estimado es de dos a tres años, teniendo también en cuenta que la aplicación de curado por UV en sistemas de pintado requiere menos mano de obra.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.



**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 20.8.2.4 Curado por haz de electrones (EB)

**Descripción:** El curado por EB se inicia con la emisión de un haz de electrones desde un tubo de cátodo incandescente. La polimerización y posterior endurecimiento de la pintura están causados por el impacto de los electrones sobre los monómeros, siendo posible un elevado nivel de automatización. Los electrones se aceleran hasta alcanzar una elevada velocidad al penetrar en la sustancia de revestimiento, curándola en un corto espacio de tiempo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** La radiación conlleva un riesgo para los trabajadores. Los trabajadores deben protegerse del haz de electrones mediante planchas de plomo o paredes de hormigón.

**Información operativa:** Existe el riesgo de que el sustrato se vuelva quebradizo o se decolore.

Se requiere muy poco espacio de instalación.

**Aplicabilidad:** Aplicable a poliésteres insaturados, poliacrilatos, resinas epoxis, etc. No existen límites en cuanto al espesor de la capa o a la pigmentación.

Cualquier geometría es adecuada para sustratos transparentes sometidos a radiación EB (especialmente el papel, madera o láminas); en el caso de los metales, el uso de la radiación EB está limitado a los sustratos planos. Debido a los elevados costes de inversión, esta técnica sólo se aplica actualmente en elevados volúmenes superficiales.

El curado por EB se está utilizando cada vez más en la producción de cintas adhesivas.

En la industria de tratamientos superficiales, el curado por EB puede considerarse como una tecnología emergente.

No se aplica en la fabricación de abrasivos, los tratamientos superficiales ni en el sector de la automoción.

**Aspectos económicos:** El curado por EB conlleva unos costes de inversión superiores a los de los secadores convencionales. Sin embargo, el consumo energético de este tipo de sistemas puede ser mucho menor.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005].

#### 20.8.3 Reactor térmico (secado por convección/radiación combinado)

**Descripción:** Un reactor térmico es un radiador que emite radiación infrarroja, así como calor de convección. La radiación infrarroja se genera mediante combustión de gas natural o de propano.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menor demanda energética en comparación con los secadores que aplican únicamente aire circulante.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Dependiendo del sistema de pintado y del tipo de producción, el tiempo de secado total puede variar ente 6 y 10 minutos.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es aplicable a todos los materiales de revestimiento o impresión con secado por calor, tanto con base de disolvente como libres de disolvente, así como a los revestimientos en polvo. Los reactores térmicos también son adecuados para los sistemas de pintura al agua.

La geometría del sustrato revestido o impreso no es relevante, aunque sí debe ser resistente al calor.

Aunque a continuación se muestran algunos costes, no existe una aplicación comercial conocida de esta técnica en el revestimiento de la madera. Esto se debe a que, si las temperaturas son demasiado elevadas, existe riesgo de tinción o incendio de la misma.

No se aplica en la fabricación de abrasivos, la fabricación de cintas adhesivas, en los tratamientos superficiales ni en el sector de la automoción.

**Aspectos económicos:** Un reactor térmico con un tiempo de secado de 6 minutos utilizado en la industria del revestimiento de madera y muebles con una carga eléctrica instalada de 10 kW y una salida de aire de 2000 m<sup>3</sup>/h calentado con gas natural costaba 95 000 EUR en al año 2000, excluyendo el control eléctrico y las unidades de transporte.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [146, CEI-BOIS, 2006]

## 20.9 Técnicas de limpieza

[148, TWG, 2006, 154, Tempamy, 2006, 160, ESVCCG, 2006]

### 20.9.1 Principios generales de limpieza

**Descripción:** A la hora de seleccionar las técnicas de limpieza que se van a utilizar, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones.

1. Tipo de limpieza:

- limpieza del equipo de procesamiento. En todo tipo de actividades, será necesario limpiar el equipo de procesamiento. Para ello, existen dos tipos de limpiezas:
    - limpieza operativa o intermedia. El sistema de aplicación debe limpiarse a intervalos regulares, por ejemplo:
      - cuando se cambia de color o por motivos de calidad (por ejemplo, en la pulverización de coches, cada 5 a 10 vehículos y cada cambio de color);
      - las cabinas de pulverización deben limpiarse a intervalos regulares;
      - entre dos trabajos de impresión.
    - limpieza de mantenimiento, periódica o en profundidad. Cada cierto tiempo, es necesario limpiar en profundidad el equipo de aplicación para eliminar los depósitos acumulados y limpiar las piezas del equipo que son más difíciles de eliminar en una limpieza rápida. Esto suele requerir el desmontaje parcial.
- El tipo de técnica utilizado dependerá de si el equipo se limpia in situ o se desmonta total o parcialmente;
- limpieza de sustratos o piezas de trabajo. En algunas actividades, como el pintado y el barnizado, la limpieza del sustrato o de las piezas de trabajo para eliminar la grasa,

suciedad, etc. es esencial antes de proceder al revestimiento. No obstante, en algunas actividades, como la impresión, dicha limpieza no es necesaria.

## 2. Tipo de contaminación:

- para equipo de procesamiento:
  - contaminación no persistente. La contaminación está fresca, es decir, no se ha secado, conserva todavía parte del disolvente original o su reacción de revestimiento no se ha completado. Este tipo de contaminación es fácil de eliminar, ya sea físicamente a mano (véase el apartado 20.9.3), con el disolvente original utilizado en el revestimiento o con uno similar, con disolventes de baja volatilidad (dependiendo de la necesidad de secar los componentes, véanse los apartados 20.10.1.1 a 20.10.1.4), en máquinas de lavado (véase el apartado 20.9.10), etc.;
  - contaminación persistente. Puede proceder de productos con base de disolvente que se han secado, productos curados por radiación UV u otra radiación, productos al agua o reactivos (2 componentes), etc. La limpieza a mano con disolventes volátiles no es eficaz. Las piezas pueden limpiarse utilizando, por ejemplo:
    - una máquina de lavado (repetidamente en caso necesario) (véase el apartado 20.9.10);
    - disolventes potentes de baja volatilidad (véase el apartado 20.9.6);
    - agua a alta presión tras el uso de potentes disolventes, o con un abrasivo añadido (véase el apartado 20.9.12);
    - limpieza por ultrasonidos (véase el apartado 20.9.13);
    - chorreado (explosión?) de hielo seco (véase el apartado 20.9.14);
- para sustratos o piezas de trabajo, la contaminación depende de los procesos anteriores y puede incluir corrosión debida a almacenamiento, aceites de prensa, suciedad y residuos de corte, conformación y rectificación, marcas de dedos de manipulación, etc. Éstas y otras opciones de limpieza se discuten en el BREF STM. En este sector, las piezas se suelen limpiar a mano con trapos o toallitas (véase el apartado 20.9.9) o en sistemas con detergente al agua para grandes volúmenes (véase el apartado 20.9.8). También se pueden usar disolventes en máquinas de lavado para componentes más pequeños (véase el apartado 20.9.10), o técnicas de limpieza ultrasónica o con hielo seco (véanse los apartados 20.9.13 y 20.9.14).

## 3. Elección de la técnica o del disolvente. La técnica o el disolvente utilizados deben:

- ser capaces de conseguir la pulcritud requerida por el proceso;
- ser compatibles con las piezas que se van a limpiar (ya sean sustratos, piezas de trabajo o piezas de equipos);
- ser compatibles con el proceso y con los tratamientos superficiales. Así, por ejemplo, en la impresión de embalajes flexibles, el sistema debe estar totalmente libre de disolventes antes de añadir nuevas tintas. En otras actividades, los sistemas de limpieza pueden ser compatibles con el proceso y puede no ser necesario llevar a cabo la limpieza;
- reducir las emisiones de disolventes o minimizar la formación de ozono troposférico (véase el apartado 20.10.2);
- tener en cuenta el tiempo del que se dispone. En algunos casos, el tiempo disponible para la limpieza es limitado; en otros casos, se pueden usar sistemas de limpieza que requieran más tiempo.

En algunos procesos, el desmontaje del equipo y la limpieza a mano de ciertos componentes pueden ser inevitables a la hora de llevar a cabo la limpieza de mantenimiento.

En la limpieza operativa se pueden utilizar sistemas automatizados.

Existen ciertas coincidencias parciales entre las diferentes técnicas discutidas en este apartado, así como con las técnicas discutidas en el apartado 20.10 (Sustitución). Los factores aquí discutidos se resumen en la Tabla 20.6, con las posibles técnicas de ambos apartados. Las técnicas también pueden combinarse o repetirse para alcanzar la pulcritud necesaria.

Técnicas de limpieza		Equipo de procesamiento		Sustrato o pieza de trabajo
Apartado	Técnica	Contaminación no persistente	Contaminación persistente	
20.9.2	Minimización de la limpieza	Sí	Sí	Sí
20.9.3	Preparación previa a la limpieza con disolventes u otro tipo de limpieza	Sí		
20.9.4	Limpieza con disolventes convencionales	Sí	Sí	
20.9.5	Limpieza con disolventes con menor velocidad de evaporación	Sí		
20.9.6	Limpieza con disolventes potentes		Sí	
20.9.7	Limpieza con disolventes con menor potencial de formación de ozono (OFP)	Sí	Sí	Sí
20.9.8	Limpieza a base de agua	Sí	Sí	Sí
20.9.9	Limpieza a mano	Sí		Sí
20.9.10	Máquinas de lavado que usan disolventes	Sí	Sí	
20.9.11	Limpieza con recuperación de disolventes	Sí		
20.9.12	Limpieza con pulverización de agua a alta presión		Sí	
20.9.13	Limpieza por ultrasonidos		Sí	Sí
20.9.14	Limpieza con hielo seco (CO <sub>2</sub> )		Sí	Sí

**Tabla 20.6:** Ejemplos de aplicabilidad de las técnicas de limpieza y opciones

**Beneficios ambientales obtenidos:** La selección del sistema de limpieza correcto puede reducir las emisiones de disolventes o la formación de ozono troposférico.

**Efectos cruzados:** La modificación de las técnicas convencionales puede generar un mayor uso de energía, mayor cantidad de aguas residuales a depurar o mayor producción de residuos.

**Información operativa:** Véase la Descripción anterior y las técnicas individuales descritas en los apartados 20.9.2 a 20.9.12. Otras técnicas usadas específicamente en ciertas industrias también se discuten en los apartados específicos de dichas industrias.

**Aplicabilidad:** Véase la Descripción anterior y las técnicas individuales en los apartados 20.9.2 a 20.9.12, así como las técnicas del apartado 20.10. La aplicabilidad de las técnicas de limpieza en ciertas industrias también se discute en los apartados específicos de dichas industrias.

**Aspectos económicos:** Específicos del sitio y de la técnica empleada.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo. Calidad y exigencias del cliente.

**Ejemplos de instalaciones:** La limpieza se lleva a cabo en todas las instalaciones.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999, 154, Tempany, 2006]

## 20.9.2 Minimización de la limpieza

**Descripción:** Las siguientes técnicas contribuyen a minimizar los trabajos de limpieza:

- prácticas de trabajo limpio;
- control de fugas y derrames (véase el apartado 20.2.1),
  - inspección regular de las zonas de trabajo y almacenamiento,
  - planes contra derrames para solucionar con prontitud los derrames de cualquier tamaño,

- mantenimiento puntual, como el control de las fugas de materiales;
- prevención de la corrosión y la contaminación del suelo durante el almacenamiento y manejo de materiales como las piezas de trabajo metálicas (discutida junto con los tratamientos de base acuosa en el BREF STM).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Minimiza la cantidad de materiales de limpieza utilizados, especialmente los disolventes.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Todas las instalaciones.

**Aspectos económicos:** Bajo coste.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud, al reducir la innecesaria exposición a las materias primas y materiales de limpieza, reduciendo así el riesgo de emisiones de disolvente que no ha reaccionado.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizado.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [63, Vito, 2003]

### 20.9.3 Preparación previa a la limpieza con disolventes u otro tipo de limpieza

**Descripción:** La eliminación de la mayor cantidad posible de material de revestimiento, pintura o tinta que impregna el equipo en su forma concentrada reduce la cantidad de material que habrá que eliminar mediante el uso de disolventes o agua. Para ello, se pueden usar técnicas de ahorro de materias primas, como las descritas en el apartado 20.6.3.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reduce el uso de disolventes, materiales de limpieza y agua que puede requerir un pretratamiento antes de ser desechados. También permite ahorrar materias primas.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Puede aumentar el tiempo de inactividad y el contacto del personal con materiales peligrosos.

**Aplicabilidad:** La seguridad y salud en el lugar de trabajo pueden limitar la aplicación de esta técnica.

**Aspectos económicos:** Bajo coste, aunque puede aumentar el tiempo de inactividad.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003]

### 20.9.4 Limpieza con disolventes convencionales

**Descripción:** La limpieza con disolventes puede realizarse a temperatura ambiente o con calentamiento.

La limpieza a temperatura ambiente puede llevarse a cabo de forma manual (con un trapo, cepillo, pulverizador o «fuente») con disolventes de baja toxicidad, en baños abiertos o en sistemas cerrados.

La limpieza mediante el uso de disolventes calientes emplea recipientes cerrados o semicerrados (véanse ejemplos en los apartados 20.9.7 y 20.9.8). El riesgo de inflamación debe controlarse adecuadamente trabajando muy por debajo del punto de inflamación o en atmósferas inertes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Ninguno.

**Efectos cruzados:** Consumo de disolventes, emisión de COV y residuos de pintura/disolvente.

**Información operativa:** Los procesos de limpieza con disolventes orgánicos suponen cerca del 20 % de las emisiones de COV totales de los talleres de pintura. El 80 % de las emisiones de disolventes de los procesos de limpieza pueden eliminarse mediante el uso de sistemas cerrados para llevar a cabo la limpieza de pistolas y aplicadores. Los sistemas cuestan 150 – 300 EUR.

En algunos casos, los disolventes pueden sustituirse por detergentes al agua (véase el apartado 20.9.8).

**Aplicabilidad:** Los procesos de limpieza son necesarios en todos los talleres de pintura.

**Aspectos económicos:** Véanse los Información operativa, descritos anteriormente.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad y exigencias del cliente.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizado.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004].

### 20.9.5 Limpieza con disolventes con menor velocidad de evaporación

Consulte la discusión detallada de los apartados 20.10.1.1 a 20.10.1.4, en donde se usa un punto de inflamación más elevado como sustituto para obtener una menor velocidad de evaporación (estos datos pueden no estar disponibles).

### 20.9.6 Limpieza con disolventes potentes

Consulte la discusión detallada del apartado 20.10.3. Los disolventes potentes con baja velocidad de evaporación pueden utilizarse para eliminar la contaminación persistente.

### 20.9.7 Limpieza con disolventes con menor potencial de formación de ozono

Consulte la discusión detallada del apartado 20.10.2. El gran impacto de las emisiones de disolventes (formación de ozono troposférico) puede reducirse de forma considerable mediante el uso de disolventes con un bajo potencial de formación de ozono. Los disolventes de limpieza, en aquellos casos en los que suelen usarse disolventes únicos o mezclas únicas, puede ser una opción a considerar dentro de esta técnica; no obstante, esto puede no ser relevante en aquellos casos en que los vapores de disolvente se envían para su depuración.

## 20.9.8 Limpieza basada en agua

**Descripción:** Los componentes y subconjuntos pueden limpiarse en cubas utilizando técnicas de limpieza o desengrasado a base de agua basadas en sistemas detergentes. Dichos sistemas también pueden utilizarse para limpiar sustratos o piezas de trabajo mediante técnicas de tratamiento a base de agua, como sucede en el ejemplo del apartado 20.7.1.1. Para ello, se emplea todo un rango de sistemas químicos, basados en la combinación de detergentes con bases y otras sustancias, dependiendo de los sustratos y materiales a eliminar. Estos sistemas, y sus opciones de mantenimiento, se describen en el BREF STM.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** Puede requerir un calentamiento adicional. Es probable que se requiera una posterior depuración de las aguas residuales.

**Información operativa:** La limpieza de los componentes puede durar más que en el caso de las técnicas basadas en el uso de disolventes.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Véase el apartado 20.10, motivo principal para su aplicación.

**Ejemplos de instalaciones:** Se emplea frecuentemente como un pretratamiento a los tratamientos de superficies a base de agua.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2005]

## 20.9.9 Limpieza a mano

**Descripción:** Las piezas se limpian usando disolventes o sistemas detergentes al agua. El frotamiento, raspado o decapado físicos se aplican mediante el uso de cepillos, trapos, esponjas abrasivas, herramientas de mano, etc. dependiendo de la persistencia de la contaminación. El disolvente se aplica vertiéndolo sobre un trapo o cepillo desde un recipiente pequeño (una jarra), un grifo o pulverizador (fuente) o en baños abiertos. También pueden usarse trapos previamente impregnados con disolvente (véanse los ejemplos de los apartados 14.4.4.2, 16.2.1 y 20.2.2.1).

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Para disolventes convencionales, véase el apartado 20.9.3.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La limpieza a mano es prácticamente inevitable en determinadas situaciones, aunque la salud y seguridad en el lugar de trabajo limiten frecuentemente su uso.

Las emisiones de disolventes pueden controlarse:

- limitando la cantidad de disolvente (por ejemplo, midiendo y restringiendo la cantidad a utilizar en una jarra, usando toallitas preimpregnadas, etc.);
- usando disolventes volátiles a mano y permitiendo que el disolvente gastado desborde inmediatamente en un recipiente cerrado. En la estación de trabajo no debe existir ninguna superficie abierta de disolvente líquido cerca del objeto a limpiar. Esto también permite reducir la exposición de los trabajadores. Para ello, el equipo disponible consta de un bidón cerrado en el que los disolventes pueden bombearse siempre que sea necesario a través de un grifo o



pueden rociarse sobre el objeto a limpiar en una zona de trabajo parcialmente cerrada ubicada encima del bidón. El disolvente sobrante es devuelto (mediante filtros de malla ancha) al interior del bidón. El disolvente es bombeado desde la superficie del mismo, dejando que la contaminación se deposite. Además, el disolvente puede reciclarse cuando ya no pueda ser utilizado para tal fin;

- usando disolventes de baja toxicidad que presenten un elevado punto de inflamación, un elevado punto de ebullición o un bajo potencial de formación de ozono (véase el apartado 20.10.2).

**Aspectos económicos:** Bajo coste.

**Motivo principal para su aplicación:** Allí donde los métodos automatizados no limpien suficientemente o puedan causar daños a las piezas que deben limpiarse.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizado.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [160, ESVOCCG, 2006]

### 20.9.10 Máquinas de lavado que usan disolventes

**Descripción:** Se trata de una máquina cerrada en la que los componentes se cargan de forma discontinua. Dichos componentes pueden ser piezas de trabajo a revestir o piezas de la maquinaria de procesamiento que deben limpiarse como parte de su mantenimiento. La máquina contiene los disolventes que se van a utilizar para limpiar las piezas mediante (i) inmersión, (ii) rociado o (iii) una fase de vapor de un disolvente con bajo punto de ebullición que se condensa sobre los componentes, permitiendo así depositar el disolvente siempre limpio sobre los componentes a limpiar. Los disolventes son recogidos y recuperados para su reutilización. Normalmente, el disolvente está caliente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Emisiones de disolventes significativamente reducidas en comparación con la limpieza sin contención.

**Efectos cruzados:** El recipiente de la máquina en el que se colocan las piezas debe ventilarse para liberar los vapores de disolvente antes de que las piezas puedan ser retiradas. En ocasiones, estos vapores emitidos se liberan a la atmósfera.

El bombeo del disolvente requiere el uso de energía. Si se utilizan cilindros de absorción, suele emplearse carbón activo, que debe regenerarse o desecharse como un residuo.

**Información operativa:** La emisión de vapores de disolvente puede reducirse considerablemente mediante la conducción a un sistema de depuración de gases residuales ubicado en la instalación (véase el ejemplo del apartado 2.4.2.6.3) o mediante su absorción en cilindros específicos que contengan carbón activo.

**Aplicabilidad:** Véase la Descripción anterior.

Algunos casos de depósitos difíciles de eliminar o de contaminación persistente requieren el uso de disolventes halogenados. Dichos disolventes pueden utilizarse en sistemas totalmente cerrados con tratamiento de los disolventes emitidos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo. Observe que la Directiva sobre emisiones de disolventes establece valores límite de emisión (ELV) para algunos disolventes halogenados.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizado en numerosas industrias.

**Bibliografía de referencia:** [160, ESVOCCG, 2006]

### 20.9.11 Limpieza con recuperación de disolventes

**Descripción:** El disolvente de purga se utiliza para limpiar las pistolas/aplicadores y las líneas en los cambios de color con el fin de prevenir la contaminación cruzada. Por otro lado, el disolvente de limpieza se emplea para limpiar el equipo y las cabinas. Ambos tipos de disolvente pueden recogerse, almacenarse y reutilizarse como un suministro disponible o pueden destruirse. Algunos talleres de pintura modernos disponen de una instalación de recuperación para los agentes de limpieza utilizados.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El 80 – 90 % del disolvente de limpieza y purga se puede recuperar para su reutilización.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Se han descrito problemas con los materiales de revestimiento transparente de 2 componentes, que frecuentemente provocan la obturación de la tubería del tanque de recuperación.

**Aplicabilidad:** Este sistema puede utilizarse en procesos de aplicación de pintura con base de disolvente y en cualquier operación en la que se usen disolventes para limpiar las cabinas. El disolvente recogido puede tratarse para poder reutilizarse dentro del proceso o puede enviarse fuera de la planta para que sea procesado y reutilizado por el operador original o por un tercero.

**Aspectos económicos:** En la industria de la automoción, un sistema estándar de recuperación de disolvente costaba 400 000 EUR por cada cabina de pulverización en el año 2004.

**Motivo principal para su aplicación:** Reciclado del disolvente y reducción de las emisiones de COV.

**Ejemplos de instalaciones:** Práctica estándar en la industria de la automoción.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

### 20.9.12 Limpieza con pulverización de agua a alta presión

**Descripción:** La limpieza de las piezas de la máquina y de las rasquetas (en impresión) se realiza con un pulverizador de agua a alta presión y bicarbonato sódico o con un sistema de limpieza similar, en lugar de utilizar un disolvente orgánico.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** Mayor consumo de agua y generación de una mayor cantidad de aguas residuales.

**Información operativa:** Aplicado de forma generalizada.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se utiliza para llevar a cabo una limpieza en profundidad de los cilindros y los rodillos reguladores de tinta (alinox) empleados en los embalajes flexibles. Al agua a alta presión se le añade carbonato sódico.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999, 76, TWG, 2004]

### 20.9.13 Limpieza por ultrasonidos

**Descripción:** Un limpiador por ultrasonidos genera vibraciones de alta frecuencia a través de un líquido (normalmente detergentes al agua), en un rango que abarca desde 20 000 a 100 000 ciclos por segundo. Las vibraciones crean burbujas microscópicas en el líquido, que chocan sobre las piezas sumergidas en el líquido creando una acción de limpieza.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No se usan agentes limpiadores con base de disolvente y se eliminan las emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se utiliza en la impresión de embalajes flexibles para llevar a cabo una limpieza en profundidad de los cilindros y los rodillos reguladores de tinta (alinox).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo de Ministros Nórdicos, 1998] [76, TWG, 2004] [59, EIPPCB, 2005]

### 20.9.14 Limpieza con hielo seco (CO<sub>2</sub>)

**Descripción:** La pintura o tinta seca puede eliminarse mediante soplado de hielo seco en gránulos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se evitan completamente las emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** El soplado requiere energía y genera ruido (en el interior) y polvo procedente de la pintura o tinta retiradas.

**Información operativa:** La fase de preparación requiere mucho tiempo, ya que las piezas de la máquina que se desean limpiar deben estar totalmente aisladas para prevenir daños a otras piezas.

**Aplicabilidad:** Ampliamente aplicable en la limpieza de mantenimiento en lugar de los procesos de limpieza diarios, ya que suelen conllevar el desmontaje de las piezas de la máquina.

En la industria de la impresión, esta técnica se emplea para deshacerse de la contaminación muy persistente adherida a las piezas de las prensas. Para ello, se aplica cada pocos meses durante un proceso de limpieza periódica intensiva en las plantas de huecograbado y secado por calor de publicaciones, en las que se suele usar tolueno o mezclas especiales de disolventes como disolvente de limpieza.

**Aspectos económicos:** Los costes son comparables a los de las técnicas de limpieza convencionales.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** Utilizada en las plantas de huecograbado y secado por calor de publicaciones de toda Europa.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004] [59, EIPPCB, 2005]

## 20.10 Sustitución: uso de sustancias menos nocivas. Principios generales

**Descripción:** El tratamiento de superficies que utiliza disolventes emplea una amplia variedad de productos químicos en un amplio rango de procesos. El punto 2 del Anexo IV de la Directiva IPPC (prevención y control integrados de la contaminación) exige la consideración del uso de sustancias menos nocivas.

El uso de sustancias menos nocivas (sustitución) puede conseguirse de tres formas diferentes:

1. Sustitución directa de una sustancia por otra menos nociva. Suele limitarse a los sistemas más sencillos, por ejemplo, la sustitución de limpiadores con bajo punto de inflamación por otros con elevado punto de inflamación (véase el apartado 20.10.1).
2. Sustitución mediante diferentes técnicas o químicas de procesos usando sustancias menos nocivas. Esta técnica se utiliza cuando no es posible realizar una sustitución directa. Las diferentes químicas de proceso de revestimiento ofrecen tratamientos con diferentes propiedades, incluso para los mismos materiales (véanse algunos ejemplos en la Tabla 20.7). Ésta es la principal ruta de sustitución de sustancias nocivas en este sector, y se tratará en los capítulos de la actividad o industria apropiadas.
3. Eliminación del proceso de tratamiento de superficies en la instalación y uso, por ejemplo, de materiales previamente revestidos en producción (por ejemplo, en la producción de electrodomésticos o en la construcción de paneles). Este tipo de sustitución puede ser beneficiosa desde el punto de vista ambiental (por ejemplo, en estudios de ciclo de vida) y puede ser elegida por un operario para alcanzar diversos objetivos, incluyendo la reducción de emisiones de COV. Sin embargo, la directiva IPPC hace referencia a la instalación y a las actividades utilizadas. Este tipo de sustitución (en realidad, la interrupción del proceso dentro de la instalación) no es, por tanto, una técnica a considerar en la determinación de una MTD y no se discute en profundidad en este documento de referencia.

<b>Revestimientos con bajo contenido de disolvente</b>	Elevado contenido sólido
	2 componentes (químicamente interreactivo)
	Al agua
	Fango (slurry) de material en polvo
<b>Revestimientos libres de disolvente</b>	Fundidos en caliente
	Revestimiento en polvo
	Revestimiento de poliéster en polvo
	Revestimiento curable por radiación

**Tabla 20.7: Ejemplos de sustitutos de disolventes usados en el sector STS (tratamiento de superficies mediante disolventes orgánicos)**

La sustitución no sólo se aplica a los disolventes utilizados en los sustratos, equipos e instalaciones de limpieza, sino también a otros componentes empleados en los procesos, como son los pigmentos, conservantes, aglutinantes, agentes tensoactivos, etc.

Algunas sustancias están incluidas en otras normativas o directrices nacionales o europeas, y las frases de riesgo suministradas con los datos del fabricante pueden ser un punto de arranque muy

útil a la hora de identificar materiales que supongan un riesgo significativo para la salud y el medio ambiente. A continuación se enumeran las posibles características nocivas de las sustancias utilizadas en este sector de la industria:

- **efectos fisiológicos adversos** (véase el apartado 20.10.4):
  - sustancias con frases de riesgo R45, R46, R49, R60 y R61;
  - sustancias con frases de riesgo R40 y R68 puede considerarse como elegibles para sustitución, aunque el principal motivo sea la salud de los trabajadores si existe un riesgo de exposición;
- **efectos fisicoquímicos**: las siguientes frases de riesgo no se contemplan como medidas de impacto ambiental (excepto cuando están sujetas a [134, CE, 2003]): explosiva, oxidante, extremadamente inflamable, altamente inflamable e inflamable;
- **formación de oxidantes fotoquímicos (potencial formación de ozono, OFP)**: véase el capítulo 1 y el apartado 20.10.2;
- **potencial de destrucción de ozono estratosférico (ODP)** (véase el apartado 20.10.3);
- **potencial de calentamiento global (GWP)**: el GWP de una sustancia es una medida de la cantidad adicional de calor que queda atrapada en la atmósfera cuando un kilogramo de sustancia es liberada instantáneamente a ella, con respecto al caso en que se libera 1 kg de dióxido de carbono;
- **efectos ecotóxicos**: se describen en la etiqueta que acompaña a las materias primas descritas en la Directiva de Marketing y Uso corregida [98, CE, 1976]. En este sector, la toxicidad acuática tal y como se define en la frase de riesgo R50/53 puede ser una de las más importantes allí donde exista riesgo de contacto con el agua, como sucede en aquellos emplazamientos en los que los sistemas a base de disolvente se sustituyen predominantemente por sistemas de base acuosa. En tales casos, puede ser necesaria la adición de biocidas, las materias primas pueden presentar una toxicidad acuática intrínseca o existe riesgo de derrame, véase el apartado 20.3.3;
- **malos olores**: muchos COV presentan mal olor. En ciertas circunstancias, las emisiones de COV pueden dar lugar a problemas de malos olores localizados (véase el apartado 20.15). No existe una medida de ámbito europeo contra los malos olores, aunque algunos Estados miembro disponen de métodos específicos para su eliminación;
- **daños al material**: puede encontrarse información acerca de la corrosividad u otras propiedades de los COV que pueden causar daños en los materiales. Sin embargo, no es probable que dicho daño se produzca a una cierta distancia del punto de descarga, debido a la dilución mediante dispersión. Por estos motivos, dichos COV no se consideran peligrosos, aunque el POCP (véase el apartado 20.10.3) tiene en cuenta la formación de ozono que puede provocar el ataque del ozono sobre ciertos materiales.

**Beneficios ambientales obtenidos**: Reducción del uso de sustancias nocivas (por ejemplo, disolventes) y de las cantidades que posteriormente se emiten al entorno, tanto previstas (por ejemplo, en forma de gases residuales) como imprevistas (por ejemplo, emisiones fugitivas, fugas, accidentes en la manipulación, etc.).

También pueden ponerse en marcha otras mejoras del rendimiento ambiental, como son el ahorro de energía en el proceso o en la depuración de los gases residuales, el uso de menor cantidad de materias primas en el proceso o en la depuración de las aguas residuales, la producción de menor cantidad de residuos o la reducción de las emisiones de ruido y polvo, etc.

**Efectos cruzados**: Dichos efectos dependen de las técnicas alternativas individuales. Algunas pueden tener efectos como el mayor uso de energía, la mayor producción de residuos o el mayor consumo de agua o de materias primas. Algunos materiales alternativos pueden aumentar los riesgos para la salud y la seguridad, tener una mayor reactividad fotoquímica (véase el apartado 20.10.2) o aumentar otros riesgos ambientales. Un enfoque sencillo para evaluar el aumento de los riesgos para la salud consiste en utilizar el *Vapour Hazard Ratio* (véase la Aplicabilidad a continuación). Encontrará más información en el BREF ECM.

**Información operativa:** Véanse los apartados 2.4.1.2, 2.4.2.2, 2.4.3.2, 3.4.5, 4.4.2, 5.4.2, 6.4.3, 7.4.2, 8.4.2, 9.4.2, 10.4.2, 11.4.7, 12.4.2, 14.4.3, 15.4.2, 16.4.4 y 17.4.3.

**Aplicabilidad:** Las decisiones de sustitución deben tomarse caso por caso, y dicha sustitución debe proporcionar adecuadamente las características de rendimiento requeridas (es decir, tener la funcionalidad apropiada). En todos los casos, es esencial que los cambios se discutan con el cliente antes de llevar a cabo la sustitución. Es una buena práctica no realizar cambios sin disponer de un total conocimiento de las características finales de rendimiento necesarias. Debido al riesgo de no obtener dichas características, es aconsejable que tanto el operario como el cliente supervisen la calidad y el rendimiento del proceso y que intercambien información para obtener la especificación establecida.

En algunos procesos que utilizan sustancias simples, como sucede con el uso del tolueno en la impresión de huecograbado de publicaciones, resulta imposible actualmente sustituir el tolueno por otro disolvente.

Dada la amplia gama de productos químicos utilizados en este sector, es poco probable que se puedan sustituir adecuadamente todos aquellos que puedan causar daños al entorno. Algunos procesos pueden depender de las sustancias nocivas, en aquellos casos en que no exista un sustituto adecuado o en que los efectos asociados (ver arriba) superen los beneficios.

Para facilitar la comparación de las posibles sustancias alternativas, pueden establecerse determinadas relaciones. Por ejemplo, para los efectos fisiológicos, el *Vapour Hazard Ratio* (VHR) compara la tendencia de un producto a evaporarse con su OEL (Límite de Exposición Profesional), como se muestra a continuación:

$$\text{VHR} = \frac{\text{Concentración de vapor en equilibrio (a 20 °C)}}{\text{OEL}}$$

Como consecuencia:

- para productos con un OEL similar, elija el producto con menor volatilidad;
- para productos con volatilidad similar, elija el producto con mayor OEL.

En aquellos casos en que los datos sean más difíciles de interpretar, deberán realizarse ciertos cálculos.

Otros factores, como la toxicidad y la ecotoxicidad, pueden evaluarse de forma sencilla utilizando, por ejemplo, una sustancia con una frase de menor riesgo. También se pueden utilizar otras medidas (como la reactividad para formar ozono, véase el apartado 20.10.2). En algunos casos, como sucede con el OFP, podría desarrollarse una relación análoga a la del VHR.

**Aspectos económicos:** Los sustitutos pueden ser más rentables, aunque esto debe determinarse caso por caso. La sustitución permite que la instalación satisfaga más de un conjunto de requisitos legales (véanse los Motivo principal para su aplicación a continuación). Así, pueden conseguirse ahorros en:

- menor uso de energía, agua y materias primas,
- reducida depuración de aguas residuales y de gases residuales,
- mejorado cumplimiento de los requisitos de salud y seguridad en el lugar de trabajo,
- mejorada calidad y fiabilidad del proceso.

**Motivo principal para su aplicación:** La salud y seguridad de los empleados es el principal motivo del uso de sustancias menos nocivas. (Nota: las sustituciones por motivos de salud profesional deben realizarse con cautela, asegurándose de que los sustitutos son realmente menos nocivos según todas las evidencias disponibles).



Otros motores legislativos ambientales son, por ejemplo, la Directiva sobre emisiones de disolventes y la recomendación PARCOM sobre materiales vertidos al agua. En algunos casos, la reducción de disolvente conseguida puede conllevar una reducción en el uso de disolventes hasta un nivel inferior al considerado por la directiva IPPC o por otras normativas.

**Ejemplos de instalaciones:** Véanse los apartados 2.4.1.2, 2.4.2.2, 2.4.3.2, 3.4.5, 4.4.2, 5.4.2, 6.4.3, 7.4.2, 8.4.2, 9.4.2, 10.4.2, 11.4.4.2, 12.4.2, 14.4.3, 15.4.2, 16.4.4 y 17.4.3.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2005], [89, Envirowise, 2003, 97, EIPPCB, 2005, 123, CE, 1999, 128, TWG, 2005, 168, ESIG, 2005]

### 20.10.1 Reemplazamiento de agentes limpiadores (sustitución)

[128, TWG, 2005]

Véase el apartado 20.9. La velocidad de evaporación de los disolventes determina la cantidad de disolvente que se evaporará durante la actividad de limpieza y el posterior almacenamiento de las toallitas contaminadas (se usa un test estándar: DIN 53170). La velocidad de evaporación de los disolventes tradicionales, como son el tolueno y el acetato de etilo utilizados en impresión, es mayor que la velocidad de evaporación de disolventes con puntos de inflamación medios a elevados. En consecuencia, la evaporación durante la limpieza puede reducirse mediante el uso de estos últimos. Los datos sobre la velocidad de evaporación pueden obtenerse del proveedor, si no han sido suministrado al usuario del disolvente. Si dicha información no está disponible, el punto de inflamación de un disolvente es un buen indicador de su velocidad de evaporación, y todos los disolventes con bajo punto de inflamación deben llevarlo indicado en el embalaje del mismo.

El uso de agentes limpiadores con puntos de inflamación medios y elevados también presenta algunas ventajas para la salud y la seguridad, ya que se reducirá la exposición del personal a los disolventes evaporados. Sin embargo, dado que algunos disolventes presentan un OEL muy bajo (1 o 2 ppm frente a las 150 ppm del acetato de etilo), dichas ventajas sólo existirán cuando el agente limpiador alternativo satisfaga los siguientes criterios:

- no existe un límite de exposición profesional sustancialmente menor,
- el cambio de disolvente no conlleva la necesidad de calentamiento,
- el disolvente no se seca mediante evaporación forzada con aire a alta presión.

Dado que el revestimiento suele ser el que se solubiliza o resuspende más fácilmente en los disolventes originales, el uso ocasional de agentes limpiadores tradicionales con bajo punto de inflamación será necesario para ayudar en las tareas de limpieza más difíciles. Una pequeña cantidad de éstos (por ejemplo, el 5 % del total) deberá guardarse en stock. Así, por ejemplo, los HBS (disolventes con elevado punto de ebullición) u otros disolventes con baja volatilidad no son aplicables a ninguna planta de impresión. Las tintas de base disolvente volátiles, cuando se secan, pueden volver a disolverse en el mismo disolvente que contenían originalmente, siendo normalmente contraproducente el uso de disolventes distintos al original. Uno de los motivos es la imposibilidad de utilizar la maquinaria existente para realizar una destilación interna y para reutilizarlo cuando se cambia a un disolvente con elevado punto de ebullición. Los sistemas internos de filtración se encuentran actualmente en fase de desarrollo para este tipo de disolventes HBS. Otros ejemplos de situaciones en las que será necesario utilizar agentes limpiadores volátiles son los siguientes (véase el apartado 20.9):

- limpieza de rodillos humectadores,
- mantenimiento,
- limpieza de tintas curadas por UV,
- cambios de color difíciles.

Cuando se usan disolventes alternativos con menor volatilidad/mayor punto de inflamación para limpiar suelos, dichos disolventes no se evaporan rápidamente (por definición) y, por tanto,



dejan el suelo resbaladizo. En tales casos, es necesario secar el suelo, en ocasiones con pequeñas cantidades de disolventes volátiles.

[148, TWG, 2006]

### 20.10.1.1 Agentes limpiadores con puntos de inflamación > 40 °C

**Descripción:** La velocidad de evaporación de los disolventes tradicionales es significativamente superior a la de los disolventes con un punto de inflamación superior a 40 °C. En consecuencia, la evaporación durante la limpieza se puede reducir mediante el uso de disolventes con punto de inflamación intermedio. Dichos disolventes pueden ser útiles como un paso intermedio cuando se pasa de agentes limpiadores volátiles a otros que sean menos volátiles.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV a la atmósfera en hasta un 40 % en comparación con los disolventes con elevado punto de inflamación (véase el apartado 20.10.1.2). El riesgo de contaminación del suelo es menor. El consumo de disolvente disminuye al disminuir la cantidad de disolvente que se evapora.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Los disolventes con punto de inflamación intermedio pueden no ser tan eficaces como los disolventes tradicionales, por lo que el tiempo necesario para realizar la limpieza será mayor.

**Aplicabilidad:** No se utiliza en todas las industrias (véase el apartado 20.10.1.2 a continuación).

**Aspectos económicos:** En el sector de la impresión, dado que la limpieza es más lenta y que el tiempo de uso de la prensa es muy caro, el uso de disolventes con menor volatilidad se convierte rápidamente en un proceso prohibitivamente caro si, además, se pierde tiempo de prensa. Así, por ejemplo, la pérdida de tiempo de producción debida a una evaporación más lenta del disolvente puede costar fácilmente más de 1000 EUR por hora en la impresión con secado por calor.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [35, Aminal et al., 2002] [76, TWG, 2004] [54, BMLFUW Austria, 2003]

### 20.10.1.2 Agentes limpiadores con punto de inflamación > 55 °C

**Descripción:** La velocidad de evaporación de los disolventes tradicionales puede ser unas 100 veces mayor que la de los disolventes con un punto de inflamación > 55 °C. En consecuencia, la evaporación durante la limpieza puede reducirse drásticamente mediante el uso de disolventes con elevado punto de inflamación.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La reducción de las emisiones de COV a la atmósfera depende de la situación inicial: la sustitución de disolventes con un punto de inflamación < 21 °C permite obtener una reducción de cerca del 90 %, mientras que la sustitución de disolventes con un punto de inflamación de 21 – 55 °C puede generar una reducción de cerca del 50 %. Otra ventaja de la sustitución es el menor riesgo de contaminación del suelo. El consumo de disolvente disminuye al disminuir la cantidad de disolvente que se evapora.

**Efectos cruzados:** Las pérdidas de papel pueden aumentar, ya que, tras la limpieza intermedia, el tiempo necesario para que desaparezcan los agentes limpiadores es mayor y esto puede provocar la rotura de la bobina.

**Información operativa:** Los disolventes con elevado punto de inflamación pueden no ser tan efectivos y eficaces como los disolventes tradicionales, aunque la experiencia permite obtener unos resultados aceptables. La limpieza con disolventes de elevado punto de inflamación requerirá mayor tiempo; no obstante, la formación y la experiencia permitirán reducir la pérdida de tiempo a un nivel aceptable.

En Alemania se ha firmado un acuerdo entre la organización de salud y seguridad y la industria de impresión en offset con secado por calor, de forma que sólo se utilicen agentes limpiadores con un punto de inflamación superior a 55 °C y con un contenido aromático inferior al 1 %. Aunque el principal motor de este acuerdo es la salud de los trabajadores, el uso de disolventes con elevada volatilidad/elevado potencial de creación de ozono se ha reducido considerablemente mediante la sustitución de los disolventes convencionales de tipo «white spirit».

**Aplicabilidad:** Estos disolventes se aplican en limpiezas manuales y automáticas. Se emplean de forma ordinaria en el secado por calor en aquellos casos en que se utilizan mezclas de agentes limpiadores de origen vegetal (VCA) y elevados puntos de inflamación (55 - 100 °C) con el fin de obtener la adecuada velocidad de secado.

En la fabricación de embalajes flexibles, los disolventes con elevado punto de inflamación se utilizan habitualmente en pequeñas cantidades para eliminar la contaminación muy persistente. Sin embargo, no se emplean normalmente en la limpieza diaria de las máquinas de limpieza, aunque se han llevado a cabo algunos experimentos que no han tenido el éxito esperado.

**Aspectos económicos:** En el sector de la impresión, dado que la limpieza es más lenta y que el tiempo de uso de la prensa es muy caro, el uso de disolventes con menor volatilidad se convierte rápidamente en un proceso prohibitivamente caro si, además, se pierde tiempo de prensa. Así, por ejemplo, la pérdida de tiempo de producción debida a una evaporación más lenta del disolvente puede costar fácilmente más de 1000 EUR por hora en la impresión con secado por calor.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [29, Países Bajos, 1996] [76, TWG, 2004] [168, ESIG, 2005]

### 20.10.1.3 Agentes limpiadores con punto de inflamación > 100 °C

**Descripción:** Los agentes limpiadores que poseen un punto de inflamación superior a 100 °C también se denominan disolventes con elevado punto de ebullición (HBS por sus siglas en inglés). Éstos presentan una evaporación aún menor (cerca de cero) que los disolventes con punto de inflamación superior a 55 °C.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La principal ventaja del uso de este tipo de disolventes se obtiene durante el almacenamiento de los disolventes usados y de las toallitas contaminadas, ya que la evaporación es menor que en el caso del uso de disolventes con un menor punto de inflamación. También se reduce el riesgo de contaminación del suelo debido al aire enriquecido en disolvente. Otra ventaja es la reducción al mínimo del riesgo de exposición de los trabajadores.

**Efectos cruzados:** Cuando menor es la cantidad de disolvente que se evapora, mayor es la cantidad que queda como residuo y que debe ser tratada o eliminada. La limpieza con HBS requiere una limpieza posterior, que se lleva a cabo con agua. En tal caso, el consumo de agua y el vertido de efluentes también aumentarían, por lo que los HBS suelen diluirse con agua. Las

mezclas de agua y HBS pueden depurarse mediante filtración, tras lo cual el HBS puede reutilizarse y el residuo acuoso puede verterse normalmente al sistema de alcantarillado.

**Información operativa:** En la impresión en offset con secado por calor, la aplicación de HBS requiere un método de trabajo diferente al empleado con los disolventes tradicionales. Por ello, los resultados de la aplicación de HBS son variables, aunque suelen ser favorables. En general, esto es así cuando las prensas se limpian a mano.

Sin embargo, cuando se utilizan sistemas de limpieza automática, debe quedar claro que no existe ninguna objeción por parte de los fabricantes frente al uso de los disolventes con elevado punto de ebullición (HBS), ya que algunos sistemas automáticos pueden resultar dañados debido al uso de estos productos. En particular, los sistemas automáticos anteriores a 1996 pueden requerir algunas adaptaciones en los sistemas de dosificación y rociado.

**Aplicabilidad:**

- aplicable a las plantas de impresión en offset con secado por calor,
- los disolventes HBS se aplican en limpiezas manuales y automáticas.

**Aspectos económicos:** En general, esta técnica se autofinancia, aunque deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones:

- excepto en el caso de la limpieza automática en plantas antiguas, en donde los costes de reconversión pueden ser elevados;
- modernas unidades de limpieza automática, si siguen utilizando disolventes con elevada volatilidad, en las que sólo se usan unos pocos mililitros en cada ciclo de limpieza;
- una pérdida de tiempo de producción por ciclo de limpieza, aunque sea mínima, hace que esta técnica resulte muy cara si se expresa en EUR/kg no emitido.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003] [21, Consejo de Ministros Nórdicos, 1998] [29, Países Bajos, 1996] [76, TWG, 2004] [54, BMLFUW Austria, 2003] [128, TWG, 2005]

#### 20.10.1.4 Agentes limpiadores de origen vegetal (VCA)

**Descripción:** Los agentes limpiadores de origen vegetal (VCA) se incluyen en el grupo de agentes limpiadores con un punto de inflamación  $> 100$  °C (véase el apartado 20.10.1.3). La primera generación de VCA eran simplemente aceites vegetales refinados, que resultaron ser bastante espesos y difíciles de manipular. La actual generación de VCA son monoésteres de diferentes ácidos grasos que se diferencian en los grados de saturación (índice de yodo) y en el contenido de ácidos grasos (índice de acidez). Existen sistemas de limpieza automática especialmente contruidos para utilizarse con VCA.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Estos VCA se obtienen de una fuente renovable y, por tanto, no aumentarán las emisiones de gases de efecto invernadero. Otra ventaja del uso de este tipo de disolventes se obtiene durante el almacenamiento de los disolventes usados y de las toallitas contaminadas, ya que la evaporación es menor que en el caso del uso de disolventes con un menor punto de inflamación. También se reduce el riesgo de contaminación del suelo. Una ventaja adicional es la reducción al mínimo del riesgo de exposición de los trabajadores.

**Efectos cruzados:** La limpieza con VCA requiere una limpieza posterior, que se lleva a cabo únicamente con agua. En consecuencia, la cantidad de aguas residuales es mayor. Las mezclas

de agua y VCA pueden depurarse mediante filtración, tras lo cual el VCA puede reutilizarse y el residuo acuoso puede verterse normalmente al sistema de alcantarillado. Algunos VCA pueden tener un impacto toxicológico en humanos.

Se ha descrito que algunos VCA pueden contener hasta un 15 % de disolventes o ingredientes tóxicos (aunque dicha afirmación no se ha definido de forma más detallada). Obviamente, dichos VCA no pueden añadir ningún valor ambiental o de protección de la salud y seguridad de los trabajadores. El uso de VCA discutido en este apartado se basa en los VCA que están libres de disolventes e ingredientes tóxicos.

**Información operativa:** La aplicación de VCA requiere un método de trabajo diferente al empleado con los disolventes convencionales. Por ello, los resultados son variables, aunque suelen ser favorables. En general, esto es así cuando las prensas se limpian a mano. No obstante, la formación y la experiencia permiten mejorar dichos resultados.

En la industria de la impresión, cuando se utilizan sistemas de limpieza automática en plantas de impresión en offset, debe quedar claro que no existe ninguna objeción por parte de los fabricantes frente al uso de los agentes limpiadores de origen vegetal (VCA), ya que algunos sistemas automáticos pueden resultar dañados debido al uso de estos productos. En particular, los sistemas automáticos anteriores a 1996 pueden requerir algunas adaptaciones en los sistemas de dosificación y pulverización. Ocasionalmente, las juntas deben sustituirse.

**Aplicabilidad:** Aplicable en las plantas de impresión en offset con alimentación de hojas. En los procesos de impresión offset rotativa con secado por frío y por calor, sólo se usa para llevar a cabo la limpieza final de la prensa. Esto se debe a que, durante la impresión, el agua de lavado puede romper fácilmente la bobina de papel. Una encuesta realizada en Dinamarca muestra que cerca del 65 % de las impresoras offset con alimentación de hojas usan regularmente los agentes limpiadores de origen vegetal, utilizando los disolventes volátiles únicamente en aquellos casos en que es necesario eliminar la tinta seca. El consumo de VCA en dichas plantas supone cerca del 2 % de todos los disolventes utilizados. Otros informes, como el realizado en los Países Bajos, muestran que estos agentes limpiadores no se aplican en el secado por calor y no siempre lo hacen en los sistemas con alimentación de hojas. También se ha descrito que, en el secado por calor, la diferencia en la cantidad de emisiones entre los HBS y los VCA no justifican los costes adicionales ni la pérdida de tiempo.

El uso de agentes limpiadores de origen vegetal debe limitarse a aquellos con una conocida toxicología y otros efectos asociados.

**Aspectos económicos:** Con frecuencia, los VCA son cuatro veces más caros que los agentes limpiadores convencionales. Sin embargo, el volumen de VCA necesario para limpiar una superficie de mantilla constante es la mitad del volumen empleado con agentes limpiadores convencionales. En general, esta técnica se autofinancia, aunque deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones:

- la limpieza automática en plantas antiguas, en donde los costes de reconversión pueden ser elevados;
- modernas unidades de limpieza automática, si siguen utilizando disolventes con elevada volatilidad, en las que sólo se usan unos pocos mililitros en cada ciclo de limpieza;
- una pérdida de tiempo de producción por ciclo de limpieza, aunque sea mínima, hace que esta técnica resulte muy cara si se expresa en EUR/kg no emitido.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003] [21, Consejo de Ministros Nórdicos, 1998] [11, IMPEL, 2000] [76, TWG, 2004]

### 20.10.1.5 Disolventes potentes no volátiles

**Descripción:** Los disolventes potentes como la n-metil-2-pirrolidona (punto de ebullición de 202 °C, punto de inflamación de 95 °C) y la etanolamina (punto de ebullición de 170 °C, punto de inflamación de 85 °C, presión de vapor de 0,2 mm Hg) pueden utilizarse cuando sea necesaria la actuación de un disolvente potente, normalmente en el proceso de limpieza. Pueden sustituir a los disolventes halogenados (véase el apartado 20.10.3).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menores emisiones a la atmósfera y menor producción de residuos peligrosos.

**Efectos cruzados:** Cuando se utilizan a temperatura ambiente, los disolventes potentes con baja volatilidad no generan emisiones y el equipo de salud y seguridad necesario es limitado. Sin embargo, cuando se utilizan a temperaturas más elevadas para mejorar su eficiencia, estas ventajas desaparecen. A finales de 2006, la n-metil-2-pirrolidona se encontraba bajo supervisión y puede ser clasificada como una sustancia CMR (carcinógena, mutágena y tóxica para la reproducción).

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La aplicabilidad depende del uso específico (véase el apartado 20.9). La sustitución se ha aplicado con éxito en la industria de la impresión (a través de normativas y acuerdos con la industria de ámbito europeo), en la fabricación de revestimiento de fricción, y se aplica de forma generalizada en todos los sectores de la industria.

**Aspectos económicos:** Resulta más caro que los disolventes tradicionales.

**Motivo principal para su aplicación:** Salud y seguridad en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** Véase la Aplicabilidad descrita anteriormente.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [12, UBA Alemania, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [148, TWG, 2006]

### 20.10.1.6 Limpieza a base de agua

Véase el apartado 20.9.8.

## 20.10.2 Uso de disolventes con menor potencial de formación de ozono (OFP)

**Descripción:** Los diferentes COV reaccionan de manera diferente cuando son emitidos al aire: esto es lo que se conoce como reactividad o potencial de formación de ozono. La reactividad de los COV no es una función estática de un compuesto, sino que varía con las condiciones ambientales. La temperatura, la cantidad de luz del sol disponible y la concentración de NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno), así como la presencia de otros COV en el aire pueden afectar al potencial de un compuesto determinado para formar ozono. La meteorología también juega un papel importante. Por tanto, la asignación de un valor de reactividad a los COV es una tarea compleja.

Las escalas utilizadas de forma más habitual para comparar la reactividad de los diferentes COV son:

- el potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP) (discutido en el BREF ECM),
- la reactividad máxima incremental (MIR), derivada de la legislación de California, EE.UU.

Una escala alternativa denominada IDOP (máxima producción de ozono integrada en la dirección del viento) ha sido desarrollada en el Reino Unido. La IDOP se expresa en ppb (partes por billón) de ozono por régimen de emisión de COV en toneladas por hora. En la actualidad sólo se han calculado los valores IDOP de 100 sustancias individuales, y se recomienda realizar un mayor número de evaluaciones antes de aplicar la escala IDOP de forma rutinaria. Éste es un campo adecuado para futuras investigaciones (véanse las Observaciones finales en el apartado 23.4). Dado que el MIR está calculado para las condiciones climáticas de California, esto deja al POCP como la opción más adecuada con la que trabajar actualmente.

El uso de una escala para el OFP permite sumar una mezcla de los COV (véase el BREF EMC). Sin embargo, el OFP suele utilizarse para evaluar el efecto de las sustancias ya volatilizadas (por ejemplo, en cabinas de pulverización, secadores) y liberadas, como sucede en la modelización. Allí donde las sustancias no se volatilizan automáticamente (por ejemplo, con algunos materiales de limpieza), puede ser necesario tener esto en cuenta. La ecoetiqueta Cisne utiliza un potencial de creación de ozono efectivo  $POCP_{\text{efectivo}}$  (el POCP multiplicado por el índice relativo de evaporación). Una alternativa aproximada consiste en utilizar la presión de vapor multiplicada por el POCP (véase el Anexo 24.7):

El impacto de una mezcla de disolventes en la formación de ozono para materiales puede expresarse entonces como:

$$POCP_{\text{efectivo}} = \sum_1^n x_1(POCP_{\text{efectivo}})_1 + x_2(POCP_{\text{efectivo}})_2 + \dots + x_n(POCP_{\text{efectivo}})_n$$

En donde:

$x_1$  es la concentración de la sustancia 1 de la mezcla,  
 $(POCP_{\text{efectivo}})_1$  es el potencial de creación de ozono efectivo (que es igual al POCP cuando todo el disolvente se volatiliza en el proceso).

Una fórmula similar (pero utilizando el peso volatilizado en lugar de la concentración) puede utilizarse para comparar los efectos de la liberación de diferentes cantidades de diferentes disolventes liberados a partir de diferentes formulaciones.

La Figura 20.4 siguiente muestra gráficamente cómo utilizar la fórmula para evaluar si una propuesta de sustitución conseguirá un beneficio ambiental.  $VP_n$  es la presión de vapor de  $n$  componentes (como una primera aproximación; esta suma asume que no existe ninguna interacción fisicoquímica entre los diferentes componentes, que es probablemente el «caso más desfavorecido» posible).



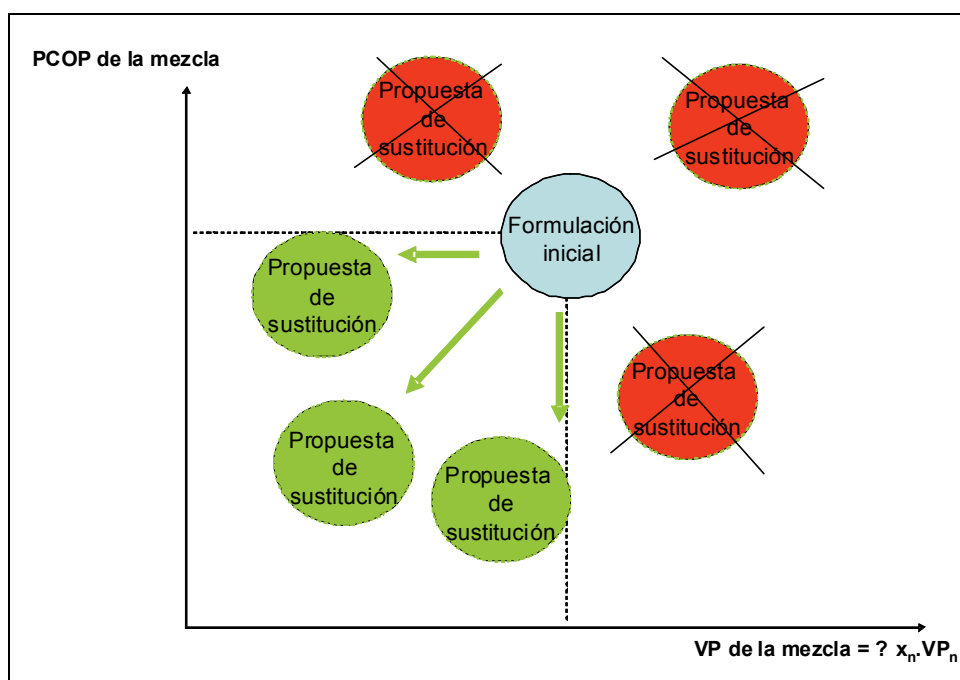


Figura 20.4: Evaluación de las potenciales sustituciones a través del POCP

**Beneficios ambientales obtenidos:** La sustitución directa de disolventes aromáticos ligeros con elevada reactividad, como el tolueno, xileno y la nafta (C9 aromáticos), por otras alternativas con menor reactividad ofrece la posibilidad de reducir el POCP relativo a los COV en un 20 - 40 % (véase la Aplicabilidad a continuación).

Algunos disolventes aromáticos se clasifican como peligrosos para el medio ambiente (R51/53: con excepciones que incluyen al tolueno, los xilenos y los etilbencenos), por lo que sus sustitución también puede ser beneficiosa para el entorno acuático, dependiendo de los productos de sustitución seleccionados.

**Efectos cruzados:** Los COV clorados tienden a presentar una baja reactividad para formar ozono, pero unos elevados potenciales de destrucción de ozono estratosférico (ODP), así como efectos tóxicos.

**Información operativa:** Véase la Aplicabilidad descrita a continuación.

**Aplicabilidad:** Mientras que el OFP es el motivo científico que está detrás de la necesidad de reducir las emisiones de COV, el uso del OFP se encuentra en sus inicios y no puede emplearse para mostrar la conformidad con la legislación existente como la SED (en el ámbito del operario) y los Techos nacionales de emisiones (en el ámbito del Estado miembro).

Esta técnica no es aplicable en instalaciones en las que las emisiones de disolventes se mitiguen o prevengan adecuadamente, como sucede en la depuración de gases residuales (véase el apartado 20.11).

Los cálculos de reactividad de los COV muestran que, aunque existe una cierta variación en los rangos relativos de los COV individuales, los disolventes aromáticos ligeros son los productos más reactivos en términos de formación de ozono en las tres escalas (y lo mismo sucede con otras escalas que han sido probadas en los EE.UU.). En general, la sustitución de productos aromáticos ligeros en formulaciones de tratamiento de superficies permite reducir de forma significativa el OFP del producto final, a pesar de las incertidumbres asociadas a los valores de POCP (u otros valores de reactividad). Sin embargo, es importante destacar que, aunque los COV clorados suelen presentar valores bajos en las escalas de formación de ozono, no deben



utilizarse para sustituir a los COV no clorados, ya que presentan elevados valores de ODP (véase el apartado 20.10.3), además de tener un fuerte impacto sobre la salud y la seguridad.

Los sistemas compuestos, como las pinturas para automóviles (y algunos tipos de tintas de impresión), pueden contener hasta 30 disolventes diferentes. Esta sofisticada mezcla de disolventes se utiliza para conseguir especificaciones concretas, como color, secado, durabilidad, etc. La modificación de esta mezcla para disminuir el  $PCOF_{total}$  manteniendo los requisitos de calidad requeriría una gran inversión por parte de la industria (Véase Aspectos económicos a continuación) y es algo que no podría conseguir un fabricante de automóviles individual o una instalación aislada. Sin embargo, puede implementarse durante un prolongado período de tiempo como una consideración para las futuras formulaciones de pinturas (por ejemplo, mediante REACH, véanse las Observaciones finales en el apartado 23.4).

En algunos procesos que utilizan disolventes con un mayor OFP, dichos disolventes no pueden sustituirse por motivos técnicos. Esto puede suceder incluso cuando en los procesos se utiliza un disolvente de principio único, como el tolueno en la impresión de huecograbado de publicaciones.

El OFP puede utilizarse (dentro de las limitaciones descritas en este apartado) para guiar las sustituciones debidas a la existencia de otros peligros (descritos en el apartado 20.10) con el fin de asegurarse que dichas sustituciones disminuyen (o al menos no aumentan) el OFP global. Esto es importante a la hora de determinar qué sustitución se llevará a cabo para alcanzar los objetivos de emisiones. Puede utilizarse allí donde otras medidas no pueden alcanzar los valores de emisión asociados o allí donde no se puedan aplicar técnicamente (debido, por ejemplo, a la existencia de efectos cruzados desfavorables). Puede ser la más fácil de utilizar en sistemas simples, como la sustitución guiada de los disolventes de limpieza (véanse los apartados 20.9 y 20.10.3) y sus portadores para preservar la madera (véase el capítulo 18). Si se emplea el OFP, el valor de POCP podrá utilizarse en los casos en los que el disolvente se evapora, mientras que el  $PCOF_{efectivo}$  deberá usarse en aquellos casos en los que la evaporación sólo es parcial (por ejemplo, con algunas técnicas de limpieza).

**Aspectos económicos:** La industria de la automoción estima que el coste de implementación para el pintado de los automóviles se encuentra en un rango comprendido entre 100 y 3500 millones de EUR, con una escala de tiempo aproximada de 10 años. Además, es probable que la implementación de este tipo de cambio en la producción conlleve costes ocultos, ya que los nuevos sistemas de disolventes pueden no tener las mismas características.

**Motivo principal para su aplicación:** Políticas y normativas destinadas a reducir la formación de ozono troposférico, como el Protocolo de Gotemburgo de la UNECE y la Directiva europea sobre Techos nacionales de emisiones 2001/81/CE), CAFÉ (Clean Air For Europe – Aire puro para Europa), REACH, etc.

Los disolventes aromáticos ligeros presentan límites de exposición profesional relativamente bajos, por lo que, desde el punto de vista de la salud de los trabajadores, su sustitución también puede ser favorable.

El etilbenceno, un componente del xileno industrial, se encuentra sometida a una evaluación de riesgos por parte de la Unión Europea bajo el Reglamento 793/93/CEE sobre la evaluación de sustancias existentes. Las pruebas toxicológicas realizadas al etilbenceno muestran una cierta actividad carcinógena en ratas y ratones, por lo que la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer lo ha clasificado como carcinógeno del grupo 2B (posible carcinógeno para los humanos).

**Ejemplos de instalaciones:** Aplicado por las autoridades de control de polución del aire en los EE.UU., especialmente el MIR, que es utilizado por los reguladores y por la industria californiana.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004] [96, ESIG, 2005] [97, EIPPCB, 2005] Ecoetiqueta Swan [www.Svanen.nu] [148, TWG, 2006, 169, Lemoine, 2006, 170, Tempany y Lemoine, 2006, 172, mayo de 2006]

### 20.10.3 Sustitución de disolventes halogenados

**Descripción:** Los disolventes halogenados pueden sustituirse por disolventes menos peligrosos, por ejemplo, cuando se requiera la acción de un disolvente potente para realizar una limpieza. Para ello, se pueden utilizar disolventes potentes como la n-metil-2-pirrolidona y la etanolamina (véase el apartado 20.9.5). En el caso de las pinturas de base disolvente halogenados, es posible utilizar sistemas de pintado alternativos (véase el apartado 20.7).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducido riesgo de emisiones durante la manipulación y a la atmósfera y menor producción de residuos peligrosos.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Los hidrocarburos clorados se utilizan en ciertas ocasiones para desengrasar superficies en la producción de revestimientos de fricción, además de emplearse como disolvente para realizar diversos revestimientos para los vehículos destinados a la agricultura y la construcción.

En los embalajes flexibles, los disolventes halogenados como el diclorometano se utilizaban para eliminar la contaminación persistente. Sin embargo, este tipo de disolventes han sido sustituidos por otros disolventes no volátiles como la n-metil-2-pirrolidona y la etanolamina.

**Aplicabilidad:** La aplicabilidad depende de la técnica específica y de su uso. La sustitución se ha aplicado con éxito en la industria de la impresión (a través de normativas y acuerdos con la industria de ámbito europeo), en la fabricación de revestimiento de fricción, y se aplica de forma generalizada en todos los sectores de la industria. Existen sistemas de pintado que permiten sustituir las pinturas que utilizan disolventes halogenados.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Salud y seguridad en el lugar de trabajo. La SED establece un límite de emisión de  $20 \text{ mg/Nm}^3$  allí donde el flujo másico de los COV halogenados con una frase de riesgo R40 sea igual o superior a  $100 \text{ g/h}$ .

En Alemania, el uso de disolventes halogenados se considera obsoleto.

**Ejemplos de instalaciones:** Los disolventes halogenados han sido sustituidos a gran escala (por ejemplo, en Alemania).

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [12, UBA Alemania, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.10.4 Sustitución de disolventes y otros materiales con propiedades CMR

**Descripción:** Existen diversas sustancias o técnicas que pueden utilizarse para sustituir aquellas sustancias o preparaciones que, debido a su contenido de COV, se clasifican como carcinógenas, mutágenas o tóxicas para la reproducción según la Directiva 67/548/CEE y aquellas a las que se les asigna o portan las frases de riesgo R45, R46, R49, R60, R61.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Este tipo de sustitución se ha aplicado con éxito en el sector de la impresión. Para sustituir los disolventes, las instalaciones han sustituido el desengrasado con disolventes por otros sistemas de limpieza sin disolvente, aunque no siempre se trate de disolventes CMR (véase el apartado 20.10.1.6).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Salud y seguridad en el lugar de trabajo, SED y Directiva sobre marketing y uso.

**Ejemplos de instalaciones:** La mayoría de los talleres de pintura de Alemania y muchos de los talleres de galvanizado que manipulan sustancias comparables en toda Europa.

**Bibliografía de referencia:** [98, CE, 1976, 123, CE, 1999] [128, TWG, 2005]

### 20.10.5 Agentes de limpieza a base de agua

**Descripción:** En los talleres de pintura en los que se utilizan pinturas al agua, se pueden usar mezclas de alcohol o glicol y agua (butil glicol/agua) en lugar de los disolventes orgánicos puros.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducido consumo de disolventes.

**Efectos cruzados:** Aunque el contenido de disolvente se puede reducir de forma significativa, es necesario destacar que los limpiadores al agua pueden contener hasta un 15 % de disolvente. Si es necesario realizar un secado adicional entre la limpieza y los procesos posteriores, el consumo de energía se puede incrementar.

**Información operativa:** Los agentes limpiadores al agua se pueden utilizar junto con los tratamientos biológicos.

**Aplicabilidad:** Los agentes limpiadores al agua se utilizan en la industria de la automoción en aquellos casos en los que se emplean pinturas al agua.

Los agentes limpiadores al agua no están disponibles para la impresión en offset, ni para el huecograbado de publicaciones o los embalajes flexibles en los que se utilicen tintas, pinturas o adhesivos con base de disolvente.

El uso de agentes limpiadores al agua puede generar determinados problemas si el siguiente proceso requiere el uso de disolventes. También puede conllevar una etapa de secado adicional entre la limpieza y el tratamiento posterior.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Plantas del sector de automoción y de tratamientos superficiales de toda Europa. Numerosos talleres de galvanización de Europa (que manipulen sustratos similares a los empleados en los talleres de pintura).

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

## 20.11 Depuración de gases residuales

Este apartado describe los sistemas de depuración aplicados a los gases residuales que contienen disolventes. No sólo se discuten los diferentes tipos de tratamientos disponibles, sino también su diseño y disposición. Este apartado también incluye las técnicas empleadas para optimizar o minimizar el flujo de aire que debe someterse a depuración, así como las técnicas para recuperar los disolventes depurados, como la destilación. La Figura 20.5 muestra un esquema de los rangos de aplicación de las tecnologías de disminución, eliminación de los COV disponibles hasta el año 2000. La industria aclara que el lavado húmedo sólo se emplea para eliminar partículas, que la condensación debe combinarse con un proceso de secado por gas inerte y que se requieren concentraciones mucho más elevadas. Por ello, la técnica más utilizada en la actualidad es la incineración regenerativa (oxidación), que cubre un rango de menos de 5000 m<sup>3</sup>/h hasta más de 100 000 m<sup>3</sup>/h [76, TWG, 2004].

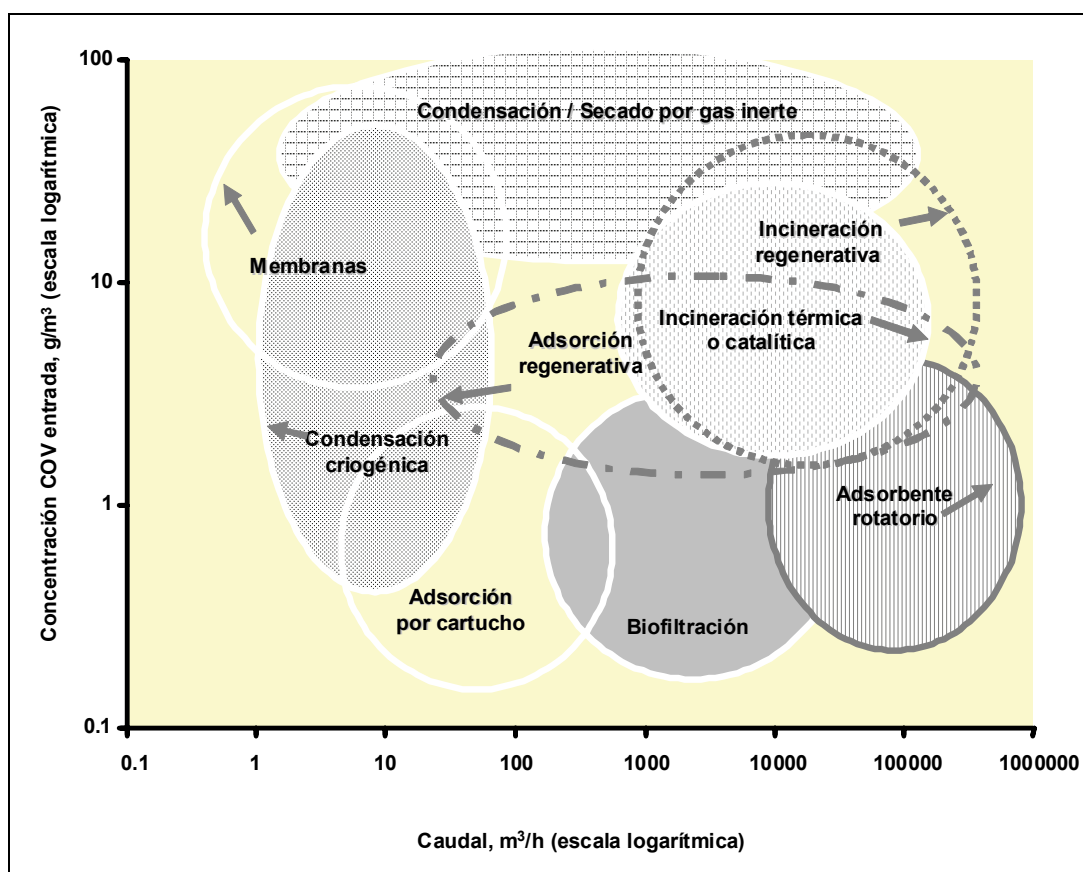


Figura 20.5: Esquema de rangos de aplicación de las tecnologías de disminución, eliminación de COV disponibles [60, ESIG, 2000]

### 20.11.1 Diseño, optimización y gestión de las técnicas de extracción y disminución, eliminación

#### 20.11.1.1 Selección, diseño y optimización del sistema

**Descripción:** Los sistemas de extracción de aire que contienen disolventes suelen diseñarse, principalmente, para que la atmósfera de las zonas de trabajo y del equipo se mantengan en niveles muy por debajo del límite LEL y para que las concentraciones de disolventes sean inferiores al OEL (que puede ser mayor que el LEL inferior mantenido en la zona). La extracción de fuentes puntuales de disolventes puede llevar al uso de sistemas de depuración de gases residuales. En algunos casos (como las máquinas de lavado que emplean disolventes), el aire es expulsado para su depuración con el objetivo básico de reducir las emisiones de

disolventes. Además, en muchos casos, el objetivo original de depuración de los gases residuales era la reducción de los malos olores.

El diseño de los sistemas de extracción debe tener en cuenta:

- la cantidad de aire a extraer,
- el nivel esperado de disolventes,
- el tipo de tratamiento, así como su rentabilidad y efectos cruzados,
- el número de horas de funcionamiento al año.

La extracción de un gran volumen de aire con respecto al disolvente aumenta el tamaño del sistema de disminución, eliminación y puede aumentar la cantidad de energía necesaria como combustible de soporte para la combustión.

Las emisiones fugitivas que no son atrapadas por los sistemas de extracción y depuración de gases residuales suponen frecuentemente la mayor parte de las emisiones de disolventes (por ejemplo, véase el apartado 2.3). Este hecho debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar un sistema de extracción y disminución, eliminación.

Un ejemplo en el que hay que tener en cuenta los efectos cruzados entre la impresión flexográfica con tintas al agua y al disolvente se describe en el BREF ECM [97, EIPPCB, 2005].

El anexo 24.9 ofrece un resumen de las técnicas de depuración de gases residuales (oxidación, adsorción, condensación y depuración biológica), así como su aplicabilidad. En él se comparan las eficiencias de eliminación de las técnicas más ampliamente utilizadas para diferentes tipos de disolventes y a diferentes concentraciones de entrada [148, TWG, 2006].

Las siguientes consideraciones pueden ser de ayuda en la selección, diseño y optimización del sistema, aunque puede ser necesaria la ayuda de un experto:

- **emisiones discontinuas:** para los procesos discontinuos, las técnicas con cargas pequeñas y variables como la oxidación térmica simple (incineración) o la adsorción (por ejemplo, en cartuchos) son las más rentables;
- **selección del tratamiento térmico para funcionamiento continuo** [112, Verspoor y fabricante, 2005]: cuando las emisiones son continuas, debe considerarse el uso de sistemas de oxidación de múltiples lechos. La demanda energética de la extracción del aire y del combustible de soporte es más elevada. La Tabla 20.8 muestra el tipo de sistema a utilizar para alcanzar diferentes niveles de emisión.

Concentración de COV en gases residuales tras el tratamiento (mg C/Nm <sup>3</sup> )	Sistema necesario
20 mg C de media en 24 h	Sistema de oxidación de 3 lechos
50 mg C de media en 24 h	Sistema de oxidación de 2 o 3 lechos (dependiendo del valor máximo de COV entrante)
100 mg C de media en 24 h	Sistema de oxidación de 2 lechos
20 mg C en todo momento	Sistema de oxidación de 3 lechos
50 mg C en todo momento	Sistema de oxidación de 3 lechos
100 mg C en todo momento	Sistema de oxidación de 3 lechos

**Tabla 20.8: Influencia del valor de emisión en la elección de un sistema de oxidación de 2 o 3 lechos [112, Verspoor y fabricante, 2005]**

Los costes de inversión de los sistemas de oxidación de 2 lechos son un 10 a 15 % menores que los de los sistemas de oxidación de 3 lechos. En las plantas de combustión con precalentamiento regenerativo (plantas OTR, oxidación térmica regenerativa), el mayor consumo de energía es,

con diferencia, el de los intercambiadores de calor integrados (> 95 %). Por ello, el requisito energético en la depuración de gases residuales para conseguir tratar  $20 \text{ mg/m}^3$  de gases no es significativamente mayor que la energía necesaria para alcanzar un valor de  $50 \text{ mg/m}^3$  o  $100 \text{ mg/m}^3$ . Sin embargo, el consumo de energía del ventilador principal del sistema de extracción sí es superior, y también lo son los costes de mantenimiento. Si la temperatura del proceso se reduce porque se permite una mayor concentración de COV en los gases depurados, las emisiones de CO aumentarán de forma considerable;

- **efecto del consumo de energía por debajo de las condiciones autotérmicas:** para conocer el efecto del coste de utilización del incinerador cuando el contenido medio de disolvente se reduce estructuralmente con el tiempo debido, por ejemplo, a una disminución del contenido de disolvente de los materiales de revestimiento utilizados, véase la Figura 20.6 En ella se muestran los datos de un incinerador en una planta de embalajes flexibles. La cantidad de gas utilizada tras alcanzarse el punto autotérmico aumenta exponencialmente para los flujos medios y bajos;

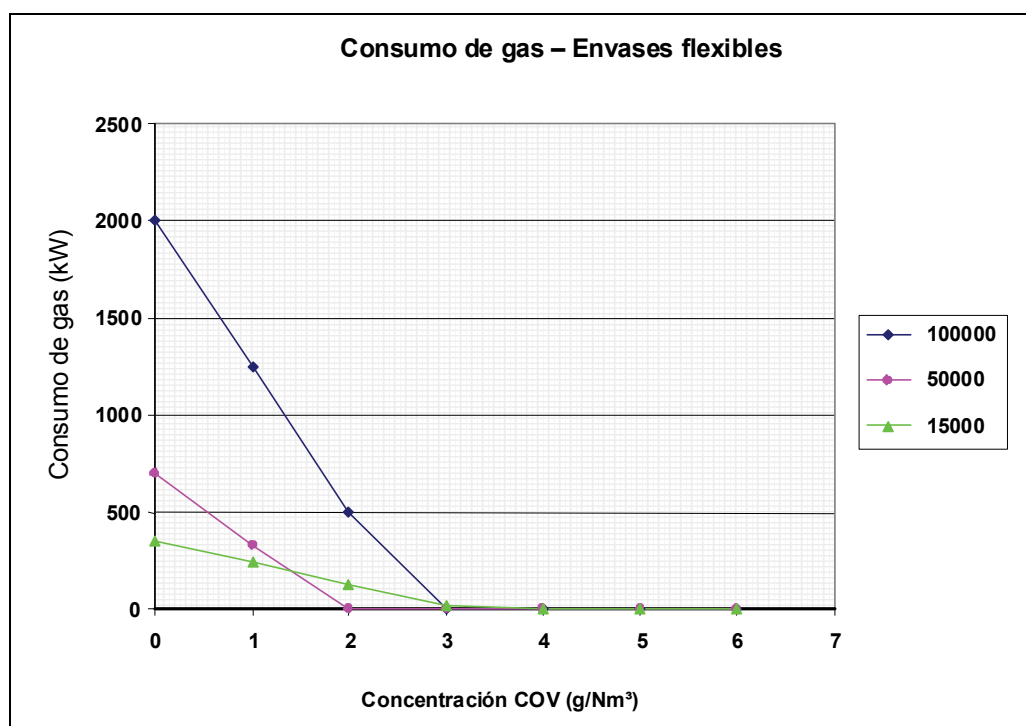


Figura 20.6: Ejemplo de consumo de gas por debajo del punto autotérmico para una planta de embalajes flexibles [112, Verspoor y fabricante], 2005]

- **relación coste-beneficio del consumo de energía para controlar las bajas emisiones de disolventes:** el BREF ECM describe las formas de calcular e interpretar los efectos cruzados para opciones de procesado alternativas, reagrupando las emisiones en siete efectos ambientales (temas). Estos efectos pueden compararse utilizando escalas de efecto relativo para las sustancias individuales emitidas o para sus toxicidades (véase el apartado 20.10). Sin embargo, resulta difícil comparar un efecto con otro, como la formación de ozono fotoquímico con respecto al potencial de calentamiento global, y se requiere una evaluación cruzada más profunda.

Un método alternativo para comparar estos efectos consiste en comparar los costes de los factores externos negativos (daños o costes sociales marginales negativos), que en este caso corresponden al daño causado al entorno, incluyendo la salud humana. Para llevar a cabo esta comparación, el número de datos disponibles puede ser menor, aunque sí existen datos acerca de las emisiones al aire (véase a continuación en este apartado). Esta técnica puede utilizarse para comparar la eficiencia de las diferentes actuaciones. Así, por ejemplo, la combustión de un combustible de soporte para conseguir menores emisiones de COV en los



gases residuales puede compararse con otras medidas utilizadas para reducir las emisiones fugitivas. Las toneladas de CO<sub>2</sub> liberadas durante un año se pueden calcular quemando una cantidad adicional de combustible que destruya una cantidad conocida (en toneladas) de emisiones de COV (por ejemplo, reduciendo los niveles de emisión de 10 a 3 mg C/m<sup>3</sup> para un flujo de gas residual definido). El valor obtenido puede multiplicarse entonces por el coste social marginal correspondiente y compararse. La comparación de los daños provocados por el CO<sub>2</sub> con los de los COV resulta simplista: también deben tenerse en cuenta los cambios en los valores de NO<sub>x</sub> (si son conocidos). Además, debe añadirse la contribución del CO<sub>2</sub> procedente de la combustión de los COV.

Datos recientes sobre una serie de costes sociales marginales derivados del cambio climático ofrecen una estimación general muy ilustrativa de 20 a 25 EUR/t CO<sub>2</sub>, que aumentará hasta 25 EUR/t CO<sub>2</sub> en 2020 (véase el Anexo 24.8) [116, AEA et al., 2005]. El precio de mercado del carbón en la UCE era de 19 a 23 EUR/t de CO<sub>2</sub> durante el verano de 2005 y bajó hasta los 15 EUR en el verano de 2006. La mayoría de los estudios predecían un precio UCE de entre 5 y 10 EUR/t de CO<sub>2</sub> para el período 2005 a 2007, y entre 10 y 25 EUR/t de CO<sub>2</sub> para el período 2008 a 2012.

Los datos de la evaluación de rentabilidad realizada dentro del programa CAFE (véase el BRET ECM) admiten un perjuicio para el valor de COV por tonelada de emisiones. El valor medio (para diferentes conjuntos de hipótesis) varía dentro de la Europa de los 25 (sin Chipre) entre 950 y 1400 EUR/t de emisiones. Los valores mínimo y máximo para los países individuales varían entre 140 y 4000 EUR/t de emisiones. Para el cálculo de dichos valores se utiliza una aproximación SOMO 35 con diferentes sensibilidades del análisis. Los diferentes países presentan diferentes densidades de población y la formación de ozono a bajos niveles tiene diferentes impactos, por lo que los datos nacionales o locales podrían utilizarse para las instalaciones individuales.

Cuando se comparan estos dos conjuntos de datos, es importante tener en cuenta que algunos impactos pueden quedar excluidos y que existen hipótesis teóricas y significativas incertidumbres estadísticas. Además, estos valores se derivan de la estimación de costes y beneficios de ámbito nacional, europeo o internacional, y es posible que dichos valores no se transfieran adecuadamente al cálculo realizado para una instalación individual o que no tengan en cuenta los estándares locales de calidad ambiental.

En el ámbito de la UE, la comparación de un rango de daños medios derivados de los COV con respecto a un valor medio del coste del CO<sub>2</sub> permite establecer que se necesitan de 32 a 140 toneladas de CO<sub>2</sub> para mitigar una tonelada de COV (40 000 a 175 000 m<sup>3</sup> de gas natural), véase la Tabla 20.9. Sin embargo, estas relaciones de costes establecen que el coste de disminución, eliminación de una tonelada de COV se encuentra entre 14 000 y 63 000 EUR, un valor que supera en 10 a 66 veces el daño marginal de los COV por tonelada (basándose en un coste del gas de 7,52 a 10,48 EUR/GJ en 2006). Dos países (Bélgica y Países Bajos) utilizan unas referencias coste-beneficio de 3200 EUR y 4500 EUR, respectivamente, como el coste total por tonelada de COV eliminada. Esto indicaría que estas comparaciones superan ampliamente la viabilidad económica de la combustión de esta cantidad de gas en el ámbito de la UE-25. (Es posible que el coste social marginal del CO<sub>2</sub> que se ha utilizado sea demasiado bajo).

Estos valores no tienen en cuenta ningún impacto derivado de la emisión de CO<sub>2</sub> o NO<sub>x</sub> por oxidación de los COV.



Coste social marginal del cambio climático EUR/t CO <sub>2</sub>	Daños marginales de los COV EUR/t emisiones	Toneladas de CO <sub>2</sub> para eliminar 1 tonelada de COV	Miles de m <sup>3</sup> de gas natural para eliminar 1 tonelada de COV*
10	950	95	119
10	1400	140	175
20	950	48	60
20	1400	70	88
30	950	32	40
30	1400	46	58

\* Basado en una densidad de gas natural de 0,8 kg/m<sup>3</sup> a STP

**Tabla 20.9: Comparación de los costes sociales marginales del cambio climático con respecto a los costes de los daños marginales derivados de las emisiones de COV (véase Anexo 24.8)**

- **influencia del valor límite para CO:** el valor de CO fuera del incinerador depende principalmente de la cámara de combustión, de la temperatura y del tiempo de permanencia del gas de escape en el interior de la cámara de combustión. Reducir los niveles de CO significa:
  - aumentar la temperatura de la cámara de combustión (con el consiguiente aumento de los costes de utilización). Normalmente, esto basta para aumentar la temperatura de combustión a unos 850 °C. A concentraciones de COV cercanas o superiores al punto autotérmico, esto se conseguirá de forma automática. La influencia total de los costes de utilización y los costes de capital con respecto a la disminución de los niveles de CO puede considerarse despreciable;
  - aumentar el tamaño de la cámara de combustión para disponer de un mayor tiempo de permanencia (con el consiguiente aumento de los costes de inversión).
- **equilibrio entre la reducción del nivel de CO, NO<sub>x</sub> y COV:** no hay datos disponibles;
- **mantenimiento:** véase el apartado 20.11.1.2 a continuación.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de los COV y de los malos olores cuando se lleva a cabo la depuración de los gases residuales.

**Efectos cruzados:** El consumo de energía en los sistemas de extracción de aire puede ser significativo. La energía consumida para alcanzar bajas concentraciones de COV puede ser significativa. El ruido puede ser un factor importante. La combustión de 40 000 a 175 000 m<sup>3</sup> de gas natural para eliminar 1 tonelada de COV puede no ser sostenible.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Relación coste-beneficio del consumo de energía para controlar las bajas emisiones de disolventes: La comparación de los costes sociales marginales derivados de la emisión de CO<sub>2</sub> con respecto a los de los COV es excesivamente simplista, ya que existen ciertas sinergias y ciertos efectos antisinérgicos entre la polución del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero. Es importante tener en cuenta que algunos impactos pueden quedar excluidos (como el hecho de que la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> también puede reducir las emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y, posiblemente, de PM<sub>2,5</sub>). Esto hace que resulte difícil determinar los costes y los beneficios. También existen hipótesis teóricas y significativas incertidumbres estadísticas. Además, estos valores se derivan de la estimación de costes y beneficios a un nivel nacional, europeo o internacional, y es posible que dichos valores no se transfieran adecuadamente al cálculo realizado para una instalación individual o que no tengan en cuenta los estándares locales de calidad ambiental.

**Aspectos económicos:** Véase la Aplicabilidad descrita anteriormente.

**Motivo principal para su aplicación:**

- extracción: seguridad y salud en el lugar de trabajo,
- todas las consideraciones: malos olores, SED, legislación nacional.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [97, EIPPCB, 2005] [128, TWG, 2005, 165, ECN, 2005] [116, AEA et al., 2005, 166, AEA e Institute, 2005] [67, EIPPCB, 2003] ec.europa.eu/environment/air/cafe/activities

[www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d\\_158.html](http://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html)

Costes energéticos : Eurostat <http://epp.eurostat/ec.europa/eurostat>.

### 20.11.1.2 Mantenimiento de los sistemas

**Descripción:** Todos los sistemas de gases residuales deben someterse a mantenimiento, tanto preventivo como en caso de avería. Las emisiones no tratadas pueden minimizarse mediante:

- un mantenimiento planificado (véase el apartado 20.2.6). En caso de que sea necesario apagar el equipo principal de disminución, eliminación de emisiones (incluyendo algunos días para refrigeración antes de poder tocar el equipo), las emisiones pueden minimizarse realizando el mantenimiento:
  - durante los períodos de baja producción o de ausencia de ésta (por ejemplo, períodos de apagado por vacaciones);
  - durante los períodos en que las emisiones tengan un menor impacto (es decir, para las emisiones de COV, durante los períodos de escasa luz solar, baja probabilidad de capas de inversión, etc.). La elección de dichos períodos depende de las condiciones climáticas, la época del año y las condiciones locales;
- la supervisión del equipo principal en busca de problemas como vibraciones, fugas de emisiones y reparaciones planificadas (como anteriormente);
- el uso de sistemas de depuración descentralizados/especializados, para que la avería/reparación sólo afecte al sistema en cuestión (véase el apartado 20.11.1.6);
- la resolución de los fallos detectados y de las averías de la forma más rápida posible.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones globales. En general, los defectos en el equipo de incineración puede producir emisiones de COV equivalentes al 0,4 % de la entrada anual diaria (véase el apartado 2.4.2.5.4).

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004].

### 20.11.1.3 Derivación de los flujos máximos de emisiones (peak shaving)

**Descripción:** El flujo de aire máximo de cada secador se diseña para enfrentarse de forma segura a la cantidad máxima de entrada de disolvente por unidad de tiempo que puede ser necesario secar (por ejemplo, en los embalajes flexibles, el 100 % de cobertura del sustrato con una gruesa capa de laca). El flujo de aire máximo de la planta es igual a la suma de todos los flujos de aire máximo de cada secador. Éste es el requisito de capacidad teórica del incinerador (si no existe derivación). Sin embargo, el flujo de aire máximo de toda la planta se alcanza raramente, ya que (a) la mayoría de los secadores no necesitan evacuar la cantidad máxima de disolvente durante la mayor parte del tiempo de explotación y (b) las máquinas se mantienen en reposo durante períodos importantes de tiempo (en los embalajes flexibles, a plena capacidad, las máquinas están en reposo el 50 % del tiempo). El resultado es que el último 20 % de la capacidad teórica del incinerador no se utilizará casi nunca.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Una reducción significativa del consumo energético y, gracias a que la capacidad que necesita el equipo de disminución, eliminación es menor, el número de ventiladores necesario será menor y el aporte de combustible adicional que puede necesitarse para ejecutar las técnicas de disminución, eliminación térmica también será menor.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Se han llevado a cabo simulaciones de una planta virtual de embalajes flexibles con una entrada de disolvente de aprox. 1000 toneladas por año y un flujo de aire máximo de 80 000 m<sup>3</sup>/h. Cada rango de la Tabla 20.10 mostrada a continuación representa un cambio de 2000 m<sup>3</sup>/h en la capacidad y una inversión marginal adicional de aproximadamente 20 000 a 30 000 EUR.

Capacidad de incineración como % del flujo de aire máximo	kg de disolvente derivados por año	Disolvente derivado como un % de la entrada de disolvente de la planta	EUR/t marginal para disminución, eliminación
92,5 – 95,0	240	0,024	24 000
90,0 – 92,5	990	0,099	5800
87,5 – 90,0	1290	0,129	4470
85,0 – 87,5	2270	0,227	2560
82,5 – 85,0	4040	0,404	1450
80,0 – 82,5	6190	0,619	950
77,5 – 80,0	9040	0,904	670

**Tabla 20.10: Emisiones y costes en función de la capacidad de incineración [4, Intergraf y EGF, 1999]**

**Aplicabilidad:** Esta técnica puede utilizarse junto con el alisado de pico/valle mediante la adición de corrientes de gases residuales con baja concentración de disolvente cuando la capacidad de depuración está infrautilizada (véase el apartado 20.11.1.4).

El diseño del equipo de disminución, eliminación para un flujo de gases residuales inferior al valor máximo es aceptable cuando cabe esperar que la carga máxima se alcance muy raramente durante el funcionamiento. En tal caso, la posibilidad de superar la carga máxima operativa (y de pasar a la derivación) puede minimizarse mediante la colocación de un sistema de gestión de la máquina.

Además, el plan de gestión de disolventes deberá tener en cuenta los gases residuales no depurados que se producen en el caso de la derivación como parte de las emisiones totales de gases residuales. Esta técnica puede no resultar útil cuando se aplican los valores límite de emisiones de gases residuales y que sólo resulte útil cuando se utiliza un esquema de reducción.

**Aspectos económicos:** El BREF ECM establece que los daños marginales medios (incluyendo los efectos sobre la salud) por cada tonelada de COV emitida varían entre 950 y 2800 EUR en la Europa de los 25. Dichos costes variarán en función de la ubicación y los cálculos individuales pueden ser de hasta 8000 EUR para los países individuales.

Anualmente, la derivación de menos del 1 % de las emisiones de disolventes reduce la capacidad necesaria y, por tanto, permite reducir los costes de inversión y de utilización en hasta un 50 %. La reducción de las emisiones fugitivas en un pequeño porcentaje adicional puede resultar más rentable que diseñar el equipo de disminución, eliminación para la capacidad total de ventilación.

**Motivo principal para su aplicación:** Relación coste-beneficio y SGA (véase el apartado 20.1.2).

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004] [97, EIPPCB, 2005] [128, TWG, 2005]

### 20.11.1.4 Utilización de variaciones de sobrecapacidad - alisado

**Descripción:** Véase el apartado 20.11.2.4. Los sistemas de depuración de gases residuales existentes (por ejemplo, los incineradores) no suelen utilizarse a plena capacidad ya que, frecuentemente, uno de los módulos de tratamiento de superficies (prensa, cabina de pulverización, secador, etc.) se encuentra parado o no se utiliza un cierto número de secadores. Durante este tiempo, la capacidad sobrante puede ser utilizada para la extracción local descrita en el apartado 2.4.2.5.2. Esto requiere la existencia de conductos adicionales y de un sistema que proteja al incinerador de la sobrecarga mediante la derivación de estos flujos de aire de baja concentración en las escasas situaciones en las que las prensas necesiten toda su capacidad.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de disolventes. Menor consumo energético que en la extracción constante (véase el apartado 2.4.2.5.2).

**Efectos cruzados:** Las concentraciones de disolventes en el flujo de aire resultante deben supervisarse. Serán inferiores a las anteriores y pueden encontrarse fuera del rango de diseño del incinerador para funcionamiento autotérmico y necesitar un aporte de combustible adicional.

**Información operativa:** Implementación del SED. Seguridad y salud en el lugar de trabajo. Control de los niveles de exposición.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** La reconversión de este sistema supone un coste superior a los 100 000 EUR. Los costes de utilización son menores y se pueden evitar los costes de capital adicionales (como el uso de un incinerador más grande).

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

### 20.11.1.5 Mantenimiento de la concentración de disolvente a tratar mediante el uso de controladores de frecuencia variable

**Descripción:** La mayor parte de los sistemas centralizados de depuración de gases residuales utilizan un ventilador con controlador de frecuencia variable para modular el flujo de aire y hacerlo coincidir con el escape del equipo que pueda estar en funcionamiento.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de disolventes, al tiempo que se minimiza el consumo energético para sustentar la extracción y combustión.

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La impresión de embalajes flexibles es un proceso discontinuo. Las prensas individuales pueden estar desconectado durante un 30–50 % del tiempo por motivos de configuración y adaptación. Durante este tiempo de inactividad de la prensa, el uso de un sistema de oxidación específico de una prensa, debe hacerse de forma que éste continúe quemando el combustible para mantener la temperatura.

Esto es especialmente importante en los sistemas de oxidación térmica regenerativa, en donde sólo se quema el aire cargado con disolventes y que a menudo permite mantener el funcionamiento autotérmico allí donde no se requiere aporte de combustible.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

### 20.11.1.6 Sistemas específicos/descentralizados de depuración de gases residuales para cada fuente puntual

**Descripción:** Cada una de las líneas de impresión o pintado individuales puede disponer de un sistema específico de depuración de gases residuales. Por ejemplo, si está integrado en el secador, el sistema puede utilizar el calor de los gases residuales para calentar el aire de los secadores.

Las prensas o líneas de revestimiento no dependen de un sistema centralizado de depuración de gases residuales. Por ejemplo, en el huecograbado de publicaciones, la ventaja de que cada prensa disponga de su propio sistema de adsorción de gases residuales es que, cuando sea necesario limpiar el lecho de carbón activo, dicho proceso de limpieza sólo afectará a una prensa. La limpieza de un sistema centralizado de adsorción suele afectar a varias prensas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Comparado con el sistema centralizado de depuración de gases residuales habitual, las eficiencias de eliminación que se pueden alcanzar son superiores. Esto es posible gracias a que la capacidad del sistema de depuración coincide exactamente con la capacidad que necesita la línea de impresión o pintado. La realización de ajustes en la planta (por ejemplo, ampliación de la planta con una prensa o línea de revestimiento adicionales) resulta más sencilla cuando se usan sistemas de depuración específicos en lugar de un sistema centralizado.

Cuando se integra en el secador, esta técnica minimiza las pérdidas caloríficas y, por tanto, el consumo de energía, ya que el calor de los residuos se puede utilizar de forma muy eficiente.

Se pueden reducir los efectos de las averías o del mantenimiento.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Véase la Descripción anterior.

**Aplicabilidad:** Aplicado en plantas de huecograbado de publicaciones. También puede aplicarse a procesos de impresión en offset con secado por calor, en donde una prensa sólo tiene un secador que pueda integrarse en la depuración de gases residuales y el ahorro energético en el secador puede compensar la inversión adicional. En ambos casos, sólo es aplicable a las prensas nuevas.

Se utiliza como una técnica estándar en el sector de la automoción.

No se aplica en las plantas de impresión de huecograbado en embalajes, cuyos sistemas de adsorción están centralizados y presentan diversos adsorbentes. Cada adsorbente puede ser cerrado de forma individualizada para llevar a cabo su mantenimiento sin afectar a las emisiones ni al funcionamiento de la prensa.

No se aplica en la industria de tratamientos superficiales.

**Aspectos económicos:** Esta técnica es más cara que un sistema centralizado de depuración de gases residuales; sin embargo, y dependiendo del sistema existente, el ahorro de energía puede ser significativo. La instalación de un sistema específico de depuración de gases residuales en una prensa nueva es más barato que la ampliación de un sistema de depuración ya existente.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Volkswagen AG, Wolfsburg, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [54, BMLFUW Austria, 2003] [13, DFIU e IFARE, 2002] [128, TWG, 2005]

### 20.11.1.7 Depuración centralizada de gases residuales

**Descripción:** En los embalajes flexibles, el uso de sistemas específicos de depuración de gases residuales no conlleva ninguna ventaja. Las prensas están equipadas con 8 a 12 secadores y todos los secadores de las diferentes prensas se llevan normalmente hasta un sistema centralizado de tratamiento térmico. El motivo es que el equipo de control de emisiones de las prensas individuales debe situarse normalmente en el techo situado directamente encima de la prensa. Las limitaciones de resistencia de los techos impiden el uso de un equipo de control más grande y pesado. Un sistema centralizado de depuración de gases, como un sistema de oxidación térmica regenerativa, se puede instalar junto al edificio con un tamaño adecuado para permitir mayores tiempos de permanencia y mayores eficiencias térmicas.

La impresión de embalajes flexibles también es un proceso discontinuo. Las prensas individuales pueden estar desconectado durante un 30–50 % del tiempo por motivos de configuración y adaptación. Durante este tiempo de inactividad de la prensa, el sistema de oxidación específico de la prensa debe continuar quemando el combustible para mantener la temperatura. La mayor parte de los sistemas centralizados de depuración de gases residuales usan un controlador de frecuencia variable (véase el apartado 20.11.1.5) para modular el flujo de aire y hacerlo coincidir con el escape desde cualquier número de prensas que puedan estar en funcionamiento. Puesto que el sistema de oxidación térmica regenerativa sólo está quemando el aire cargado con disolventes, a menudo puede mantener el funcionamiento autotérmico allí donde no se requiera un aporte de combustible.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [54, BMLFUW Austria, 2003] [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

## 20.11.2 Confinamiento y captación de los gases residuales

Este apartado describe la confinamiento y captación de los gases residuales procedentes de las aplicaciones de revestimiento y los procesos de secado. El manejo y almacenamiento de los disolventes se discute en el apartado 20.2.2.1. La elección de los sistemas de recogida y tratamiento también se discute en el BREF CWW [67, EIPPCB, 2003].

### 20.11.2.1 Encapsulación/confinamiento

**Descripción:** Las piezas de la maquinaria o las líneas completas se pueden encapsular/confinar para evitar la liberación de emisiones fugitivas. El confinamiento también puede utilizarse para mantener la seguridad y salud en el lugar de trabajo, al reducir el riesgo de lesiones producidas por la maquinaria o reducir el ruido.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reduce las emisiones fugitivas y el ruido. Reduce el volumen de aire a extraer (y, por tanto, la energía utilizada), así como el tamaño de los sistemas de depuración de gases residuales y la energía que éstos utilizan.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Ampliamente utilizado, por ejemplo, en las máquinas de impresión de huecograbado de publicaciones.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005].



### 20.11.2.2 Juntas de estanqueidad en la entrada y la salida de los hornos/secadores

Véanse también los apartados 20.11.2.1 y 14.4.8.2.

**Descripción:** Las juntas de estanqueidad en la entrada y en la salida del horno/secador ayudan a prevenir las emisiones fugitivas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones fugitivas.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Se aplican de forma ordinaria en la industria de tratamientos superficiales. Los secadores suelen requerir una presión negativa (véase el apartado 20.11.2.3).

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.11.2.3 Presión negativa en el secado

Véanse también los apartados 20.11.2.1 y 14.4.8.2.

**Descripción:** Los hornos/secadores se mantienen a presión negativa para minimizar el escape de los COV. Normalmente, el volumen de inyección de aire corresponde al 70 – 75 % del volumen de escape.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones fugitivas de COV. La presión negativa hace que el aire fluya hasta el horno y favorece la captación de los vapores de COV procedentes del revestimiento húmedo que se introduce en el horno.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Se requiere un sistema de extracción.

**Aplicabilidad:** Se aplica de forma ordinaria en la industria de tratamientos superficiales.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004]

### 20.11.2.4 Extracción del aire de los procesos de revestimiento

**Descripción:** El aire puede extraerse de la maquinaria de aplicación utilizada en el proceso principal, como las prensas de impresión, las líneas de tratamientos superficiales o las líneas de

revestimiento de automóviles. El equipo de aplicación puede estar abierto (en realidad, la extracción se realiza desde toda la sala: esto se usa en algunas industrias por motivos de salud y seguridad) o parcial o totalmente cerrada. El aire extraído puede ser depurado.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones fugitivas de disolventes.

**Efectos cruzados:** La extracción requiere energía. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** La zona en la que se mezclan las materias primas con base de disolvente, por ejemplo, para conseguir una cierta viscosidad o color, puede equiparse con un sistema de extracción desde donde el aire cargado con disolvente es conducido hasta un sistema de depuración de gases residuales.

**Aplicabilidad:** Se aplica de forma generalizada.

En flexografía y huecograbado de embalajes, el aire es extraído desde las zonas de mezclado de la tinta, aunque no suele incinerarse.

En los embalajes flexibles, las máquinas de lacado modernas pueden estar totalmente encapsuladas y la encapsulación puede ventilarse mediante secadores de presión negativa. Todas las emisiones son enviadas a un incinerador.

En las plantas de tratamientos superficiales, las emisiones procedentes del equipo de proceso, que son insignificantes en comparación con las emisiones derivadas del funcionamiento de los secadores, se emiten directamente a la atmósfera. Debido al elevado volumen de aire involucrado, se requerirían grandes cantidades de energía para depurar la corriente de aire. El uso de energía superaría el beneficio ambiental que pudiera obtenerse de la depuración. El aire de los secadores (y del revestimiento en las instalaciones más modernas) es extraído y tratado mediante oxidación térmica.

Para el revestimiento de grandes componentes como los cuerpos de aeronaves y barcos, la contención y la extracción pueden no resultar factibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.11.2.5 Extracción de aire procedente de los procesos de secado

**Descripción:** Los secadores y hornos están equipados con un sistema de extracción de aire que conduce las emisiones de disolventes hasta el sistema de depuración de gases residuales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones fugitivas de disolventes.

**Efectos cruzados:** La extracción requiere energía. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Se aplica de forma generalizada.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004]

### 20.11.2.6 Extracción del aire de la zona de refrigeración

**Descripción:** Tras el secado/curado, se puede llevar a cabo una etapa de refrigeración. La zona en la que se realiza dicha refrigeración puede estar cerrada. Los gases residuales que contienen el disolvente pueden extraerse y posteriormente conducirse hasta el equipo de disminución, eliminación.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Se aplica de forma ordinaria en las instalaciones de tratamientos superficiales (véase el apartado 14.4.8.7).

**Aspectos económicos:** Conlleva un elevado coste.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004], [76, TWG, 2004]

### 20.11.2.7 Extracción del aire de los procesos de limpieza

**Descripción:** Las zonas en las que se realiza la limpieza de las piezas de la maquinaria y del equipo, ya sea manual o automáticamente, están equipadas con un sistema de extracción de aire que conduce las emisiones de disolventes hasta el sistema de depuración de gases residuales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones fugitivas de disolventes.

**Efectos cruzados:** Los sistemas de extracción requieren energía. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** La maquinaria empleada para la limpieza se usa con escasa frecuencia y a intervalos irregulares. Su conexión al equipo de disminución, eliminación puede requerir una capacidad adicional, que se utilizará raramente.

**Aplicabilidad:** Véase el apartado 20.9.

La limpieza a mano hace que la concentración de disolvente sea muy baja y que la extracción pueda ser necesaria para permanecer por debajo del límite OEL. El envío de estos gases residuales de baja concentración a un incinerador no suele resultar conveniente.

En la limpieza automática, es necesario ventilar las máquinas de lavado antes de abrir la máquina, ya que existen concentraciones muy elevadas, aunque durante cortos períodos de tiempo. En este caso, sí resulta conveniente enviar dichos gases a un incinerador, especialmente cuando el sistema de depuración de gases residuales no se utiliza en toda su capacidad. Esta técnica se utiliza en las plantas de impresión de embalajes, ya que suelen estar equipadas con un sistema de depuración de gases residuales.

No es aplicable a la industria de fabricación de bobinas de alambre, debido al elevado punto de ebullición de los disolventes del esmalte.

**Aspectos económicos:** Los costes dependerán del sistema de extracción existente y de la capacidad de la técnica de depuración de gases residuales. La renovación puede, por ello, resultar especialmente cara. No obstante, a las máquinas de lavado automático se podrían acoplar pequeños incineradores.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.11.2.8 Extracción del aire de los almacenes de materias primas y residuos

**Descripción:** Por motivos de seguridad, los nuevos almacenes de residuos que contengan disolventes como las toallitas contaminadas y los residuos con base de disolvente almacenados en contenedores (véase el apartado 20.2.2.1) pueden disponer de uno o varios puntos de extracción de aire individuales. El punto de extracción debe colocarse en un nivel bajo, ya que los vapores de disolventes son más pesados que el aire.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de las emisiones fugitivas si los gases residuales se someten a depuración.

**Efectos cruzados:** Los niveles de ruido pueden aumentar. Aumenta el consumo de energía para la extracción.

**Información operativa:** Aplicado de forma ordinaria en plantas de huecograbado de publicaciones.

**Aplicabilidad:** Aplicable en plantas nuevas y existentes, así como en todos los almacenes cerrados para residuos que contengan disolvente. El envío o no del aire extraído hasta un sistema de depuración de gases residuales dependerá del volumen y de la concentración. Las concentraciones de COV suelen ser bajas.

**Aspectos económicos:** Los costes son bajos si se comparan con el coste total del sistema de recuperación de disolventes. El ahorro por cada kg de tolueno recuperado es de cerca de 0,50 EUR. Sin embargo, la capacidad adicional necesaria también tiene un determinado coste. El coste por kg no emitido es elevado.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

## 20.11.3 Pretratamiento, filtración y lavado de gases

### 20.11.3.1 Aumento de la concentración interna de disolvente

**Descripción:** Si el aire cargado con disolventes se hace circular por los secadores o las cabinas de pulverización (tras la adecuada separación de las partículas y deshumidificación), la concentración de disolventes en el aire aumentará y, en consecuencia, también lo hará la

eficiencia de reducción de la cantidad de disolventes en el sistema de depuración de gases residuales. Esto es lo que también se denomina «concentración interna».

La reducción del flujo de aire está limitada por la necesidad de evitar el riesgo de incendio y explosión: cuanto menor es el flujo de aire, mayor es la concentración de disolvente y, por tanto, mayor es también el peligro de incendio o explosión. Un requisito previo para la aplicación de esta técnica en los secadores es, por tanto, la instalación de un controlador del límite de exposición inferior (LEL) que garantice que el régimen de ventilación de los secadores está diseñado de forma que las concentraciones máximas de disolvente que puedan llegar a producirse no superen un cierto porcentaje del LEL de los correspondientes disolventes.

La Tabla 20.11 muestra el % de LEL que se considera seguro en la impresión de embalajes flexibles:

Situación	Máximo % de LEL
Secadores calentados por llama abierta o electricidad	25
Secadores calentados por llama abierta o electricidad con amplias características de seguridad	50
Secadores calentados por aceite térmico o vapor	50

**Tabla 20.11: Niveles máximos admisibles de LEL en los secadores para la impresión de embalajes flexibles**  
[4, Intergraf y EGF, 1999]

Aparte de la concentración interna, también es posible obtener una concentración «externa» mediante la aplicación, por ejemplo, de un paso de adsorción anterior a la incineración (véase el apartado 20.11.6.1).

**Beneficios ambientales obtenidos:** En las plantas de flexografía o huecograbado de embalajes en las que no se haya tomado ninguna medida para reducir el flujo de aire procedente de los secadores, la concentración media de disolvente en el aire residual puede no ser superior a 1 a 2 g/m<sup>3</sup>.

Para disolventes como etanol, acetato de etilo o MEK, el LEL a las temperaturas de trabajo correspondientes es de aprox. 50 g/m<sup>3</sup>. Así, un nivel del 25 % de LEL corresponderá a 10 o 12 g/m<sup>3</sup>. Ésta será la concentración máxima en cada secador individual y no podrá alcanzarse en todos los secadores al mismo tiempo. En aquellos casos en que se hayan tomado medidas para reducir el flujo de aire, la concentración media de disolvente aumentará hasta 4 – 6 g/m<sup>3</sup>. Estos niveles permitirán llevar a cabo la incineración regenerativa sin requerir un aporte de combustible.

A temperaturas más bajas, la entrada de energía se reducirá, dado que el aire ya ha sido calentado y retiene cierto calor residual; por ello, el aire de recirculación necesitará menos energía para alcanzar la temperatura óptima del aire (en la cabina).

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Allí donde el coste del equipo de disminución, eliminación no sea un problema, se suelen emplear grandes márgenes de seguridad. Éstos, sin embargo, deberán reevaluarse cuando sea necesario invertir en un equipo de disminución, eliminación. El margen de seguridad determina el flujo de aire máximo y, por tanto, el tamaño mínimo del equipo de disminución, eliminación.

Se ha descrito que la recirculación se puede llevar a cabo sin un control activo del LEL. La recirculación máxima permitida depende de la normativa sobre seguridad. A menudo, se permite un 25 % de LEL cuando el calentamiento se realiza por vapor o por aceite térmico. Sin

embargo, cuando el calentamiento es eléctrico o se obtiene por llama abierta, la normativa puede ser más estricta.

En la industria de la automoción se puede conseguir una mayor recirculación en talleres de pintura al agua, ya que el menor contenido de disolvente hace que sea más difícil alcanzar el límite de exposición profesional (en cabinas manuales) o el límite de explosividad (en cabinas automatizadas). Sin embargo, la recirculación puede estar restringida por los parámetros operativos más ajustados que se emplean en las cabinas de pulverización con base de agua en cuanto a temperatura y humedad.

**Aplicabilidad:** En aquellas situaciones en las que las bajas concentraciones de disolvente se combinen con un mayor caudal de aire de salida, será necesaria una cierta concentración de disolvente para que el tratamiento resulte económico. El aumento de la concentración de disolvente en el flujo de aire se puede aplicar tanto a los secadores convencionales como a las cabinas de pulverización.

En los secadores, esta técnica se aplica de forma ordinaria en los procesos de impresión de huecograbado de publicaciones (para mejorar la recuperación de tolueno), flexografía y huecograbado de embalajes, así como en la industria de la automoción. En el huecograbado de publicaciones, las prensas nuevas disponen de flujos de aire tan elevados que la ampliación de las instalaciones de recuperación no resulta económica. Además, permite que las nuevas prensas tiendan a tener ELV más estrictos, aumentando la dificultad de ampliar las instalaciones de recuperación existentes.

Se aplica de forma ordinaria en la fabricación de abrasivos, en donde la velocidad máxima de la línea de producción se encuentra al 50 % de LEL de la sustancia con menor punto de inflamación: la velocidad de la línea se controla electrónicamente a este nivel.

**Aspectos económicos:** El coste de aumentar las concentraciones de disolvente y de reducir el flujo de aire depende no sólo de la edad y construcción de las prensas, sino también del tamaño de la reducción alcanzada. Cuando es necesario instalar un equipo de disminución, eliminación al final de la línea, suele ser conveniente reducir el flujo de aire hasta que el coste marginal de las reducciones adicionales sea igual al coste marginal de la capacidad adicional del equipo de disminución, eliminación. Para los incineradores aplicados en las plantas de impresión, dicho coste es de aproximadamente 10 – 15 EUR por cada m<sup>3</sup>/h.

La reducción del flujo de aire también reduce el consumo de energía. Al utilizarse menor cantidad de aire, la cantidad de calor necesaria también será menor. En aquellas situaciones en las que las temperaturas de secado sean bajas (40 a 60 °C), estos ahorros no suelen justificar la inversión.

**Motivo principal para su aplicación:** Menor inversión de capital, menores costes de utilización del equipo de disminución, eliminación, incluyendo los menores requisitos energéticos.

**Ejemplos de instalaciones:** Plantas de Ford en Europa. Todas las prensas modernas de huecograbado de embalajes.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [4, Intergraf y EGF, 1999] [12, UBA Alemania, 2002] [13, DFIU e IFARE, 2002] [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.11.3.2 Aumento de la concentración externa de disolvente

**Descripción:** La concentración de disolvente en el aire puede aumentarse mediante la creación de una corriente circular continua en la cabina de pulverización o el secador a través de un equipo de adsorción. Este equipo puede incluir:

- lecho fijo adsorbente con carbón activo o polímeros de zeolita,
- lecho fluidizado adsorbente con carbón activo,
- adsorbente de rotor (rueda concentradora) con carbón activo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se consigue una transmisión de la carga de disolvente a una corriente de aire caliente externa con una relación 1:6 a 1:30, dependiendo de la concentración de gas bruto. Comparativamente, se puede eliminar un escaso caudal de gases residuales mediante incineración o condensación para su reutilización, por ejemplo, como un disolvente de limpieza.

**Efectos cruzados:** Mayor consumo de energía.

**Información operativa:** En la industria de la automoción, la corriente de aire debe depurarse antes de la fase de adsorción para retirar las partículas; en caso contrario, la función de adsorción podría verse afectada. Se necesita un nivel inferior a  $1 - 3 \text{ mg/m}^3$ , que puede conseguirse con un determinado número de técnicas entre las que se incluyen:

- precipitación electrostática húmeda,
- operación a alta presión,
- filtros casete.

**Aplicabilidad:** Esta técnica sólo se utiliza en aquellos casos en los que el coste de aumentar la concentración y de reducir el flujo de aire sea menor que el coste de aumentar la capacidad de depuración. No es aplicable en aquellos casos en que las concentraciones son suficientemente elevadas para realizar una incineración autotérmica.

Suele aplicarse allí donde es necesario depurar enormes flujos de aire con concentraciones muy bajas (por ejemplo,  $250\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  con  $0,25 \text{ g/m}^3$ ). No obstante, incluso a estos flujos, la rentabilidad no está asegurada, ya que los costes de explotación son mayores (debido a los ventiladores, calefacción y refrigeración, etc.).

También está limitada a cierta clase de disolventes, ya que deben liberarse de la zeolita al carbón a temperaturas razonablemente bajas; en caso contrario, obstruirían el carbón y reducirían su vida útil.

En la industria de la automoción, esta técnica se emplea de forma ordinaria para los gases residuales de las cabinas de pulverización a base de disolvente. Puede utilizarse en cabinas de pulverización de base acuosa, pero esto no suele ser rentable debido al reducido contenido de disolvente del flujo de aire.

Esta técnica también se emplea de forma ordinaria en la fabricación de adhesivos.

Los adsorbentes de rotor (ruedas concentradoras) con carbón activo o polímeros de zeolita experimentan una drástica reducción de la eficiencia cuando las temperaturas de los gases con disolvente superan los  $38 \text{ }^\circ\text{C}$ . Esto convierte a los concentradores de rotor en una pobre elección para la industria de los embalajes flexibles. No se utiliza en el huecograbado de publicaciones, en la impresión con secado por calor ni en la impresión de embalajes flexibles.

**Aspectos económicos:** El coste de concentrar el disolvente para su reutilización, comparado con la compra del material, hace que la utilización de esta técnica dependa de los costes locales y del precio de compra del material virgen.



**Motivo principal para su aplicación:** Reducidas emisiones de COV y posibilidad de reutilizar los gases residuales.

**Ejemplos de instalaciones:** Plantas de Ford en Europa.

**Bibliografía de referencia:** [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005].

### **20.11.3.3 Aumento de la concentración de aire externo mediante el uso de una cámara impelente, distribuidora de aire**

**Descripción:** La cámara impelente, distribuidora de aire se define como un espacio lleno de aire en una estructura que recibe el aire procedente de una soplante para su distribución (como en un sistema de ventilación). En esta técnica, se trata de la pieza fundamental de un sistema para la recirculación externa del aire procedente de los secadores, que permite aumentar la concentración de disolvente y reducir el volumen neto de aire a depurar mediante una técnica de disminución, eliminación.

El aire que sale de diversos secadores, a veces de diversas máquinas de revestimiento diferentes, es enviado a una gran cámara, la cámara impelente, distribuidora de aire. Un gran porcentaje del aire de entrada que llega al secador proviene de esta cámara. Los secadores complementan su entrada de aire con el aire que se encuentra alrededor de la máquina de revestimiento. Así, la cantidad de aire que se envía a la cámara impelente, distribuidora de aire es superior a la cantidad de aire que los secadores obtienen de ella. El aire sobrante es enviado a un sistema de disminución, eliminación de final de línea (end-of-pipe).

La concentración de disolvente en la cámara impelente, distribuidora de aire es medida de forma continua. Así, la concentración de disolvente en el aire extraído de la cámara impelente, distribuidora de aire por los secadores puede alcanzar un valor cercano al 25 % del LEL. Los secadores toman del entorno suficiente aire fresco como para que, en su salida, la concentración no supere el 25 % del LEL. Si la concentración en la cámara impelente, distribuidora de aire es excesiva, se extraerá más aire de ella y el volumen de aire de la cámara impelente, distribuidora de aire se complementará con aire fresco.

La cámara impelente, distribuidora de aire es una alternativa a la recirculación interna de aire en los secadores.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El volumen de aire neto a depurar empleando una técnica de disminución, eliminación es mucho más reducido. El funcionamiento autotérmico de la técnica de disminución, eliminación es posible. La recuperación de la energía procedente de la incineración es posible.

**Efectos cruzados:** También se ahorra energía, ya que la cantidad neta de aire a calentar en los secadores se reduce a la cantidad tomada del entorno.

**Información operativa:** Cuando se utilizan secadores sin recirculación interna, o en caso de que la concentración de disolvente en la salida no supere  $1 - 2 \text{ g/m}^3$ , el flujo de aire neto a depurar empleando la técnica de disminución, eliminación se puede reducir en hasta un 80 %.

**Aplicabilidad:** Aplicable en situaciones en las que las concentraciones de disolvente en el aire que sale del secador sean bajas y cuando la recirculación interna del aire del secador no sea técnicamente posible o resulte desproporcionadamente cara debido al gran número de secadores existentes en la planta. Dichas situaciones pueden darse, por ejemplo, cuando se usan varias prensas antiguas de flexografía o huecograbado con ocho o más secadores cada una.

La temperatura de entrada de todos los secadores será la misma. Esto puede generar dificultades cuando algunos secadores requieran altas temperaturas y otros no.

**Aspectos económicos:** El uso de la cámara impelente, distribuidora de aire no es una técnica económica. Si la recirculación interna en los secadores es posible y si el número de secadores es

limitado, el coste neto de la recirculación interna combinada con un sistema de oxidación más grande puede resultar más económica.

**Motivo principal para su aplicación:** Si se puede aplicar (véase arriba), resulta económicamente ventajosa con respecto a otras alternativas.

**Ejemplos de instalaciones:** LPF, Leeuwarden, Países Bajos.

**Bibliografía de referencia:** [167, Verspoor y Sitmae Consultancy, 2005]

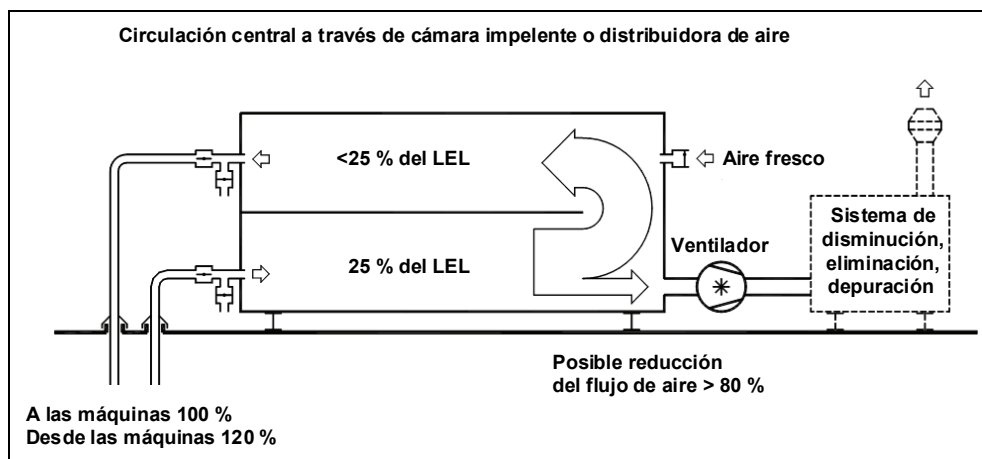


Figura 20.7: Cámara impelente

#### 20.11.3.4 Filtración por membrana

**Descripción:** Ésta es una técnica de concentración, en donde el gas rico en COV se hace pasar a través de un módulo de membranas selectivas para determinados compuestos orgánicos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los COV existentes en el permeado rico en COV pueden recuperarse, por ejemplo, aplicando condensación (véase el apartado 20.11.5) o adsorción (véase el apartado 20.11.6).

**Efectos cruzados:** Es necesario utilizar energía para el proceso de filtrado. Se genera un retenido, que debe eliminarse finalmente tras un tratamiento adicional.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Las membranas funcionan mejor sobre moléculas específicas.

Esta técnica no se aplica en la industria de fabricación de bobinas de alambre, dado que no es posible reutilizar los disolventes en el proceso. No se aplica en las industrias de envases metálicos ni en automoción.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [60, ESIG, 2000] [76, TWG, 2004]

#### 20.11.3.5 Separación de partículas por efecto Venturi

**Descripción:** Los gases residuales que contienen partículas de pintura se aceleran con gotas de agua mediante el uso de un sistema de Venturi. Se lleva a cabo un mezclado intensivo, seguido de separación de las partículas más pesadas. Si se aplica a las pinturas al agua, la pintura separada puede reutilizarse.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se consigue una separación de partículas superior al 99 % y un contenido de partículas restantes de  $< 3 \text{ mg/m}^3$  para lavadores nuevos y de  $< 5 \text{ mg/m}^3$  para lavadores laterales convencionales en el aire residual (véase el apartado 20.11.3.8).

La eficiencia en el reciclado de la niebla de pulverización varía entre un 50 y un 90 %, dependiendo de tipo de pintura procesado.

**Efectos cruzados:** Los niveles de ruido pueden aumentar. Las gotas de agua generan una fracción de aguas residuales.

**Información operativa:** En la pulverización de pintura suele producirse un exceso de pulverización que puede tener que capturarse o tratarse. Los sistemas Venturi se aplican normalmente como un paso de separación primaria de los materiales de pintura. Esta separación primaria es necesaria para garantizar un funcionamiento seguro de toda la planta, para permitir la recirculación de aire y para satisfacer los requisitos legales de funcionamiento y medio ambiente.

**Aplicabilidad:** Los sistemas Venturi se aplican normalmente como un paso de separación primaria de los materiales de pintura.

No se aplica en la industria de fabricación de bobinas de alambre, ya que la separación no es necesaria y la reutilización no es posible. Tampoco se aplica en los talleres de pintura de vehículos.

Las técnicas de efecto Venturi también son métodos eficientes para reducir el polvo.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Reducción de las emisiones de partículas al aire.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004]

### 20.11.3.6 Sistemas de filtro seco

**Descripción:** Los sistemas de filtro seco se utilizan para eliminar las partículas de los gases residuales. Entre los sistemas de filtro seco utilizados de forma ordinaria se encuentran:

- filtros de laberinto,
- filtros de papel,
- malla («filtro de taller de pintura»).

Los filtros secos presentan buenas eficiencias de separación para las partículas de pintura en el aire residual de, por ejemplo, las cabinas de pulverización. Sin embargo, sus vidas útiles son significativamente más cortas para la separación de pulverizaciones de pinturas viscosas que para otros tipos de polvos, y requieren mayores esfuerzos de mantenimiento cuando se usan con estas sustancias.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las eficiencias para la separación de partículas se encuentran en el rango de 85 – 95 %. Los filtros de laberinto obtienen normalmente unas eficiencias de eliminación del 85 %, que aumentan hasta el 90 % para los filtros de papel y hasta el 95 % para los «filtros de talleres de pintura».

**Efectos cruzados:** La filtración requiere energía y genera residuos y ruido. El riesgo de incendio es mayor que en las técnicas de separación húmeda.

**Información operativa:** En la pulverización de pintura suele producirse un exceso de pulverización que puede tener que capturarse o tratarse. Los filtros secos pueden aplicarse como un paso de separación secundario tras el sistema de Venturi descrito en el apartado 20.11.3.5. El filtro seco puede servir como un pretratamiento para la concentración de disolventes (véase el apartado 20.11.3.2). El contenido de partículas restantes depende de que los gases residuales limpios de la cabina de pulverización se envíen o no directamente a una instalación de limpieza de gases residuales. Para realizar una separación posterior de las partículas de pintura tras el uso de los lavadores Venturi, puede ser necesario disponer de separadores de partículas de pintura adicionales. En particular, si existe un flujo de aire recirculante destinado a la recuperación de disolventes o si se necesita una protección de las piezas que se vayan a instalar posteriormente (rotor, intercambiador de calor), se aplicarán los métodos de separación secundaria.

**Aplicabilidad:** Los filtros secos se utilizan cada vez más en el pintado de madera y muebles. También se aplican de forma ordinaria en la fabricación de abrasivos. Además, se emplean frecuentemente junto con actividades asociadas, como el lijado, corte y serrado, etc.

Esta técnica no se emplea de forma ordinaria en grandes talleres de pintura de vehículos del sector de la automoción.

**Aspectos económicos:** Los costes de inversión son bajos, pero los costes de explotación son elevados.

**Motivo principal para su aplicación:** Seguridad y salud en el lugar de trabajo.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [63, Vito, 2003] [68, ACEA, 2004] [12, UBA Alemania, 2002] [67, EIPPCB, 2003, 76, TWG, 2004, 128, TWG, 2005]

### 20.11.3.7 Filtro electrostático (precipitador)

**Descripción:** Los filtros electrostáticos (precipitadores) se utilizan para eliminar las partículas de los gases residuales. Las partículas se cargan en un campo electrostático y migran hacia las placas de condensación. Las partículas se retiran en sistemas húmedos, es decir, mediante lavado con agua.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Los niveles de ruido pueden aumentar. Cuando se usan los filtros electrostáticos húmedos, se generan residuos húmedos y aguas residuales que pueden necesitar un tratamiento posterior.

**Información operativa:** En la pulverización de pintura suele producirse un exceso de pulverización que puede tener que capturarse o tratarse. Los filtros electrostáticos se aplican normalmente como un paso de separación secundario tras el sistema Venturi descrito en el apartado 20.11.3.5. El filtro electrostático puede servir como un pretratamiento para la concentración de disolventes (véase el apartado 20.11.3.2).

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles sobre un uso real.

No se aplica en el sector de la automoción, en la fabricación de abrasivos ni en el revestimiento de componentes de barcos y aeronaves.

**Aspectos económicos:** En general, los precipitadores electrostáticos conllevan un mayor coste de instalación asociado a los filtros secos, aunque sus costes de explotación son menores.

Costes de instalación/inversión: 60 a 300 EUR para sistemas de 30 000 a 200 000 Nm<sup>3</sup>/h. Costes de explotación: 0,05 a 0,1 EUR por cada 1000 Nm<sup>3</sup>/h para sistemas de tamaño superior a 50 000 Nm<sup>3</sup>/h. Costes adicionales e impacto ambiental para la eliminación de fangos, costes de energía (0,17 – 0,35 kWh/Nm<sup>3</sup>) para la instalación básica y consumo adicional del ventilador de 0,17 – 0,5 kWh/Nm<sup>3</sup> (publicado en 2004).

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [67, EIPPCB, 2003, 68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004] [146, CEI-BOIS, 2006] [145, VITO, 2004]

### 20.11.3.8 Lavador

**Descripción:** Las partículas de pintura de los gases residuales se separan en colectores de lavado por corriente de aire mediante un mezclado intensivo del aire residual con agua. Los lavadores de agua también se pueden utilizar para eliminar el polvo y otros contaminantes como los NO<sub>x</sub> (véase el apartado 20.11.9.3).

En la industria de la automoción se usa un tipo especial de lavador denominado lavador Venturi (basado en el principio Venturi), que permite obtener un excelente mezclado de las partículas con el agua. Se utiliza sin ningún otro pretratamiento para la separación de la niebla de pulverización del aire efluente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducidas emisiones de partículas al aire. En el lavador por corriente de aire, las partículas de pintura se separan en cerca de un 90 % (tras la separación primaria descrita en el apartado 20.11.3.5).

**Efectos cruzados:** La filtración requiere energía y puede generar ruido, residuos y aguas residuales.

**Información operativa:** En la pulverización de pintura suele producirse un exceso de pulverización que puede tener que capturarse o tratarse. Los lavadores normalmente se aplican como un paso de separación secundario tras el sistema Venturi descrito en el apartado 20.11.3.5. El lavador puede servir posteriormente como un pretratamiento para aumentar la concentración de disolventes (véase el apartado 20.11.3.2). El contenido de partículas restantes depende de que los gases residuales limpios de la cabina de pulverización se envíen o no directamente a una instalación de limpieza de gases residuales. Para realizar una separación posterior de las partículas de pintura tras el uso de los lavadores Venturi, puede ser necesario disponer de separadores de partículas de pintura adicionales. En particular, si existe un flujo de aire circulante destinado a la recuperación de disolventes o si se necesita una protección de las piezas que se vayan a instalar posteriormente (rotor, intercambiador de calor), se aplicarán los métodos de separación secundaria.

**Aplicabilidad:** Véase la Descripción anterior.

No se aplica en la industria de fabricación de bobinas de alambre.

**Aspectos económicos:** Coste de capital: de 2000 hasta 30 000 EUR por cada 1000 Nm<sup>3</sup>/h (lavador con bomba de recirculación); el coste es altamente dependiente de la aplicación, por ejemplo, del tipo de impurezas existentes en los gases.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [145, VITO, 2004]

#### 20.11.4 Oxidación

El anexo 24.9 ofrece un resumen de las técnicas de depuración de gases residuales (oxidación, adsorción, condensación y depuración biológica), así como su aplicabilidad. En él se comparan las eficiencias de eliminación de las técnicas más ampliamente utilizadas para diferentes tipos de disolventes y a diferentes concentraciones de entrada [148, TWG, 2006].

Cuando se usa gas natural como combustible adicional, se pueden producir emisiones de CH<sub>4</sub> sin quemar que suelen ser inferiores a 50 mg/m<sup>3</sup>.

Si la mezcla de disolventes contiene otros elementos además de H, C u O, se pueden formar subproductos peligrosos, tóxicos o corrosivos. Los disolventes que contengan compuestos halogenados formarán agresivos gases de combustión. Si estos gases de combustión contienen nitrógeno, formarán NO<sub>x</sub>, mientras que si contienen azufre formarán SO<sub>x</sub>. También puede producirse la oxidación de los conductos y las salidas de aire.

##### 20.11.4.1 Aporte de combustible en el proceso de calentamiento

**Descripción:** Los gases residuales a tratar se envían a un calefactor existente (por ejemplo, una caldera) como aire de combustión y combustible complementario.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las emisiones de disolventes se depuran, mientras que las emisiones de la caldera no se modifican al utilizarse disolvente en lugar de combustible.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** El requisito previo para utilizar una caldera existente es que ésta debe estar operativa y que debe ser capaz de recibir los gases cada vez que éstos se produzcan. Las calderas suelen trabajar de forma continua, pero la carga de disolventes puede ser discontinua. En el caso de los disolventes halogenados, se pueden llegar a alcanzar niveles de COV inferiores; sin embargo, la obtención de estos niveles de COV más bajos puede requerir un aporte adicional de combustible.

El rango de concentración de los gases de entrada sólo está limitado por los valores máximos de LEL, mientras que el rango de flujo de aire que puede depurarse depende de la capacidad de la caldera existente.

Esta técnica permite tratar todo tipo de disolventes y mezclas de disolventes y no requiere un pretratamiento o postratamiento específico; sin embargo, es una práctica común realizar un adecuado control de las emisiones de CO.

**Aplicabilidad:** Esta técnica es fácil de aplicar y es la más apropiada para calderas ya existentes con una capacidad suficiente, así como para procesos de producción con una gran demanda energética.

No se aplica a disolventes halogenados que contengan azufre o nitrógeno ni a otro tipo de disolventes peligrosos (véanse los Efectos cruzados anteriores).

No se aplica en la industria de fabricación de bobinas de alambre, talleres de pintura de vehículos, huecograbado de publicaciones (que use recuperación de disolvente), impresión con secado por calor ni impresión de embalajes flexibles (no existen calefactores con capacidad suficiente).

**Aspectos económicos:** Los costes aumentan con la distancia desde el proceso hasta la caldera; no obstante, suele tratarse de una técnica de bajo coste.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [60, ESIG, 2000] [75, Jansen, 2005] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 20.11.4.2 Oxidación térmica

**Descripción:** La oxidación de COV en una cámara de oxidación simple mediante reacción química con oxígeno procedente del aire de escape.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se puede conseguir una eficiencia de eliminación de > 99 % (valor medio de 24 horas), aunque esto depende de la concentración de entrada. Los niveles de concentración alcanzados normalmente tras el tratamiento varían entre 20 y 50 mg C/m<sup>3</sup>, pudiéndose conseguir niveles aún menores. En el caso de los disolventes halogenados, se pueden llegar a alcanzar niveles de COV inferiores; sin embargo, la obtención de estos niveles de COV más bajos puede requerir un aporte de combustible.

En la industria de la fabricación de abrasivos se han descrito niveles máximos para fenol y formaldehído inferiores a 20 mg/m<sup>3</sup>.

También se utilizan para disminuir, eliminar los malos olores.

**Efectos cruzados:** Se necesita un aporte significativo de combustible adicional para alcanzar las temperaturas de combustión necesarias; por ello, el consumo de energía es superior al de la oxidación recuperativa y regenerativa. Se producen emisiones de NO<sub>x</sub>, CO y CO<sub>2</sub>, a un nivel máximo que suele estar por debajo de 200 mg/m<sup>3</sup>.

Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** Los disolventes de los gases residuales suelen destruirse a temperaturas de 680 – 750 °C, garantizando así una combustión casi total de la carga de disolvente. Los sistemas de oxidación se utilizan normalmente con parámetros ajustados para emisiones totales mínimas equilibradas.

El rango de concentraciones de los gases de entrada sólo está limitado por los valores máximos de LEL. El tiempo de arranque del sistema es de tan sólo cinco minutos. No existen límites para la temperatura de entrada.

El sistema de oxidación debe funcionar de forma continu cuando se acopla a un sistema de revestimiento, dado de este último debe mantenerse caliente. La cantidad de combustible necesaria para mantenerlo caliente durante los tiempos de reposo es un factor importante a tener en cuenta para los sistemas que no funcionan de forma continua.

Por otro lado, la concentración de polvo debe ser < 3 mg/Nm<sup>3</sup>, aunque puede ser superior cuando se incineran partículas de polvo orgánico.

Las unidades pueden integrarse en el secador o utilizarse como un sistema centralizado para varios secadores.

Tras la oxidación térmica, en la industria de la automoción se alcanzan concentraciones de gases limpios de 10 mg C/m<sup>3</sup>.



**Aplicabilidad:** Especialmente adecuada para elevadas concentraciones de COV ( $5 - 16 \text{ g/Nm}^3$ ).

Pueden depurarse caudales bajos a medios ( $< 25\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ). Esta técnica es la más económica de las utilizadas para caudales que varíen entre  $5$  y  $1000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  y es la más adecuada para procesos discontinuos, por ejemplo, para su uso durante algunas horas cada día o cada semana o durante algunas semanas al año. Permite tratar todo tipo de disolventes y mezclas de disolventes y no se requiere un pretratamiento ni postratamiento específicos.

Se aplica de forma ordinaria en la fabricación de abrasivos, especialmente en situaciones en las que no se pueda utilizar el calor recuperado. La técnica también se aplica en el sector de la automoción y en el revestimiento de camiones y vehículos comerciales. En el pasado también se aplicaba en los procesos de impresión con secado por calor; sin embargo, actualmente se prefiere la incineración regenerativa.

Esta técnica no se ha aplicado en la industria de fabricación de bobinas de alambre.

**Aspectos económicos:** Como inversión, esta técnica utiliza el sistema de oxidación de menor coste. Sin embargo, los costes de explotación son elevados debido a la gran cantidad de combustible adicional necesario. También existen grandes costes de capital y mayores costes de utilización de la planta.

**Motivo principal para su aplicación:** Control de malos olores.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal et al., 2002] [12, UBA Alemania, 2002] [54, BMLFUW Austria, 2003] [13, DFIU e IFARE, 2002] [60, ESIG, 2000] [75, Jansen, 2005] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [145, VITO, 2004]

### 20.11.4.3 Oxidación térmica recuperativa

**Descripción:** El principio de destrucción de los disolventes mediante combustión es el mismo que el descrito en el apartado 20.11.4.2. Sin embargo, esta técnica permite ahorrar energía gracias a que el aire caliente residual es utilizado para calentar el aire frío cargado de disolvente entrante o es devuelto al proceso de secado. Aunque se utilizan intercambiadores de calor, aún puede ser necesario el uso de combustible adicional.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se puede conseguir cerca del 100 % de destrucción de los COV y se suelen alcanzar unos niveles de emisión de  $< 20 \text{ mg C/m}^3$  (valor medio de 24 horas) o  $< 30 \text{ mg C/m}^3$  (valor medio por hora). En comparación con la oxidación térmica, aquí se puede recuperar el 50 – 70 % de la energía como calor total en el intercambiador de calor.

Los niveles de emisión típicos alcanzados en el revestimiento e impresión de envases metálicos se encuentran en el rango de  $20 - 50 \text{ mg C/Nm}^3$ . En este sector, y específicamente en la fabricación de bidones, la eficiencia de eliminación normalmente alcanzada es el 95 %, con un máximo del 97 %. En los procesos de fabricación de coches se alcanzan concentraciones de gases limpios de  $10 \text{ mg C/m}^3$ . En la industria de tratamientos superficiales, los niveles de emisión típicos varían entre  $20$  y  $50 \text{ mg C/m}^3$ .

**Efectos cruzados:** Se pueden producir emisiones de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$ . Los niveles de ruido pueden aumentar.

Aunque esta técnica utiliza menos energía que un sistema de oxidación térmica (véase el apartado 20.11.4.2), seguirá consumiendo una cantidad considerable de energía si la concentración de COV en la entrada es inferior al límite autotérmico, que es  $2 - 3 \text{ g/m}^3$ . El quemador necesita disponer siempre de una llama piloto, auxiliar (que consume energía).

**Información operativa:** El rango de concentraciones de los gases de entrada sólo está limitado por los valores máximos de LEL. Con niveles de COV bajos, debe añadirse más combustible. La temperatura máxima de entrada es de 400 °C y se requiere un control de la temperatura. La concentración de COV tras el tratamiento también puede controlarse de forma permanente.

La energía liberada por el sistema de oxidación proviene de la combustión de los gases y los disolventes. Debido a la elevada temperatura de los humos incinerados, una gran parte de la energía puede recuperarse en los intercambiadores para utilizarse en:

- precalentamiento de los humos antes de la incineración a unos 500 °C (para reducir el consumo de gas en el incinerador),
- precalentamiento de la inyección de aire en el horno a un máximo de 400 °C, especialmente en el caso de los hornos de «convección por aire caliente» (para reducir o eliminar el consumo de gas en los hornos),
- calentamiento de agua (para el proceso o uso sanitario).

En el caso de tecnologías como el secado por «infrarrojos» o «inducción», no se dispone de datos suficientes para determinar el efecto en los requisitos de energía de imprimación. Sin embargo, sí se sabe que no existen las mismas oportunidades para recuperar la energía.

En caso necesario, se pueden obtener niveles más bajos para los disolventes halogenados.

**Aplicabilidad:** Pueden depurarse caudales bajos a medios (< 25 000 Nm<sup>3</sup>/h). Esta técnica es la más económica de las utilizadas para caudales que varíen entre 1000 y 15 000 Nm<sup>3</sup>/h y es la más adecuada para procesos continuos y gases residuales con una concentración de disolvente de 6 – 12 g/m<sup>3</sup>. Permite tratar todo tipo de disolventes y mezclas de disolventes y no se requiere un pretratamiento ni postratamiento específicos. Esta técnica puede utilizarse de forma continua o discontinua, ya que posee un tiempo de arranque relativamente bajo de menos de una hora.

Esta técnica se emplea de forma ordinaria en:

- industria de impresión (siempre con combustible adicional),
- industria de tratamientos superficiales,
- industria de la automoción,
- industria de fabricación de bidones,
- industria de envases metálicos.

Sin embargo, las concentraciones de COV elevadas pueden causar problemas de calidad para los revestimientos en color (por ejemplo, los blancos pueden decolorarse).

Se trata de la única técnica aplicada de forma esporádica en el revestimiento de barcos y no se aplica en la industria de la fabricación de bobinas de alambre.

**Aspectos económicos:** Si las temperaturas de trabajo son > 700 °C, la fatiga del material inducida por la temperatura puede reducir la vida útil de los intercambiadores de calor en 8 – 12 años. Los costes de inversión son de 150 000 a 250 000 EUR para instalaciones con un caudal de 10 000 m<sup>3</sup>/h.

**Motivo principal para su aplicación:** La oxidación térmica recuperativa se aplica por motivos energéticos, es decir, por conformidad con el acuerdo de Kyoto.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal et al., 2002] [12, UBA Alemania, 2002] [13, DFIU e IFARE, 2002] [60, ESIG, 2000] [63, Vito, 2003] [75, Jansen, 2005] [76, TWG, 2004] [79, SEFEL, 2004] [58, ECCA, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 20.11.4.4 Oxidación térmica regenerativa con doble lecho

**Descripción:** El sistema de oxidación es un sistema con doble lecho en el que cada lecho está relleno con encapsulado cerámico. Un lecho se usa para precalentar la corriente de aire a depurar, mientras que el otro es calentado por los gases de combustión generados en la oxidación. El flujo se invierte de forma regular para intercambiar los lechos de precalentamiento y de recuperación de calor. Durante el cambio, se emiten algunos COV sin quemar.

Los sistemas de oxidación regenerativa que reciben gases de entrada con una concentración de COV superior al nivel autotérmico se denominan «sistemas de oxidación sin llama». El funcionamiento sin llama también puede alcanzarse utilizando una inyección directa de combustible (sólo con combustible gaseoso) y con una concentración suficiente de oxígeno en el gas crudo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Este sistema permite alcanzar niveles de emisión de 10 – 20 mg C/Nm<sup>3</sup> (valor medio de 24 horas) y unas eficiencias de eliminación del 95 – 99 %. El exceso de energía generado puede reutilizarse y puede suponer un importante ahorro de energía global.

En la industria de la automoción se alcanzan concentraciones de gases limpios de 10 mg C/Nm<sup>3</sup>. En flexografía y huecograbado de embalajes se pueden alcanzar niveles de 10 – 20 mg C/Nm<sup>3</sup>. A este nivel, las emisiones residuales son de < 0,5 % y la eficiencia de eliminación es, lógicamente, > 99,5 %.

En la fabricación de abrasivos, los sistemas de oxidación regenerativa pueden funcionar normalmente en condiciones autotérmicas con unas concentraciones de disolvente superiores a 2 – 3 g/m<sup>3</sup>. A volúmenes de aire residual de hasta 66 000 Nm<sup>3</sup>/h, las instalaciones alcanzan valores de emisión de < 20 mg C/Nm<sup>3</sup> (valor medio cada media hora). Los niveles máximos para fenol y formaldehído están por debajo de 20 mg/Nm<sup>3</sup>.

**Efectos cruzados:** Ninguno si se compara con los sistemas de oxidación térmica convencionales. Los niveles de emisión de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> suelen estar por debajo de 100 mg/m<sup>3</sup>. Los niveles de CH<sub>4</sub> suelen estar por debajo de 50 mg/m<sup>3</sup>.

La incineración requiere energía (gas), principalmente durante las operaciones de arranque.

La baja formación de NO<sub>x</sub> puede conseguirse mediante la aplicación de bajas temperaturas de combustión en el rango de 750 - 820 °C, o incluso inferiores a 750 °C. La concentración típica de emisiones es de < 50 mg/m<sup>3</sup>.

Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** Cuando la concentración de disolvente en el aire a depurar es de 1,5 – 3 g/m<sup>3</sup>, el sistema es autotérmico y no es necesario realizar un aporte de combustible adicional. La energía térmica del aire que sale del sistema de depuración de gases residuales se utiliza para calentar el gas crudo al alternar los lechos de transferencia de calor. Con concentraciones de 4 – 6 g/m<sup>3</sup>, el exceso de calor puede recuperarse y, por ejemplo, emplearse en los procesos de producción. Para alcanzar estos valores, la concentración del flujo de aire en el secador puede tener que igualarse a las concentraciones descritas en el apartado 20.11.3.1.

El sistema es sensible a la presencia de polvo en la alimentación, ya que éste puede obturar el encapsulado cerámico; no obstante, pueden aceptarse ciertos niveles de polvo de combustible. La temperatura se controla y, tras el tratamiento, la concentración de COV también puede controlarse de forma permanente.

En las plantas estándares de flexografía e impresión de huecograbado en embalajes, la cantidad de calor en exceso es superior a la que puede utilizarse. Los principales consumidores de calor son los secadores de las prensas. La oxidación de un gramo de disolvente permite calentar un m<sup>3</sup> de aire a aproximadamente 25 °C. Dado que existen aproximadamente 3 a 4 g/m<sup>3</sup>, se dispondrá de energía suficiente para calentar cada m<sup>3</sup> a 75 – 100 °C. Sin embargo, el aumento de temperatura necesario para el aire de secado es, de media, de unos 30 °C. Esto significa que más de la mitad del calor recuperado debe utilizarse en otras operaciones. En ocasiones, esta energía sobrante se vende a las plantas colindantes. En ese caso, el calor recuperado debe ser transportado. Para este fin, el uso de vapor o de aceite térmico resulta adecuado, aunque la mayoría de los secadores funcionan con una llama de gas abierta o con electricidad. Así, el uso en los secadores del exceso de calor generado en el sistema de oxidación implicaría la sustitución de todos los secadores, una inversión que nunca podría recuperarse únicamente con la disminución de los costes energéticos.

En el revestimiento e impresión de DWI, el exceso de calor puede utilizarse para realizar determinadas operaciones, como son el proceso de limpieza y el proceso de calentamiento del aire que entra en los secadores.

En el revestimiento de bobinas, los humos se oxidan en cámaras dobles que se precalientan alternativamente. Las cámaras son precalentadas por los humos procedentes de la otra cámara en funcionamiento. Para poner en marcha la instalación se utiliza un quemador de gas, aunque normalmente no se alcanzan condiciones estables. Permite procesar una concentración muy baja de COV en los humos. La energía liberada por la oxidación proviene únicamente de la combustión de los disolventes. Debido a la eficiencia energética del sistema de oxidación regenerativa, las temperaturas de escape son bajas, reduciendo las posibilidades de recuperar la energía. Debido al tipo de proceso, la mayor parte de la energía se recupera para la oxidación en sí misma, mientras que el resto de la energía puede recuperarse en intercambiadores y utilizarse para precalentar la inyección de aire en el horno (a baja temperatura) y para calentar agua (para el proceso o uso sanitario).

**Aplicabilidad:** Esta técnica se aplica de forma ordinaria a un flujo de aire de > 1500 – 70 000 Nm<sup>3</sup>/h para una unidad de doble lecho. Para flujos > 70 000 Nm<sup>3</sup>/h, los sistemas multilecho resultan más económicos. La temperatura máxima de entrada es de 400 °C. La concentración máxima de entrada de COV estará limitada por el valor del 25 % del LEL por motivos de seguridad, siendo normalmente de 12 g/m<sup>3</sup> (para disolventes como tolueno, acetato de etilo o etanol con valores LEL típicos de unos 40 o 50 g/m<sup>3</sup>). El margen de seguridad es necesario para prevenir explosiones en los lechos cerámicos.

Sin embargo, para alcanzar una emisión de < 20 mg C/Nm<sup>3</sup> (eficiencia de eliminación ~ 98,75 %), la concentración de entrada de COV debe ser < 1,5 g/m<sup>3</sup>.

Esta técnica permite tratar todo tipo de disolventes y mezclas de disolventes. No obstante, con sustancias viscosas, se requiere un «quemado» normal. Con hidrocarburos de silicio, se requiere una limpieza regular y, por tanto, debe evitarse.

Esta técnica es la que se emplea de forma más habitual en procesos continuos. Cuando se utiliza en procesos discontinuos, suele hacerse en modo reposo (stand by) y a una determinada temperatura. El tiempo de arranque es de una a cuatro horas.

Los sistemas de oxidación regenerativa de este tipo se emplean normalmente en:

- plantas de flexografía e impresión de huecograbados en embalajes,
- plantas de impresión en offset con secado por calor,
- la fabricación de abrasivos,
- el revestimiento e impresión de envases metálicos (excepto en la fabricación de bidones),
- el revestimiento de bobinas,
- la industria de la automoción.

Esta técnica sólo se aplica ocasionalmente en astilleros y no se aplica en la industria de la fabricación de bobinas de alambre.

**Aspectos económicos:** La inversión en un sistema de oxidación regenerativa es superior a la de un sistema de oxidación recuperativa. Los costes de inversión y de explotación de un equipo de disminución, eliminación al final de línea (end-of-pipe) vienen determinados en su mayor parte por el flujo de aire máximo que necesita depurarse. La inversión puede estimarse en un mínimo de 200 000 EUR para una capacidad de hasta 10 000 m<sup>3</sup>/h, además de 10 – 15 EUR por cada m<sup>3</sup>/h adicional. Esto incluye un conducto simple de recogida centralizada, pero no incluye el coste de optimización del flujo de aire (véase el apartado 20.11.3.1). La demanda de combustible es baja, por lo que el ventilador eléctrico es el principal determinante de los costes de utilización. Los costes de explotación ascienden a unos 15 000 EUR por año para tratar 10 000 m<sup>3</sup>/h.

La recuperación y el transporte del exceso de calor requieren una inversión adicional. Dicha inversión es tal que sólo puede recuperarse con la reducción de los costes energéticos si es posible utilizar realmente todo el calor sobrante y si no se requiere ninguna inversión adicional para poder usar dicho calor.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** AMCOR Flexibles en Gante, Bélgica. HFP Bandstahl GmbH & Co KG en Bad Salzungen, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003] [35, Aminal et al., 2002] [12, UBA Alemania, 2002] [13, DFIU e IFARE, 2002] [60, ESIG, 2000] [63, Vito, 2003] [75, Jansen, 2005] [76, TWG, 2004] [79, SEFEL, 2004] [58, ECCA, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.11.4.5 Oxidación térmica regenerativa con triple lecho o distribuidor de aire rotativo, rotatorio

**Descripción:** Véase el apartado 20.11.4.4 para obtener la descripción de la técnica, aunque, en lugar de dos lechos (doble lecho), ahora se han instalado tres lechos. El tercer lecho se denomina el «lecho de purga». Los sistemas multilecho (cinco o siete lechos) también están disponibles. En lugar de los sistemas multilecho, también existen sistemas de un único recipiente con un distribuidor de aire rotativo, rotatorio. Estos sistemas de un único recipiente se componen de diversas zonas (lechos o cuñas).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Un sistema de tres lechos o un distribuidor de aire rotativo, rotatorio permiten alcanzar niveles de emisión de 10 – 20 mg C/Nm<sup>3</sup> (valor medio de 24 horas) y unas eficiencias de eliminación del 98 – 99,9 %, dependiendo de las concentraciones de entrada y de las condiciones de funcionamiento. Dichos valores pueden alcanzarse porque, en comparación con un sistema de doble lecho, aquí no se genera ninguna emisión de COV sin tratar debido al cambio de dirección del flujo de gas. En comparación con un sistema de oxidación convencional, se consigue un ahorro energético considerable, ya que el exceso de energía generado puede reutilizarse.

**Efectos cruzados:** En comparación con un sistema de oxidación convencional, se requiere energía para accionar los ventiladores de mayor tamaño necesarios para llevar el aire de escape hacia los intercambiadores de calor. Los niveles de emisión de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> suelen estar por debajo de 100 mg/m<sup>3</sup>, mientras que los de CH<sub>4</sub> suelen estar por debajo de 50 mg/m<sup>3</sup>. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** Esta técnica se aplica de forma ordinaria a flujos de aire de > 1500 – 120 000 Nm<sup>3</sup>/h para una unidad de triple lecho. Para flujos > 70 000 Nm<sup>3</sup>/h, los sistemas

multilecho resultan más económicos. La temperatura máxima de entrada es de 400 °C La concentración máxima de entrada de COV estará limitada por el valor máximo de LEL, teóricamente 12 g/m<sup>3</sup>.

El sistema funciona autotérmicamente con concentraciones de COV en el rango de 1,5 – 3 g/m<sup>3</sup>, aunque también puede aplicarse a concentraciones de > 3 g/m<sup>3</sup>. Con concentraciones superiores al punto autotérmico, el exceso de calor puede recuperarse y reutilizarse.

Esta técnica es la que se emplea de forma más habitual en procesos continuos. Cuando se utiliza en procesos discontinuos, suele hacerse en modo reposo (stand by) y a una determinada temperatura. El tiempo de arranque es de una a cuatro horas.

Permite tratar todo tipo de disolventes y mezclas de disolventes; no obstante, con sustancias viscosas, se requiere un «quemado» normal. Con hidrocarburos de silicio, se requiere una limpieza regular y, por tanto, debe evitarse.

El sistema es sensible a la presencia de polvo en la alimentación; no obstante, pueden aceptarse ciertos niveles de polvo de combustible.

**Aplicabilidad:** Los sistemas de oxidación regenerativa de este tipo se emplean normalmente en:

- plantas de flexografía e impresión de huecograbados en embalajes,
- plantas de impresión en offset con secado por calor,
- la fabricación de abrasivos,
- el revestimiento e impresión de envases metálicos,
- el revestimiento de bobinas,
- la industria de la automoción.

Esta técnica sólo se aplica ocasionalmente en astilleros y no se aplica en la industria de la fabricación de bobinas de alambre.

**Aspectos económicos:** En comparación con el sistema de doble lecho, la inversión adicional es de cerca del 25 %.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [60, ESIG, 2000] [63, Vito, 2003] [75, Jansen, 2005] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 20.11.4.6 Oxidación catalítica

**Descripción:** La oxidación de los COV se lleva a cabo en presencia de un catalizador (normalmente platino). Gracias al catalizador, las temperaturas necesarias en el proceso de oxidación pueden reducirse hasta 250 - 400 °C. No obstante, en la industria de fabricación de bobinas de alambre, la temperatura del proceso de oxidación se encuentra en el rango de 500 – 750 °C. El calor de escape puede recuperarse y pueden utilizarse en intercambiadores de calor de tipo recuperativo o regenerativo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se consiguen eficiencias de eliminación del 95 – 99 %, El rango de concentración típico conseguido es de 10 – 50 mg C/Nm<sup>3</sup>. En comparación con la oxidación térmica (véase el apartado 20.11.4.2), se requiere menor aporte de combustible. La aplicación de un catalizador, combinada con la recuperación del calor de escape, hace que se requiera menos energía que en la oxidación recuperativa sin un catalizador (véase el apartado 20.11.4.3).



Normalmente, los niveles de emisión alcanzados en la producción de bobinas de alambre son de 5 g COV/kg de producto para los alambres con un diámetro medio superior a 0,10 mm y de 10 g COV/kg de producto para los alambres con un diámetro medio inferior a 0,10 mm. Así, se satisfacen los valores del límite de emisión legal de 20 mg C/m<sup>3</sup>.

En la industria de la impresión, las eficiencias de eliminación mencionadas anteriormente se pueden alcanzar bajo las siguientes condiciones: un flujo de 1000 – 30 000 Nm<sup>3</sup>/h o superior y una concentración de COV de > 1 – 2 g/Nm<sup>3</sup>. Los niveles típicos en la impresión con secado al calor (raramente utilizada en la actualidad) y en la industria de tratamientos superficiales se encuentran en el rango de 20 – 50 mgC/Nm<sup>3</sup>.

**Efectos cruzados:** Los catalizadores deben sustituirse/recargarse periódicamente. Se requiere un aporte de combustible, aunque éste es menor que en la oxidación térmica. Los niveles de ruido pueden aumentar.

Los niveles de emisión de CO y NO<sub>x</sub> normalmente alcanzados son de < 50 mg/m<sup>3</sup>.

En la industria de fabricación de bobinas de alambre, se han descrito niveles de emisión de NO<sub>x</sub> de aprox. 10 g/kg de producto para los alambres con un diámetro medio superior a 0,10 mm y de 12,5 g/kg de producto para los alambres con un diámetro medio inferior a 0,10 mm (véase el apartado 20.11.9). Sin embargo, estos valores dependen de la cantidad de disolvente con N utilizado.

**Información operativa:** Se pueden tratar concentraciones de COV de hasta 5 g/Nm<sup>3</sup>. Esta técnica puede aplicarse a flujos de aire de 10 – 30 000 Nm<sup>3</sup>/h. Sin embargo, es más adecuada para flujos de aire discontinuos de hasta 10 000 Nm<sup>3</sup>/h.

A temperaturas de entrada superiores a 400 °C no es necesario un precalentamiento para alcanzar la temperatura de activación del catalizador. Normalmente, el aceite no se usa como combustible debido al contenido de azufre y a la toxicidad para el catalizador.

Esta técnica puede utilizarse de forma continua o discontinua. No obstante, cuando se utiliza de forma continua, la vida útil del catalizador está limitada a unas 15 000 – 25 000 horas.

Se pueden tratar todo tipo de disolventes y mezclas de disolventes, aunque debe comprobarse la presencia de contaminantes que pudieran envenenar el catalizador. Si la concentración de entrada es demasiado elevada, puede producirse sobrecalentamiento y el catalizador puede resultar dañado. Esta técnica también es muy sensible a la presencia de polvo o de gotas en la alimentación y, por ello, es necesario llevar a cabo un pretratamiento del flujo de aire. También es sensible a los cambios en la concentración de entrada. Los hidrocarburos halogenados y de silicio, así como las siliconas, también pueden causar problemas.

**Aplicabilidad:** Esta técnica, incluyendo la recuperación del calor de escape, se aplica de forma ordinaria en la industria de la fabricación de bobinas de alambre. Se utiliza raramente en la industria de tratamientos superficiales. La industria de la automoción ha probado esta técnica; sin embargo, y debido a los problemas de inhibición, no se ha aplicado de forma generalizada.

La oxidación catalítica se utiliza en un número limitado de casos en la industria de impresión y únicamente en procesos de impresión con secado por calor. Actualmente, en estas situaciones se prefiere la oxidación regenerativa frente a la oxidación catalítica.

**Aspectos económicos:** El problema de coste más habitual de esta técnica es el catalizador, que necesita sustituirse al final de su vida útil, y esto sólo puede comprobarse realizando medidas regulares. Sin embargo, en general, los costes son comparables a los de un sistema de oxidación regenerativa.

Los siguientes precios son representativos para la industria de la madera de Flandes y se basan en parámetros de funcionamiento teóricos reales. Los proveedores de equipos que suministraron dicha información recalcaron que resulta imposible extrapolar los costes de los ejemplos a partir



de los flujos y las cargas de COV, por lo que los valores suministrados son puramente orientativos y válidos en el momento en que se realizaron las estimaciones (noviembre de 2004).

Precio calculado por el proveedor A:

- 1) Flujo: 15 000 Nm<sup>3</sup>/h
  - Concentración de entrada de COV: 1500 mg/Nm<sup>3</sup>, emisión de COV: < 20 mg/Nm<sup>3</sup>
  - Precio: 325 000 EUR
- 2) Flujo: 59 000 Nm<sup>3</sup>/h
  - Concentración de entrada de COV: 300 mg/Nm<sup>3</sup>, emisión de COV: < 50 mg/Nm<sup>3</sup>
  - Precio: 628 000 a 770 000 EUR.

Precio calculado por el proveedor B:

- 1) Flujo máximo: 15 000 Nm<sup>3</sup>/h
  - Concentración de entrada de COV: 1500 mg/Nm<sup>3</sup>, emisión de COV: < 90 mg/Nm<sup>3</sup>
  - Precio: 300 000 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal et al., 2002] [12, UBA Alemania, 2002] [58, ECCA, 2004] [60, ESIG, 2000] [63, Vito, 2003] [64, EWVG, 2004] [75, Jansen, 2005] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [146, CEI-BOIS, 2006]

#### 20.11.4.7 Oxidación por UV

**Descripción:** El aire cargado con disolvente es conducido hacia lámparas de UV colocadas en serie. Las moléculas de COV se fragmentan por la acción de la energía de onda corta y se forma ozono a partir del oxígeno. El ozono reacciona con las moléculas de COV fragmentadas, oxidándolas parcialmente. La unidad posterior contiene un agente catalizador (principalmente TiO<sub>2</sub>), que permite que la oxidación del ozono y de las moléculas de COV continúe, destruyéndose el exceso de ozono.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Para gases residuales con una concentración de COV de 0,5 g/Nm<sup>3</sup>, la eficiencia de eliminación es de aprox. 95 %. Se pueden alcanzar concentraciones de COV en los gases residuales depurados de 25 - 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

**Efectos cruzados:** El consumo de energía total de las lámparas y del ventilador de escape es de 50 kWh por cada 1000 m<sup>3</sup> de gases residuales depurados. Las lámparas emiten O<sub>3</sub> (que es destruido) y contienen mercurio (que debe eliminarse tomando las precauciones adecuadas). Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** La temperatura de los gases residuales no debe superar los 60 °C y la humedad debe ser inferior al 85 %.

Esta técnica se desarrolló originalmente para conseguir una reducción de los malos olores y para la destrucción de sustancias tóxicas. Sin embargo, se utiliza cada vez más para la completa destrucción de los COV, especialmente en los gases residuales que contienen bajas concentraciones de ellos (< 0,5 g/Nm<sup>3</sup> de media con picos ocasionales de < 1,0 g/Nm<sup>3</sup>).

**Aplicabilidad:** Puede aplicarse a la industria de pintado de madera y muebles cuando se utilizan pinturas con base de disolvente, aunque en la actualidad no se utiliza en este tipo de industria.

Tampoco se aplica en los talleres de pintura de vehículos.

Esta técnica se aplica actualmente en el sector metalúrgico y en electrónica para mitigar las emisiones de COV de las cabinas de pulverización en las que se aplican pinturas con base de disolvente.

**Aspectos económicos:** En una instalación que pueda depurar unos 10 000 m<sup>3</sup>/h, los costes de inversión son de unos 5000 – 7000 EUR por cada 1000 m<sup>3</sup>/h de gases residuales. Las lámparas UV deben sustituirse cada 8000 horas de trabajo, con un coste de unos 0,06 – 0,2 EUR por cada 1000 m<sup>3</sup>/h de gases residuales. Los costes energéticos son de unos 4 EUR por cada 1000 m<sup>3</sup>/h de gases residuales. Los costes de explotación (incluyendo las lámparas, energía y catalizador) ascienden a 3 - 25 EUR por cada kg de COV eliminado.

En las situaciones específicas en las que se utiliza esta técnica, la oxidación por UV ha demostrado ser más económica que la adsorción sobre carbón activo o que cualquier otro tipo de oxidación térmica. Sin embargo, no existen datos que confirmen su aplicación en instalaciones del tamaño considerado por la directiva IPPC.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal et al., 2002] [13, DFIU e IFARE, 2002] [60, ESIG, 2000] [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005].

### 20.11.5 Condensación

El anexo 24.9 ofrece un resumen de las técnicas de depuración de gases residuales (oxidación, adsorción, condensación y depuración biológica), así como su aplicabilidad. En él se comparan las eficiencias de eliminación de las técnicas más ampliamente utilizadas para diferentes tipos de disolventes y a diferentes concentraciones de entrada [148, TWG, 2006].

El gas rico en COV es enfriado hasta el punto en que se condense una proporción significativa de los vapores. Los disolventes pesados poco volátiles podrán recuperarse a temperatura ambiente, mientras que los disolventes muy volátiles deberán enfriarse por debajo de 0 °C para poder recuperar el 95 % de ellos o más. Una disminución de la temperatura tan importante conlleva importantes desventajas, como los elevados costes energéticos y la congelación del agua de los elementos de refrigeración. Una refrigeración a temperaturas justo por encima de 0 °C evita la formación de hielo, aunque no evita la condensación del agua, que puede acabar mezclándose con el disolvente recuperado, requiriendo una costosa deshidratación. Normalmente, en los procesos de condensación se pueden reutilizar los disolventes. Las diferentes técnicas de condensación se discuten en los apartados siguientes.

#### 20.11.5.1 Refrigeración directa

**Descripción:** El gas rico en COV es enfriado por contacto directo con una corriente fría en un lavador. La técnica de sorción en frío combina los efectos de la absorción con la condensación por contacto directo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los COV pueden recuperarse y, posiblemente, reutilizarse. La eficiencia de eliminación es mayor en las corrientes concentradas.

**Efectos cruzados:** Es necesario utilizar energía para el proceso de refrigeración.

**Información operativa:** Esta técnica, si se aplica de forma independiente, puede no satisfacer algunos de los requisitos legales sobre niveles de concentración en gases residuales.

**Aplicabilidad:** La sorción en frío se utiliza a menudo como una primera limpieza de los gases residuales.

Esta técnica no se aplica en los procesos de impresión, en la industria de fabricación de bobinas de alambre ni en los talleres de pintura de vehículos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [60, ESIG, 2000] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.11.5.2 Refrigeración indirecta

**Descripción:** El gas rico en COV es enfriado en un intercambiador de calor utilizando agua de refrigeración u otro medio a temperaturas por encima de 0 °C.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los COV pueden recuperarse y, posiblemente, reutilizarse. La eficiencia de eliminación es mayor en las corrientes concentradas; sin embargo, se trata de un proceso de baja eficiencia.

**Efectos cruzados:** Es necesario utilizar energía para el proceso de refrigeración. Pueden generarse aguas residuales que pueden tener que depurarse antes de ser desechadas.

**Información operativa:** Este proceso puede ser útil en corrientes concentradas con disolventes poco volátiles, aunque suele combinarse con otro tipo de tratamiento.

**Aplicabilidad:** La condensación mediante aplicación de temperaturas por encima de 0 °C sólo es aplicable a los disolventes poco volátiles. Esta técnica se aplica en los procesos de impresión en offset con secado por calor, en donde se utilizan tintas de base disolvente poco volátiles.

Un inconveniente más importante de esta técnica, cuando se utiliza en los procesos de impresión en offset con secado por calor, es que el IPA no se elimina de los gases residuales. Por tanto, las plantas que usen > 25 toneladas de disolventes al año tendrán ciertas dificultades para cumplir el límite de emisiones de 20 mg C/Nm<sup>3</sup> (establecido por la Directiva sobre emisión de disolventes). El irritante olor de los gases residuales del proceso de secado por calor no se elimina completamente.

Esta técnica no se aplica en la industria de fabricación de bobinas de alambre ni en los talleres de pintura de vehículos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [60, ESIG, 2000] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.11.5.3 Refrigeración

**Descripción:** El gas rico en COV es enfriado en un intercambiador de calor utilizando un medio refrigerado a temperaturas por debajo de 0 °C. Normalmente se usa un sistema de dos condensadores que funcionan alternativamente en modo condensación y descongelación.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los COV pueden recuperarse y, posiblemente, reutilizarse. La eficiencia de eliminación es mayor en las corrientes concentradas.

**Efectos cruzados:** Es necesario utilizar energía para el proceso de refrigeración. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** La presencia de humedad en los gases residuales puede provocar la formación de hielo, en cuyo caso sería necesario realizar un proceso de descongelación a intervalos regulares. Para reducir el contenido de agua suele utilizarse un paso de condensación a temperaturas por encima de 0 °C, realizado previamente.

**Aplicabilidad:** Los gases con elevado contenido de vapor de agua son menos adecuados, debido al aumento del efecto de formación de hielo. Este proceso puede ser útil para corrientes con disolventes muy volátiles. Esta técnica se aplica en la fabricación de cintas adhesivas, tanto en plantas nuevas como en la ya existentes.

Esta técnica obtiene los mejores resultados con gases residuales con una elevada concentración de disolventes de varios cientos de g/m<sup>3</sup>. Para este tipo de gases residuales, se requiere el uso de sistemas cerrados de secado que empleen gas inerte (N<sub>2</sub>), ya que el valor de LEL es de unos 20 g/m<sup>3</sup> a 40 °C. Sin embargo, los sistemas cerrados de secado que empleen gas inerte sólo pueden utilizarse con éxito en aquellos casos en los que el secador no tenga que abrirse con demasiada frecuencia. Tras realizar diversas pruebas, se ha comprobado que éste es el motivo por el que esta técnica no puede aplicarse en la impresión de embalajes flexibles, ya que el trabajo a realizar cambia varias veces al día y los secadores deben abrirse con demasiada frecuencia.

Esta técnica no se aplica en otros procesos de impresión ni en los talleres de pintura de vehículos.

**Aspectos económicos:** Los costes de capital de una planta de fabricación de cintas adhesivas con una capacidad de 400 kg/h para la instalación de condensación ascendían a 0,88 millones de EUR en 1992. Los costes de explotación para realizar la adsorción y condensación combinadas eran de unos 0,51 millones de EUR al año, mientras que los costes variables eran de 1,12 millones de EUR/a y los costes fijos ascendían a 1,38 millones de EUR/a.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [60, ESIG, 2000] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.11.5.4 Tratamiento criogénico

**Descripción:** El gas rico en disolventes altamente volátiles se expone a temperaturas muy bajas, normalmente utilizando nitrógeno líquido.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Teóricamente, se pueden conseguir eficiencias de eliminación muy elevadas si las temperaturas son suficientemente bajas. Sin embargo, en la práctica, las temperaturas no serán inferiores a -95 °C y, a esta temperatura, no es posible alcanzar bajos niveles de concentración.

Se pueden conseguir eficiencias de eliminación del 99 %, generándose concentraciones de COV en el gas depurado de 1 – 5 g/Nm<sup>3</sup>. Eso puede conseguirse, por ejemplo tratando un flujo de gas de 0 – 1000 Nm<sup>3</sup>/h con una concentración de COV entrante de 200 – 1000 g/Nm<sup>3</sup>. Los COV recuperados se puede reutilizar.

**Efectos cruzados:** Es necesario utilizar energía para refrigerar el nitrógeno líquido. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** El nitrógeno vaporizado se puede usar en la planta como sistema de protección. Si se requiere un tratamiento posterior, a menudo se aplica la técnica de adsorción.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se aplica, principalmente, a flujos de gas relativamente bajos (hasta 50 m<sup>3</sup>/h) y en emisiones discontinuas. Se aplica con menor frecuencia en sistemas continuos con una capacidad de 250 m<sup>3</sup>/h o más.

Esta técnica se aplica para la depuración de gases residuales procedentes de la aplicación de pintura y de los secadores. Sin embargo, no se aplica en el pintado de madera y muebles, en la industria de fabricación de bobinas de alambre, la industria de tratamientos superficiales, los procesos de impresión ni los talleres de pintura de vehículos.

Los gases con elevado contenido de vapor de agua son menos adecuados, ya que esto lleva a la formación de hielo.

**Aspectos económicos:** Los costes de inversión ascienden a unos 500 000 EUR por cada 1000 Nm<sup>3</sup>/h de gases residuales, excluyendo las instalaciones de almacenamiento del nitrógeno.

Los costes energéticos son despreciables. Los costes derivados del uso de nitrógeno son de unos 0,12 EUR por kg de nitrógeno, asumiendo una capacidad de 1000 Nm<sup>3</sup>/h de gases residuales depurados.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [60, ESIG, 2000] [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.11.5.5 Condensación por encima del punto de congelación

**Descripción:** La condensación por encima del punto de congelación requiere concentraciones muy elevadas de disolventes (preferiblemente de varios cientos de g/m<sup>3</sup>), ya que sólo se condensa una parte del disolvente. El aire que contiene el disolvente restante no puede emitirse a la atmósfera, sino que es enviado de vuelta al proceso de secado. Este requiere (por diversos motivos) el uso de un bucle cerrado de gas inerte y la presencia de un aire no ordinario en el que la concentración de disolventes siempre esté a un nivel muy elevado (por ejemplo, entrada de 100 g/m<sup>2</sup>, salida de 200 g/m<sup>2</sup>).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Recuperación de disolvente y bajas emisiones en un sistema hermético, estanco.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005]

## 20.11.6 Adsorción

El anexo 24.9 ofrece un resumen de las técnicas de depuración de gases residuales (oxidación, adsorción, condensación y depuración biológica), así como su aplicabilidad. En él se comparan las eficiencias de eliminación de las técnicas más ampliamente utilizadas para diferentes tipos de disolventes y a diferentes concentraciones de entrada [148, TWG, 2006].

### 20.11.6.1 Adsorción utilizando carbón activo o zeolitas

**Descripción:** Esta técnica se utiliza para adsorber los COV sobre la superficie de carbón activo o zeolita. También se aplica de forma ordinaria como un pretratamiento de «concentración» para conseguir una corriente residual más concentrada que pueda incinerarse de forma más económica.

Durante la operación del lecho de carbón activo (o zeolita) en la columna de adsorción o en la rueda de adsorción giratoria, se irá acumulando más y más disolvente en el lecho. En un determinado momento, la eficiencia del lecho de adsorción disminuirá y la concentración de salida comenzará a aumentar. En este punto, la adsorción deberá reactivarse y los disolventes podrán recuperarse o destruirse. La desorción se lleva a cabo frecuentemente mediante barrido con una corriente de gas caliente (nitrógeno, aire o vapor), aunque también puede realizarse mediante vacío (adsorción por cambio de presión). En aquellos casos en los que el flujo de gases residuales es pequeño (por ejemplo, en máquinas de lavado de disolventes), el adsorbente puede regenerarse fuera del emplazamiento (véase el apartado 20.13.7.2).

Tras un largo período de tiempo, el adsorbente no se podrá reactivar totalmente mediante la eliminación del disolvente y será necesario realizar otro tipo de reactivación (normalmente por tratamiento térmico). Ésta podrá realizarse en el emplazamiento o fuera de él (véase el apartado 20.13.7.1). Si el carbón activo u otros adsorbentes utilizados no se pueden regenerar, deberán desecharse (véase el apartado 20.13.7.3).

Es necesaria la continua supervisión de la concentración de salida para comprobar que la eficiencia de adsorción del carbón activo sigue siendo suficiente (véase el apartado 20.11.6.2).

Los lechos pueden utilizarse en paralelo o secuencialmente. En el caso de un sistema de 2 lechos, uno de ellos trabajará en modo adsorción mientras el otro lo hace en modo de desorción; en el caso de un sistema de 3 lechos, dos trabajarán en modo adsorción y uno en modo desorción.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los adsorbentes pueden conseguir una eficiencia de eliminación de > 99 %, dependiendo de la concentración de entrada. Por ejemplo, con una concentración de entrada de > 7 g/m<sup>3</sup>, se pueden alcanzar eficiencias de eliminación de > 99 %. Las concentraciones de COV de salida pueden ser de < 50 mg C/m<sup>3</sup> (valor medio de 24 horas), pudiéndose conseguir niveles de 20 mg C/m<sup>3</sup>.

En la industria de la automoción se pueden usar materiales de adsorción como el papel de fibra de carbono, las zeolitas o el carbón activo. Se consigue una transmisión de la carga de disolvente a una corriente de aire caliente externa con una relación 1:6 a 1:30, dependiendo de la concentración de gas bruto.

En la fabricación de cintas adhesivas, se consiguen concentraciones de emisión de 70–90 mg/m<sup>3</sup> en el gas limpio. Es posible alcanzar concentraciones más bajas, aunque sólo mediante una reducción de los períodos de adsorción y, por tanto, correlacionado con una mayor producción de vapor. El proceso de recuperación (véase el apartado 20.13.7.1) suele utilizar de 2 a 3 kg de vapor por cada kg de disolvente recuperado para obtener unas concentraciones de emisión de 70–90 mg/m<sup>3</sup>.



La desorción y la reactivación reducen el consumo de carbón. El vapor condensado puede reutilizarse para limpiar el adsorbente y como agua para la caldera. El aire de secado también puede reciclarse tras el proceso de desorción.

**Efectos cruzados:** En los procesos destinados a la recuperación de los disolventes, primero se usa vapor y, a continuación, se usa agua y energía. El vapor condensado contiene trazas de disolventes. Los niveles de ruido pueden aumentar. La recuperación del carbón activo genera aguas residuales.

Dar con el ciclo de adsorción/desorción óptimo significa encontrar un equilibrio entre una concentración aceptable de emisiones y los recursos necesarios (es decir, energía, adsorbente que debe sustituirse periódicamente, agua) y las aguas residuales generadas al limpiar el lecho de carbón cuando se usa vapor.

Se requiere un cuidadoso equilibrio de los caudales de gas, ya que se pueden producir reacciones exotérmicas imprevisibles (véase la Información operativa a continuación).

**Información operativa:** La adsorción no es aplicable a compuestos reactivos como los aldehídos y las cetonas, ya que pueden polimerizarse sobre el carbón activo, generando sobrecalentamiento. Si así sucede, los polímeros no desorberían; por ello, el uso de MEK y otros productos similares no es adecuado. No obstante, este problema puede superarse si se ponen en marcha las adecuadas medidas de seguridad, como puede ser la desorción del sistema siempre antes de los fines de semana y las vacaciones o la instalación de sistemas automáticos de rociadores antiincendio.

Tampoco es aplicable a los gases con una humedad relativa de  $> 60\%$ , ya que el carbón activo también adsorberá los vapores de agua, reduciendo la capacidad de adsorción disponible para los COV. Esto se soluciona empleando las zeolitas hidrofóbicas disponibles, que no presentan este problema. El sistema es sensible a la presencia de polvo en la alimentación, que obturaría el lecho adsorbente.

Las ruedas de adsorción pueden utilizarse como un pretratamiento a la oxidación térmica. Esto permite reducir los requisitos de energía de la oxidación térmica (véase el apartado 20.11.4.2). También reduce el tamaño físico de un sistema de oxidación térmica cuando se usan de forma conjunta.

**Aplicabilidad:** Esta técnica puede aplicarse a gases residuales con concentraciones de disolventes de  $> 0,8 \text{ g/m}^3$ . Los límites LEL no juegan un papel importante. El sistema se puede aplicar a disolventes individuales o a mezclas. Cuando se adsorben disolventes individuales no son miscibles con agua, la regeneración puede realizarse con vapor. Cuando se adsorben mezclas de disolventes, la regeneración debe realizarse con nitrógeno calentado y a temperaturas de  $150 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Se pueden depurar flujos de aire de 1000 a 1 millón de  $\text{m}^3/\text{h}$ . Para el límite superior del rango se utilizaría una unidad de 14 lechos. La capacidad de un lecho depende únicamente del transporte del sistema. El sistema puede trabajar de forma continua o discontinua y, técnicamente, tendrá una vida útil de más de 30 años. Sin embargo, durante este tiempo es probable que sea necesario adaptarlo o renovarlo para satisfacer los requisitos ambientales, modificar el equipo de proceso o los sistemas de disolventes, etc., acortando su vida económica.

Esta técnica se aplica en todas las plantas de impresión de huecograbados de publicaciones y lo hace de forma ordinaria en la industria de la automoción, el revestimiento de camiones y vehículos comerciales y en la fabricación de cintas adhesivas como el paso de concentración previo a la incineración. A menor alcance, se aplica en procesos que utilizan mezclas de disolventes, como en flexografía y huecograbado de embalajes, aunque en Italia se ha utilizado durante años para recuperar acetato de etilo.

La adsorción es especialmente adecuada cuando es necesario eliminar concentraciones de COV de hasta  $4 \text{ g/m}^3$  de los gases residuales. Sin embargo, también se aplica a concentraciones de 10 o  $12 \text{ g/m}^3$ . En general, se puede aplicar a gases que contengan concentraciones medias a



bajas de COV. Sólo las moléculas pequeñas pueden adsorberse y desorberse. En la industria de la automoción, existen algunas aplicaciones que se usan para limpiar el aire de las cabinas de pulverización, con concentraciones típicas de entrada de 300 – 1200 mg/m<sup>3</sup>.

Algunos disolventes de baja volatilidad pueden adherirse al carbón activo de forma permanente, reduciendo rápidamente la capacidad de adsorción y provocando la temprana sustitución del mismo.

La adsorción y recuperación del tolueno utilizado en los procesos de huecograbado de publicaciones es una práctica común. El tolueno se adsorbe adecuadamente sobre el carbón activo y se recupera fácilmente al calentar el carbón con vapor de agua. Posteriormente, el vapor de agua y los vapores de disolvente se condensan para eliminar el tolueno. El vapor condensado puede tener una concentración de tolueno de 380 – 540 mg/l y se usa una corriente de burbujas de aire para extraer el tolueno del agua. Con la retroextracción, dicha corriente puede tener una concentración de tolueno de 1 – 10 mg/l. Tras el tratamiento, las aguas residuales se desechan o reutilizan como, por ejemplo, agua de refrigeración o vapor de agua. El tolueno se reutiliza en parte, mientras que otra parte es vendida de nuevo a los fabricantes de tintas. Este proceso de recuperación suele utilizar unos 3 – 6 kg de vapor de agua por cada kg de tolueno recuperado.

En una planta estándar de cuatro prensas se recuperan unas 7000 toneladas de tolueno al año utilizando para ello unas 20 000 a 30 000 toneladas de agua. En los procesos en los que se utilizan mezclas de disolventes, como sucede en la flexografía y el huecograbado de embalajes, la adsorción y la recuperación resultan bastante más difíciles. La adsorción del etanol y el acetato de etilo sobre el carbón no es tan buena como la del tolueno, por lo que se requieren lechos de carbón de mayor tamaño. En estos casos, no se puede utilizar vapor de agua para la recuperación, ya que estos disolventes son solubles en agua. Por ello, suele usarse un gas inerte caliente como el N<sub>2</sub>. Para separar la mezcla de disolventes recuperada es necesario llevar a cabo un proceso de destilación.

En la fabricación de cintas adhesivas, el proceso de recuperación suele utilizar de 2 a 3 kg de vapor de agua por cada kg de disolvente recuperado para conseguir unas concentraciones de emisión de 70 – 90 mg/m<sup>3</sup>.

En los Países Bajos y en la región de Flandes de Bélgica, esta técnica no se aplica en flexografía ni en el huecograbado de embalajes.

**Aspectos económicos:** En general, esta técnica tiene un coste que duplica al de la oxidación. La inversión en la recuperación del disolvente será de 0,5 a 1 millón de EUR mayor que la inversión en un sistema de oxidación. Sin embargo, existe una amortización del disolvente recuperado. Las zeolitas como medio de adsorción son unas 10 veces más caras que el carbón activo, y se aplican de forma ordinaria con fines de concentración.

Es necesario destacar que las unidades de adsorción pueden diseñarse para alcanzar valores de emisión muy bajos aumentando la superficie total de carbón activo o aplicando ciclos de adsorción más cortos. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que ambas opciones conllevan una mayor inversión y costes de explotación, así como un mayor consumo de energía.

Los costes de capital de un equipo de adsorción en una planta de fabricación de cintas adhesivas con una capacidad de 800 kg/h ascendían a 2,7 millones de EUR en 1992. Los costes de explotación para realizar la adsorción y condensación combinadas eran de unos 0,51 millones de EUR al año, mientras que los costes variables eran de 1,12 millones de EUR/a y los costes fijos ascendían a 1,38 millones de EUR/a.

En el caso de la flexografía y el huecograbado de embalajes, los costes de inversión y de utilización para la adsorción y posterior recuperación del disolvente son superiores a los de cualquier tratamiento térmico. Los costes de utilización ascienden a 0,15 a 0,25 EUR por cada kg de disolvente recuperado, mientras que los costes de recuperación son de 0,10 EUR/kg disolvente, con un ahorro de 0,60 – 0,70 EUR/kg de disolvente recuperado si el disolvente se reutiliza en el emplazamiento. Cuando el consumo de disolventes es inferior a 500 toneladas al

año, es muy improbable que la recuperación del disolvente sea una alternativa económicamente atractiva con respecto a la oxidación.

En los procesos de huecogrado de embalajes, si el acetato de etilo constituye generalmente más del 90 % del disolvente total utilizado, la cantidad reutilizable puede ser tal que la planta se haga prácticamente autosuficiente y ya no necesite comprar el acetato de etilo para utilizarlo con fines de dilución.

Los siguientes precios para la adsorción sobre carbón activo son representativos para la industria de la madera de Flandes y se basan en parámetros de funcionamiento teóricos reales. Los proveedores de equipos que suministraron dicha información recalcaron que resulta imposible extrapolar los costes de los ejemplos a partir de los flujos y las cargas de COV, por lo que los valores suministrados son puramente orientativos y válidos en el momento en que se realizaron las estimaciones (noviembre de 2004).

- alquiler de la instalación: 6052 - 8544 EUR/a,
- adquisición de la instalación: 22 355 – 23 740 EUR/unidad,
- precio calculado para: 10 000 Nm<sup>3</sup>/h y 500 mg COV/Nm<sup>3</sup> (220 días de trabajo/a, 8 h/d, emisión estándar de COV de 90 mg/m<sup>3</sup> y tiempo de carga del 50 %):
  - 8316 EUR por 5400 kg de carbón activo (duran 82 días de trabajo) = 22 311 EUR/a;
- precio calculado para: 1000 Nm<sup>3</sup>/h y 500 mg COV/Nm<sup>3</sup> (otras condiciones de trabajo similares):
  - 8316 EUR por 5400 kg de carbón activo (duran 823 días de trabajo) = 2230 EUR/a.

**Motivo principal para su aplicación:** Puede ser más económica que las técnicas de oxidación.

**Ejemplos de instalaciones:** Plantas de Ford, Daimler Chrysler, VW, Renault, Audi y Toyota en toda Europa. RSDB en Etten-Leur (Países Bajos) y en la industria italiana del huecogrado de embalajes, que recupera y reutiliza el acetato de etilo.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [35, Aminal et al., 2002] [14, DFIU e IFARE, 2002] [60, ESIG, 2000] [62, CITEPA, 2003] [75, Jansen, 2005] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005] [63, Vito, 2003] [147, Presti, 2005] [147, Presti, 2005] [146, CEI-BOIS, 2006].

### 20.11.6.2 Supervisión continua del rendimiento del adsorbente

**Descripción:** Existen equipos de supervisión para controlar de forma continuada el rendimiento del adsorbente, por ejemplo, comparando de forma continua el nivel de contaminantes en el gas bruto y en el gas residual depurado.

**Beneficios ambientales obtenidos:** La reducción en las emisiones sin tratar debidas al pobre funcionamiento del adsorbente se puede detectar rápidamente para poder tomar las acciones correctivas correspondientes.

**Información operativa:** En el caso de que el sistema conste de dos o más unidades de adsorción paralelas, la supervisión podrá utilizarse para cambiar de una a la siguiente. En la industria de la automoción, en donde las variaciones de concentración son pequeñas, se han realizado mediciones una vez por semana o incluso con menor frecuencia utilizando para ello equipos portátiles.

Es una práctica común en las plantas de impresión de publicaciones. En el huecogrado de publicaciones, el control del ciclo de recuperación del lecho de carbón se lleva a cabo realizando medidas de concentración a intervalos fijos de tiempo. Esto ayuda a decidir cuándo es necesario limpiar un lecho de carbón en los sistemas de adsorción de tolueno. Dado que el contenido de disolvente en el aire de secado es variable, estos dos métodos de control del ciclo de recuperación del lecho de carbón pueden hacer que los adsorbentes se cambien demasiado pronto o demasiado

tarde. Si se cambian demasiado pronto, se generará un consumo excesivo de energía; por otro lado, si se hace demasiado tarde, las emisiones aumentarán de forma desproporcionada.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se puede aplicar tanto a los adsorbentes nuevos como a los ya existentes, independientemente del tipo de industria. La supervisión continua sólo es necesaria si las concentraciones son elevadas o en el caso de que se use un equipo de adsorción montado en paralelo. No es necesaria en aquellos casos en los que el adsorbente es una parte integrante de un sistema de disminución, eliminación ni cuando el aire no es liberado. También se puede aplicar a la recuperación de disolventes (véanse los apartados 20.13.7.1 y 20.13.7.2).

**Aspectos económicos:** Se ha descrito que el coste de la instalación de cuatro dispositivos de medición continuada de COV, incluyendo el software y las plataformas de acceso, era de 2 millones de EUR en 2004.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** VW Hannover, Alemania (depuración del aire de la cabina procedente de una aplicación de relleno con base de disolvente).

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [128, TWG, 2005]

### 20.11.7 Absorción en un líquido

El anexo 24.9 ofrece un resumen de las técnicas de depuración de gases residuales (oxidación, adsorción, condensación y depuración biológica), así como su aplicabilidad. En él se comparan las eficiencias de eliminación de las técnicas más ampliamente utilizadas para diferentes tipos de disolventes y a diferentes concentraciones de entrada [148, TWG, 2006].

#### 20.11.7.1 Absorción en agua

**Descripción:** La absorción (o lavado húmedo de gases) en agua es una transferencia de masa entre un gas soluble y un disolvente (a menudo, agua) que están en contacto entre sí.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Eliminación de contaminantes gaseosos como los NO<sub>x</sub>, haluros de hidrógeno, SO<sub>2</sub>, amoníaco, sulfuro de hidrógeno o COV (si son solubles en agua, como IPA, etanol, etc.).

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No se aplica en los talleres de pintura de vehículos ni en los procesos de impresión.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [67, EIPPCB, 2003] [128, TWG, 2005]

### 20.11.7.2 Absorción en aceite y recuperación

**Descripción:** Los disolventes de los gases residuales pueden recuperarse por absorción en aceites orgánicos, seguida de destilación.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El disolvente recuperado se puede reutilizar. En los gases limpios se pueden conseguir concentraciones de  $< 30 \text{ mg/m}^3$ .

**Efectos cruzados:** Dependiendo de los detalles de la técnica aplicada, pueden generarse  $0,1 - 0,5 \text{ m}^3$  de aguas residuales a partir de la humedad del aire por cada tonelada de disolvente recuperado. Sin embargo, no suele generarse ningún agua residual, ya que el agua se separa por destilación y se reutiliza para limpiar o se convierte en vapor para la retroextracción. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** Esta técnica sólo se utiliza para disolventes puros, por motivos económicos, y es adecuada para cargas de gases residuales de un mínimo de  $2 \text{ g/m}^3$ .

**Aplicabilidad:** Aplicable tanto en plantas nuevas como en las ya existentes. Esta técnica se ha empleado en una planta de embalaje flexible para revestimiento y laminación; sin embargo, no se emplea de forma generalizada debido a su coste.

No se aplica en la industria de fabricación de bobinas de alambre, dado que los disolventes no se pueden reutilizar en el proceso. Tampoco se aplica en otros procesos de impresión, procesos de revestimiento superficial, en la industria de fabricación de envases metálicos ni en la industria de la automoción, ya que estas industrias suelen utilizar mezclas de disolventes.

**Aspectos económicos:** Esta técnica es más cara que la absorción utilizando carbón activo.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** La empresa de embalajes flexibles Bischof und Klein en Alemania, en donde el acetato de etilo se recupera por absorción en un éster de ácido ftálico.

**Bibliografía de referencia:** [14, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.11.8 Depuración biológica

El anexo 24.9 ofrece un resumen de las técnicas de depuración de gases residuales (oxidación, adsorción, condensación y depuración biológica), así como su aplicabilidad. En él se comparan las eficiencias de eliminación de las técnicas más ampliamente utilizadas para diferentes tipos de disolventes y a diferentes concentraciones de entrada [148, TWG, 2006].

**Descripción:** Los gases residuales se llevan hacia un biofiltro o biolavador, donde los microorganismos eliminan el disolvente. La temperatura de los gases residuales no debe superar  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Esta técnica se discute en el BREF CWW [67, EIPPCB, 2003].

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se consiguen eficiencias de eliminación del  $75 - 95 \%$ .

**Efectos cruzados:** Pueden producirse malos olores. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** Esta técnica ha sido probada en una planta de impresión con secado por calor. Sin embargo, no se obtuvieron los resultados esperados debido a las variaciones en las concentraciones de disolvente y a la cantidad de disolventes utilizada.

**Aplicabilidad:** La depuración biológica se puede aplicar a corrientes biodegradables diluidas y, por ello, se aplica con frecuencia al tratamiento de malos olores. Los biofiltros son especialmente adecuados para el tratamiento de bajos niveles de los principales contaminantes

hidrofóbicos como los hidrocarburos y los compuestos aromáticos (por ejemplo, tolueno y xileno). También son muy adecuados para contaminantes que se disuelvan fácilmente en agua, como los éteres, ésteres, cetonas, alcoholes y compuestos que contengan nitrógeno.

En la industria de la impresión, el uso de esta técnica no resulta eficaz cuando la concentración de disolventes es  $> 1,5 \text{ g/m}^3$ . En la impresión con secado por calor, en donde las concentraciones suelen ser de  $1 - 2 \text{ g/m}^3$ , esta técnica ha sido probado con resultados negativos. En el embalaje flexible, los sistemas de depuración biológica se han utilizado con éxito para un límite de emisión de  $100 \text{ mg/m}^3$ . También se ha utilizado con éxito en el Reino Unido para operaciones de revestimiento.

En los sectores del pintado de muebles y madera en Alemania, sólo una planta aplica esta técnica para reducir los problemas de olores debidos a las emisiones de disolventes.

En algunos casos se aplica en la fabricación de abrasivos y no se aplica en la industria de la automoción ni en la fabricación de bobinas de alambre.

Para períodos de apagado prolongados, los biofiltros pueden requerir el suministro de nutrientes que sustituyan la alimentación de disolvente.

**Aspectos económicos:** Los costes de inversión ascienden a 5000 – 20 000 EUR para una capacidad de  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  de gases residuales. Los costes de explotación varían entre 10 y 50 EUR por cada  $1000 \text{ m}^3$  de gases depurados para una instalación con una capacidad de  $5000 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Los siguientes precios son representativos para la industria de madera de Flandes y se basan en parámetros de funcionamiento teóricos reales. Los proveedores de equipos que suministraron dicha información recalcaron que resulta imposible extrapolar los costes de los ejemplos a partir de los flujos y las cargas de COV, por lo que los valores suministrados son puramente orientativos y válidos en el momento en que se realizaron las estimaciones (noviembre de 2004).

Flujo:  $10\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ :

- Concentración de entrada de COV:  $500 \text{ mg/Nm}^3$ , emisión de COV:  $t < 90 \text{ mg/Nm}^3$
- precio: 135 000 a 250 000 EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminal et al., 2002] [13, DFIU e IFARE, 2002] [60, ESIG, 2000] [63, Vito, 2003] [12, UBA Alemania, 2002] [76, TWG, 2004] [146, CEI-BOIS, 2006]

### 20.11.9 Técnicas de disminución, eliminación de $\text{NO}_x$

Las emisiones de  $\text{NO}_x$  proceden de la oxidación térmica de los COV existentes en los gases residuales. Éstas pueden aumentar cuando se emitan disolventes que contengan nitrógeno. Los estudios llevados a cabo en la industria de la fabricación de bobinas de alambre (véase el apartado 3.3.3.1) han determinado que la contribución estimada para la industria es de 1 a  $2,7 \text{ ktoneladas}$  al año. La conclusión fue que la aplicación de técnicas de tratamiento de  $\text{NO}_x$  no resulta factible para la industria desde el punto de vista técnico o económico (véanse los siguientes apartados). Esta conclusión es análoga para otro tipo de instalaciones. La cantidad total emitida debido a los disolventes que contenían nitrógeno era baja, y se prevé que el uso de este tipo de disolventes disminuya con la aplicación de la norma REACH, etc. Además, la industria de la fabricación de bobinas de alambre no es una fuente significativa de  $\text{NO}_x$  y, por

ello, no resultaba sostenible, técnica o económicamente viable añadir tratamientos secundarios de los gases residuales. Véase el apartado 3.3.3.1.

El uso de disolventes que contengan nitrógeno suele ser bajo en todo el sector STS (tratamiento de superficies mediante disolventes orgánicos) y ésta no es una fuente significativa de NO<sub>x</sub>. La forma más eficiente de reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> en todo el sector consiste en optimizar las condiciones de oxidación no sólo para la destrucción de los COV, sino también para minimizar la formación de NO<sub>x</sub> (véanse los apartados 20.11.1 y 20.11.4).

[54, BMLFUW Austria, 2003] [163, EWWG, 2005] [170, Tempany y Lemoine, 2006]

### 20.11.9.1 Reducción selectiva no catalítica (SNCR)

**Descripción:** Los gases residuales que contengan elevados niveles de NO<sub>x</sub> pueden depurarse mediante SNCR. Esta técnica se describe en detalle en el BREF CWW. Los NO<sub>x</sub> se reducen por la acción de la urea o el amoníaco inyectados en la caldera sin la presencia de un catalizador. La reacción requiere altas temperaturas (850 – 1050 °C) y se obtiene una eficiencia del 50 – 70 % con una relación NH<sub>3</sub>:NO de 2,5:1.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Significativa reducción de NO<sub>x</sub>.

**Efectos cruzados:** Energía necesaria para calentar los gases residuales. Uso de amoníaco y pérdida de amoníaco por ausencia de reacción. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** En la industria de fabricación de bobinas de alambre, los gases residuales procedentes de la técnica de disminución, eliminación conectada a los hornos de esmaltado para reducir los COV siguen conteniendo elevados niveles de NO<sub>x</sub>. Estos gases residuales pueden, teóricamente, llevarse hacia un sistema de SNCR.

**Aplicabilidad:** Para industrias que utilicen disolventes que contengan nitrógeno y que liberen cantidades significativas de NO<sub>x</sub>, por ejemplo, tras el secado (evaporación/curado).

Un estudio realizado en Austria para las bobinas de alambre establece que esta técnica permite alcanzar niveles de NO<sub>x</sub> de 100 mg/m<sup>3</sup> (como NO<sub>2</sub>) para disolventes libres de nitrógeno y de 150 mg/m<sup>3</sup> para disolventes que contengan nitrógeno (véanse a continuación los Aspectos económicos).

**Aspectos económicos:** Los costes son superiores a los de la SCR (reducción catalítica selectiva). Los costes de capital por cada 1000 Nm<sup>3</sup>/h ascienden a 7500 – 32 000 EUR, mientras que los costes de explotación por tonelada de NO<sub>x</sub> eliminada se encuentran en el rango de 500 – 5000 EUR.

La SNCR no se aplica en la industria de las bobinas de alambre por motivos económicos.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad del aire local. Contaminación atmosférica transfronteriza.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [54, BMLFUW Austria, 2003, 67, EIPPCB, 2003]

### 20.11.9.2 Reducción catalítica selectiva (SCR)

**Descripción:** Los gases residuales que contengan elevados niveles de NO<sub>x</sub> pueden depurarse mediante SCR. Esta técnica se describe en el BREF CWW. Los NO<sub>x</sub> se reducen por la acción del amoníaco en presencia de un catalizador. La reacción requiere temperaturas de 280 – 400 °C



y se obtiene una eficiencia en la reducción del contenido de  $\text{NO}_x$  de los gases residuales de hasta el 90 % con una relación  $\text{NH}_3:\text{NO}$  de 0,7:1 a 1:1.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Significativa reducción de  $\text{NO}_x$ .

**Efectos cruzados:** Si los gases residuales se conducen hasta una única unidad SCR centralizada, puede necesitarse energía para recalentar dichos gases residuales. En la SCR se utilizan amoníaco y un catalizador. Es probable que se produzcan pérdidas de amoníaco sin reaccionar. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** En la industria de fabricación de bobinas de alambre, los gases residuales procedentes de la técnica de disminución, eliminación conectada a los hornos de esmaltado para reducir los COV siguen conteniendo elevado niveles de  $\text{NO}_x$ . Estos gases residuales pueden, teóricamente, llevarse hacia un sistema de SCR.

**Aplicabilidad:** Aplicable a industrias que utilicen disolventes que contengan nitrógeno y que liberen cantidades significativas de  $\text{NO}_x$ , por ejemplo, tras el secado (evaporación/curado).

Un estudio realizado en Austria para las bobinas de alambre establece que esta técnica permite alcanzar niveles de  $\text{NO}_x$  de  $100 \text{ mg/m}^3$  (como  $\text{NO}_2$ ) para disolventes libres de nitrógeno y de  $150 \text{ mg/m}^3$  para disolventes que contengan nitrógeno (véanse a continuación los Aspectos económicos).

**Aspectos económicos:** Los costes de capital por cada  $1000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  ascienden a 2300 – 3900 EUR, mientras que los costes de explotación por tonelada de  $\text{NO}_x$  eliminada se encuentran en el rango de 700 – 1200 EUR.

Un ejemplo de cálculo para un sistema de disminución, eliminación de  $\text{NO}_x$  para grupos de máquinas de esmaltado de bobinas de alambre con el objetivo de eliminar 44 toneladas de  $\text{NO}_x$  al año muestra una inversión cercana a los 985 000 EUR y unos costes de explotación para calentar el gas y el amoníaco de 11 000 EUR por tonelada de  $\text{NO}_x$  eliminada.

La SCR no se aplica en la industria de las bobinas de alambre por motivos económicos.

En el BREF STM puede encontrarse un ejemplo de cálculo acerca de los aspectos económicos de la disminución, eliminación de  $\text{NO}_x$  utilizando una técnica de SCR en una PYME.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad del aire local. Contaminación atmosférica transfronteriza.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [67, EIPPCB, 2003] [66, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004] [54, BMLFUW Austria, 2003] [128, TWG, 2005] [59, EIPPCB, 2005].

### 20.11.9.3 Lavador de agua

**Descripción:** Los  $\text{NO}_x$  pueden eliminarse de los gases residuales mediante lavado, y la técnica empleada para ello se describe en el BREF CWW. El lavado puede realizarse utilizando una única torre o con múltiples torres y empleando agua o soluciones alcalinas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los óxidos de nitrógeno emitidos están formados en más de un 98 % por  $\text{NO}_2$ . Se pueden alcanzar niveles de  $< 100 \text{ mg/Nm}^3$  utilizando agua, con una eficiencia de eliminación del 95 – 99 %.

**Efectos cruzados:** Los niveles de ruido pueden aumentar.



**Información operativa:** Deben instalarse lavadores en cada una de las salidas de gases residuales o dichos gases residuales deben conducirse de forma conjunta hasta una unidad centralizada de lavado. Un ejemplo de la complejidad de estos sistemas lo encontramos en las instalaciones de fabricación de bobinas de alambre, que pueden tener de 40 a 170 líneas de conducción.

**Aplicabilidad:** Aplicable a industrias que utilicen disolventes que contengan nitrógeno y que liberen cantidades significativas de NO<sub>x</sub>, por ejemplo, tras el secado (evaporación/curado). Esta técnica no se emplea en el sector STS (tratamiento de superficies mediante disolventes orgánicos).

La instalación múltiple o la combinación de flujos hacia un sistema centralizado, combinada con la ausencia de experiencia en la aplicación de esta técnica la convierten en una técnica que es prácticamente inviable en este sector desde el punto de vista técnico y económico.

**Aspectos económicos:** El coste de instalación de múltiples unidades de lavado o la recogida de todos los flujos de gases residuales hasta un punto centralizado de tratamiento es, probablemente, muy elevado.

**Motivo principal para su aplicación:** Calidad del aire local. Contaminación atmosférica transfronteriza.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [94, EIPPCB, 2004] [67, EIPPCB, 2003]. [128, TWG, 2005]

## 20.12 Depuración de aguas residuales

La depuración de aguas residuales puede realizarse en el emplazamiento o fuera de él. La depuración fuera del emplazamiento requiere la descarga de las aguas residuales con bajas concentraciones de contaminantes. En el sector STS, la depuración de las aguas residuales puede convertirse en un problema cuando los productos con base de disolvente se sustituyen por alternativas basadas en agua, por ejemplo, cuando existen disolventes, polímeros y plastificantes solubles en las aguas residuales. La depuración de aguas residuales se describe ampliamente en otros documentos, como el BREF CWW [67, EIPPCB, 2003] y, para este sector, en [93, Agencias del Agua de Francia et al., 2002]. Para obtener más información acerca de las técnicas de depuración de aguas residuales para actividades a base de agua, consulte el BREF STM [59, EIPPCB, 2005].

Las técnicas utilizadas para reducir la cantidad de aguas residuales, incluyendo la depuración de las aguas residuales procedentes de las cabinas de pulverización de pintura, se describen en el apartado 20.7.5.

Allí donde se requiera una depuración, y utilizando las técnicas descritas a continuación y en los documentos arriba mencionados, se pueden alcanzar los siguientes niveles apropiados para este sector [117, ACEA, 2005] [121, Reino Unido et al., 2003]:

- DBO (si se vierten a un río o a aguas controladas) < 100 mg/l,
- DQO (si se vierten en una planta depuradora municipal) < 2500 mg/l,
- sólidos suspendidos (si se vierten en una planta depuradora municipal) < 1000 mg/l.

### 20.12.1 Floculación

**Descripción:** En la floculación, el agua que se descarga es pasada a través de un depósito que contiene un floculante, a menudo un producto de betonita o un poliacrilato, en donde las partículas son absorbidas por un flóculo (o forman un flóculo) alrededor de las moléculas floculantes, separándose así del efluente (véase el apartado 20.12.2).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Retirada de los sólidos precipitables del efluente. Esto puede reducir el DBO y, por tanto, la depuración posterior necesaria en la planta depuradora.

**Efectos cruzados:** Aumento de los fangos residuales.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se puede aplicar a cualquier proceso que incluya sólidos suspendidos en las aguas residuales.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Conformidad con los valores límite para el vertido de aguas residuales.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004] [59, EIPPCB, 2005] [93, Agencias del Agua de Francia et al., 2002] [128, TWG, 2005]

### 20.12.2 Separación

**Descripción:** Tras la floculación (véase el apartado 20.12.1), se pueden aplicar técnicas de flotación, sedimentación o filtración. Para separar el agua y el fango coagulado de las cabinas de pintura, se puede utilizar la sedimentación o la flotación (véase el apartado 20.7.5.8). La flotación y la sedimentación se basan en la diferencia de densidad para conseguir una separación de fases; en la sedimentación, el fango se deposita en el fondo; en la flotación, el fango flota sobre la superficie. El proceso de sedimentación puede mejorarse mediante el uso de una placa paralela o un separador de laminillas, mientras que el proceso de flotación se mejora usando aire disuelto. En el caso de la sedimentación, el fango concentrado es bombeado desde el separador; en la flotación, el fango es raspado mecánicamente de la parte superior del líquido del depósito.

Estas técnicas se describen de forma más detallada en la Bibliografía de referencia.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se reducen los niveles de sólidos, incluyendo algunas sustancias peligrosas.

**Efectos cruzados:** Aumento de la cantidad de residuos.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Estas técnicas se emplean de forma generalizada en el sector de la automoción. En la industria de la fabricación de bobinas de alambre, la emulsión de extracción al agua es tratada por sedimentación y filtración.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** Conformidad con los valores límite para el vertido de aguas residuales.

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizada.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [59, EIPPCB, 2005] [67, EIPPCB, 2003] [76, TWG, 2004] [93, Agencias del Agua de Francia et al., 2002] [128, TWG, 2005]

### 20.12.3 Electrofoculación

**Descripción:** Esta técnica se utiliza para ayudar a reutilizar el agua de proceso y como tratamiento preliminar a la descarga.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de los COV en las aguas residuales. Eliminación de los fangos de pintura mediante desespumado. Reducido consumo de agua.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se utiliza en las plantas de embalajes flexibles que emplean grandes cantidades de tintas al agua, aunque esto no implica que las cantidades de aguas residuales también lo sean. De hecho, la cantidad de aguas residuales contaminadas con tinta que se generan al utilizar tintas al agua es muy escasa, siempre que las técnicas de limpieza estén diseñadas para reducir la cantidad de agua a desechar. En plantas de embalajes flexibles más pequeñas, la cantidad de aguas residuales que contienen tinta puede ser tan pequeña que puedan ser tratadas como un residuo líquido o ser enviadas a una planta depuradora municipal.

**Aspectos económicos:** Los costes de inversión para una instalación con una capacidad de depuración de 15 m<sup>3</sup>/h era de unos 100 000 EUR en el año 1999. La cantidad de agua eliminada dependerá de las cargas de depuración del alcantarillado. La reducción de los costes es posible si en las plantas se introducen restricciones para mejorar la calidad del vertido de efluente.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [76, TWG, 2004] [93, Agencias del Agua de Francia et al., 2002]

### 20.12.4 Destilación a vacío

**Descripción:** La destilación a vacío es una técnica que utiliza vacío para extraer los COV de las aguas residuales. Se trata de un sistema de recuperación por evaporación en el que se aplica vacío para disminuir la presión, de forma que la destilación pueda llevarse a cabo a una temperatura más baja. Esto permite ahorrar costes de calefacción, además de prevenir la formación de sustancias menos estables derivadas de la descomposición producida a las elevadas temperaturas que serían necesarias si se utilizara presión atmosférica.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de los COV en las aguas residuales. Reducidos volúmenes de aguas residuales.

**Efectos cruzados:** Los niveles de ruido pueden aumentar. La energía consumida en los procesos de calentamiento y de bombeo de vacío.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No se utiliza en los talleres de pintura de vehículos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo de Ministros Nórdicos, 1998] [76, TWG, 2004] [93, Agencias del Agua de Francia et al., 2002] [128, TWG, 2005]

### 20.12.5 Depuración biológica

**Descripción:** Si las aguas residuales han sido sometidas a una desintoxicación preliminar y su fracción biodegradable es suficiente, se puede utilizar la depuración biológica.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducidos niveles de DBO y DQO.

**Efectos cruzados:** Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** Las aguas residuales que contengan fenol y fluoruro procedentes de la industria de fabricación de abrasivos o que contengan disolventes de la industria de impresión pueden ser tratadas utilizando un biorreactor o un biofiltro. En la industria de fabricación de abrasivos, la depuración biológica se aplica tras la neutralización, precipitación de fluoruros y filtración.

**Aplicabilidad:** Aplicable tanto a las plantas nuevas como a las ya existentes con aguas residuales que contengan disolventes.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [12, UBA Alemania, 2002] [76, TWG, 2004] [93, Agencias del Agua de Francia et al., 2002] [128, TWG, 2005]

### 20.12.6 Ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa

**Descripción:** En la ultrafiltración (UF), la nanofiltración (NF) y la ósmosis inversa, las aguas contaminadas pasan a través de un diafragma, membrana semipermeable bajo condiciones de alta presión, dejando pasar las pequeñas moléculas como el agua y reteniendo las partículas más grandes. La concentración de la contaminación aumenta a medida que las aguas residuales pasan una y otra vez a través del filtro. La diferencia entre una y otra técnica está en el tamaño del poro de los filtros y, por tanto, en las moléculas que se pueden filtrar.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El residuo filtrado (por ejemplo, pintura o tinta) puede recuperarse y reutilizarse en ciertas ocasiones, mientras que el agua limpia es reciclada o vertida a las aguas residuales (véase el apartado 20.7.5.3). Esta técnica permite reducir los volúmenes de residuos peligrosos generados.

**Efectos cruzados:**

- si no se reciclan, las aguas residuales se vierten al sistema de alcantarillado,
- todos los sistemas de filtración requieren energía,
- los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** Las aguas residuales pueden generarse en las actividades de limpieza, aunque también en las cabinas de pulverización en las que el agua se usa para eliminar la niebla de pulverización producida al pulverizar la pintura, en los procesos de desengrasado o en la aplicación de revestimiento por electroinmersión. En el revestimiento por electroinmersión aplicado en la industria de la automoción y, en general, en el revestimiento de vehículos, la filtración puede utilizarse para reciclar la pintura y para una desmineralización total del agua que permita emplear un

sistema de bucle cerrado (véanse los apartados 20.4.1, 20.4.1.2 y 20.4.1.3). La integración en la gran cascada puede realizarse sin ultrafiltración si se utiliza agua de lavado desmineralizada.

En el desengrasado también se utilizan grandes cantidades de agua. La UF sirve como una medida de mantenimiento del baño en la etapa de desengrasado, que permite obtener (véase el apartado 20.7.5):

- mayor calidad del baño de desengrasado,
- ampliación de la vida útil,
- reducción de los agentes de limpieza necesarios,
- mayor disponibilidad de la planta.

**Aplicabilidad:** Esta técnica se aplica en las plantas de impresión en las que se utiliza grandes cantidades de tintas, pinturas y adhesivos con base de agua, por ejemplo, en la impresión de embalajes. También se utiliza de forma ordinaria en el sector de la automoción y en el revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción.

La selección de la membrana tiene especial importancia, ya que algunos disolventes (especialmente las cetonas y los ésteres) pueden atacar a la membrana e imposibilitar el proceso.

**Aspectos económicos:** En la industria de la automoción, los costes de la instalación de una planta de UF o NF suelen estar en el rango de 0,5 a 1 millón de EUR.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Opel Eisenach GmbH, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [21, Consejo de Ministros Nórdicos, 1998] [18, UBA Alemania, 2003] [13, DFIU e IFARE, 2002] [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004] [93, Agencias del Agua de Francia et al., 2002] [59, EIPPCB, 2005] [128, TWG, 2005]

## 20.13 Minimización de residuos y tratamiento de residuos que contengan disolvente

El punto 3 del Anexo IV de la Directiva IPPC requiere la consideración de *«promover la recuperación y el reciclado de las sustancias generadas en el proceso y de los residuos, allí donde resulte apropiado»*.

Los apartados siguientes muestran las diferentes técnicas utilizadas para minimizar los residuos mediante recuperación y reutilización.

Véase también el apartado 20.6.3 sobre minimización del consumo de materias primas y el apartado 20.7.5 acerca de las medidas para reducir la pérdida de materias primas en el procesamiento de las aguas.

### 20.13.1 Recuperación de los disolventes utilizados en el proceso

**Descripción:** Los disolventes utilizados, por ejemplo, para limpieza, pueden tratarse por filtración o destilación (véanse los apartados 20.13.2.1 y 20.13.2.2) para ser reutilizados. Tanto la recuperación como la reutilización pueden realizarse en el emplazamiento o fuera de él. Así, por ejemplo, en sistemas de limpieza con rascadores o sistemas de purga, los disolventes se utilizan en el emplazamiento para limpiar el sistema después de cada cambio de color (purgado). Los equipos modernos de suministro de pintura incluyen un sistema de recuperación de los disolventes de purga. Los disolventes también pueden desecharse como residuos peligrosos enviándose a una instalación de recuperación de disolventes fuera del emplazamiento. Allí, los disolventes limpios son reutilizados, aunque no necesariamente por el mismo usuario.

La limpieza puede llevarse a cabo en máquinas de lavado en aquellos casos en que los disolventes se recuperen y reutilicen internamente (véase el apartado 20.9). Esta técnica puede aplicarse a los COV halogenados, combinada con sistemas cerrados de almacenamiento y residuos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menor cantidad de residuos peligrosos y menor consumo de disolventes frescos. La reutilización de los residuos peligrosos (en este caso, disolvente) permite ampliar el ciclo de vida útil.

En la industria de la automoción se pueden recuperar normalmente el 80 – 90 % de los disolventes de limpieza y purga.

**Efectos cruzados:** Los niveles de ruido pueden aumentar. Mayor riesgo de almacenamiento de los materiales peligrosos.

**Información operativa:** Para que la filtración y destilación resulten económicas, suelen necesitarse grandes cantidades (varias toneladas a la vez), que suelen contraerse. Esto implica el almacenamiento de grandes cantidades de disolventes, tanto limpios como usados. Dicho almacenamiento debe realizarse de forma adecuada tanto para los disolventes usados recibidos que estén esperando a ser retirados como para los disolventes limpios devueltos. Además, la cantidad de ambos tipos de disolventes debe ser la misma si no se modifica su uso.

En los procesos de tratamiento superficial, los disolventes de las pinturas residuales suelen recuperarse y reutilizarse en actividades de limpieza, mientras que los residuos sólidos restantes se incineran normalmente fuera del emplazamiento.

**Aplicabilidad:** Aplicable en plantas en las que se usen grandes cantidades de disolventes. La recuperación de los agentes de limpieza se aplica de forma ordinaria en:

- plantas de huecograbado de publicaciones, impresión en offset con secado por calor, flexografía y huecograbado de embalajes. Sin embargo, sólo las plantas de huecograbado de publicaciones e impresión en offset utilizan más de 200 litros de agentes de limpieza por semana;
- el revestimiento e impresión de envases metálicos;
- el pintado de muebles, por ejemplo, en el revestimiento de los muebles de madera de cocinas y baños;
- la industria de fabricación de bobinas de alambre;
- la industria de la automoción.

La limpieza de los disolventes de purga se puede aplicar en todos aquellos sectores industriales que utilicen sistemas de tuberías, como en el suministro de pinturas o tintas, y se aplica de forma ordinaria en la industria de la automoción..

Será necesario asegurarse de que los disolventes recuperados por destilación o filtración (o por cualquier otro método) sólo se utilicen en aquellos casos en que cumplan las especificaciones técnicas. Alternativamente, pueden utilizarse para otras aplicaciones o pueden reprocesarse para satisfacer la especificación necesaria (aunque esto suele resultar más caro que comprar disolvente fresco).

**Aspectos económicos:** Se generará un ahorro gracias al menor consumo de disolventes y a la reducida cantidad de residuos peligrosos. En grandes plantas, el ahorro será aproximadamente igual o superior a la inversión. Por ejemplo, los costes de inversión para la recuperación de los agentes de limpieza pueden estar en el rango de 3000 - 150 000 EUR, dependiendo del tamaño, la capacidad del depósito y la automatización, entre otros.

La reutilización de los disolventes peligrosos usados es una actividad rentable. La utilización de los disolventes peligrosos usados resulta productiva para empresas que generen disolventes usados, ya que no tienen que pagar por la eliminación de los residuos peligrosos. Las empresas que procese los disolventes usados obtienen la cantidad necesaria de disolventes de forma muy



económica, mientras que el usuario final que necesita procesar los disolventes usados en sus procesos de fabricación obtiene las materias primas a un precio competitivo.

La instalación de un sistema estándar de recuperación de disolvente en la industria de la automoción cuesta 400 000 EUR por cada cabina de pulverización.

**Motivo principal para su aplicación:** Reciclado del disolvente y reducción de las emisiones de COV.

**Ejemplos de instalaciones:** Plantas de Ford en Europa.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [13, DFIU e IFARE, 2002] [62, CITEPA, 2003] [68, ACEA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

## 20.13.2 Tratamiento de los disolventes usados para su reutilización

### 20.13.2.1 Filtración

Véase también el apartado 20.13.1.

**Descripción:** Las soluciones de limpieza que estén sucias, por ejemplo con HBS (disolventes con elevado punto de ebullición) o VCA (agentes limpiadores vegetales) se pueden filtrar. Los disolventes se pueden reutilizar y, normalmente, el residuo acuoso puede enviarse al sistema de depuración municipal.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Menor cantidad de aguas residuales y menor uso de disolventes frescos.

**Efectos cruzados:** La filtración requiere energía y el residuo acuoso es desechado. Los niveles de ruido pueden aumentar. El impacto sobre el entorno acuático no ha sido suficientemente considerado. Cualquier HBS o VCA disuelto afectará de forma drástica a la demanda química de oxígeno (DQO) y a la demanda biológica de oxígeno (DBO) del agua que se está vertiendo al sistema de depuración municipal.

**Información operativa:** En los Países Bajos se han llevado a cabo experimentos con agentes de limpieza de baja volatilidad en máquinas de limpieza para la fabricación de embalajes flexibles. La filtración y reutilización de estos agentes de limpieza es una parte importante de estos experimentos.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [18, UBA Alemania, 2003] [76, TWG, 2004]

### 20.13.2.2 Destilación

Véase también el apartado 20.13.1.

**Descripción:** Los residuos de base disolvente como las tintas, pinturas y adhesivos se pueden destilar para recuperar el disolvente y para reducir la cantidad de residuos peligrosos. Para ello, existen equipos de destilación especiales.



**Beneficios ambientales obtenidos:** La cantidad de residuos peligrosos se reduce y el disolvente se puede reutilizar, por ejemplo, para tareas de limpieza.

**Efectos cruzados:** La destilación requiere energía. Sin embargo, en comparación con la incineración, que genera CO<sub>2</sub> y que también requiere energía, es más probable que la destilación y reutilización permitan ahorrar energía. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** El equipo de destilación debe instalarse y utilizarse de forma prudente. Los agentes de limpieza con elevado punto de inflamación suelen tener también un elevado punto de ebullición. Para dichos disolventes, sólo se pueden utilizar equipos de destilación a vacío (véase el apartado 20.12.4); en estas situaciones, se puede utilizar la filtración por membrana (véase el apartado 20.12.6). Se ha descrito que existen unidades de destilación a vacío relativamente pequeñas (50 litros) fácilmente disponibles. Además, la filtración por membrana puede resultar cara y muchos de los disolventes utilizados pueden atacar a la membrana.

También existen máquinas de limpieza que disponen de un equipo de destilación acoplado.

En las plantas de huecograbado de publicaciones (en donde el tolueno es el único diluyente de las tintas), el equipo empleado para la destilación de los agentes de limpieza también puede utilizarse, si es adecuado, para la tinta residual. No obstante, la destilación de la tinta residual no resulta rentable.

**Aplicabilidad:** Aplicable tanto en instalaciones nuevas como en las ya existentes. Aplicable a tintas y adhesivos basados en disolvente.

En el huecograbado de publicaciones no se lleva a cabo ninguna destilación de tinta residual, ya que sólo se utilizan cuatro colores y los residuos son escasos.

En el huecograbado de embalajes, la destilación de las tintas residuales se usa cada vez menos, ya que el mezclado automatizado de las tintas reduce la cantidad de tinta residual (véase el apartado 20.6.3.1).

Allí donde la destilación en el emplazamiento no resulte rentable, se pueden utilizar destiladores externos, como sucede en el huecograbado de publicaciones.

Se usa en la industria de la automoción si los disolventes recuperados pueden utilizarse en procesos que tengan un menor requisito de calidad, como en la limpieza general.

**Aspectos económicos:** Los costes de inversión mínimos son de 10 000 EUR para las plantas de destilación a vacío más pequeñas, y aumentan en función del tamaño, la capacidad del depósito y la automatización, entre otros. Existe un coste adicional si el equipo existente se puede utilizar para destilar los agentes de limpieza.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [14, DFIU e IFARE, 2002] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.13.3 Toallitas de limpieza desechables

**Descripción:** La limpieza puede realizarse utilizando toallitas desechables o reutilizables. Una vez sucias, las toallitas desechables se tiran y se tratan como residuos peligrosos. Esto suele implicar un proceso de incineración.

Las toallitas desechables suelen fabricarse con fibras sintéticas y pueden contener, por unidad de peso, mucho más agente de limpieza y suciedad que las toallitas reutilizables. Una vez utilizadas, se incineran junto con su contaminación. Puesto que las toallitas desechables son ligeras, la incineración del fango procedente de la limpieza de las toallitas reutilizables ofrece escasas ventajas con respecto a la incineración de las toallitas totalmente desechables.

Las toallitas desechables presentan propiedades de adsorción muy superiores a las toallitas reutilizables, por lo que se requiere menor peso y volumen. En consecuencia, el volumen de transporte involucrado también es mucho menor.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No existen claras diferencias ambientales entre las toallitas reutilizables y las desechables. No existe una preferencia ambiental por ninguna de ellas.

**Efectos cruzados:** Las materias primas que se consumen en la producción de toallitas desechables.

**Información operativa:** Un factor importante en la elección de las toallitas desechables es el daño que puede provocar una toallita reutilizable sobre superficies muy sensibles como las placas offset y los cilindros de huecograbado, ya que ésta no está totalmente libre de la contaminación de usos anteriores.

**Aplicabilidad:** Las toallitas desechables se utilizan de forma ordinaria en todo tipo de industrias, por ejemplo, en la industria de impresión y en tratamientos superficiales.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

#### 20.13.4 Toallitas de limpieza reutilizables

**Descripción:** La limpieza puede realizarse utilizando toallitas desechables o reutilizables. Las toallitas reutilizables suelen ser alquiladas. Una vez sucias, se devuelven a la empresa de alquiler, que las lava y las vuelve a poner en circulación.

Las toallitas reutilizables están fabricadas en fibras textiles naturales. Una vez utilizadas, se lavan con disolventes y se secan. El disolvente contaminado se destila y el fango se incinera como residuo peligroso. Los procesos de lavado, secado y destilación a los que se someten las toallitas reutilizables generan emisiones de disolventes.

Dado que las toallitas reutilizables son mucho menos adsorbentes que las desechables, se necesita un peso y un volumen mucho mayor. En consecuencia, el volumen de transporte involucrado también será mayor para la misma cantidad de limpieza. Sin embargo, las toallitas reutilizables generan menos residuos que las toallitas desechables.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No existen claras diferencias ambientales entre las toallitas reutilizables y las desechables. No existe una preferencia ambiental por ninguna de ellas.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Las toallitas reutilizables son más resistentes y gruesas que las desechables. Esto las convierte en más adecuadas para el uso en situaciones en las que la

limpieza del objeto requiera fuerza manual o movimiento repetitivo. Esta fuerza no se usa sobre superficies delicadas.

**Aplicabilidad:** Las toallitas reutilizables se utilizan de forma ordinaria en todo tipo de industrias, por ejemplo, en la industria de impresión y en tratamientos superficiales.

Las toallitas de limpieza reutilizables son mucho más resistentes para el acabado de piezas de trabajo de madera.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [18, UBA Alemania, 2003] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004]

### 20.13.5 Recuperación de los disolventes utilizados con las toallitas

**Descripción:** La mayoría de los disolventes de las toallitas se eliminan por drenaje por gravedad, con un escurridor o una centrífuga antes de transportarse.

Esta técnica es una respuesta a la mala práctica de utilizar demasiado disolvente y de verter el exceso de disolventes usados sobre las toallitas con el fin de no tener que desecharlo de forma independiente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Los disolventes recuperados se pueden utilizar de nuevo para tareas de limpieza o, si están demasiado sucios, se pueden destilar y reutilizar (véase el apartado 20.13.2.2). El peso a transportar es menor. Reducidas emisiones durante el almacenamiento y transporte.

**Efectos cruzados:** Emisiones en el emplazamiento derivadas de la manipulación necesaria para retirar los disolventes de las toallitas. Los niveles de ruido pueden aumentar.

**Información operativa:** Aplicado de forma ordinaria en la industria de impresión en los EE.UU.

**Aplicabilidad:** Aplicable a todas las plantas de impresión que utilicen toallitas con disolventes. Las toallitas pueden ser reutilizables o desechables.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [53, US EPA et al., 2003] [76, TWG, 2004]

### 20.13.6 Contenedores reutilizables

**Descripción:** Muchas materias primas se suministran en contenedores reutilizables como los IBC (grandes recipientes para mercancías a granel) con capacidad aproximada de 1 tonelada, bidones metálicos estándar de 200 litros, etc. Estos contenedores pueden devolverse y ser reutilizados para el envasado de disolventes. La incorporación de un revestimiento que no

reaccione con el contenido y que pueda desecharse permite eliminar los daños en el bidón abierto de 200 litros y hacer que la reutilización sea más sencilla.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de residuos.

**Efectos cruzados:** Antes de la reutilización, los contenedores deben limpiarse, normalmente fuera del emplazamiento.

**Información operativa:** Las grandes plantas de impresión con offset utilizan un suministro directo de tinta utilizando sistemas de tuberías. Los disolventes utilizados como agentes de limpieza se almacenan normalmente en contenedores reutilizables. Con menos contenedores de residuos y utilizando contenedores grandes es posible el suministro directo de tinta a las prensas mediante tuberías.

Se podría considerar una desventaja el hecho de que para reutilizar los contenedores de tinta y disolventes vacíos es necesario devolverlos a los fabricantes. Puesto que el comercio de tintas es internacional, los contenedores metálicos vacíos deberían recogerse, almacenarse y enviarse por toda Europa.

**Aplicabilidad:** Aplicables a todas las plantas que utilizan grandes cantidades de materiales. En la impresión con offset rotativa con secado por al calor, los colores estándar de las tintas de offset se suministran en contenedores reutilizables.

En el caso de embalajes flexibles, el gran número de colores utilizados limita su aplicabilidad, ya que la cantidad por cada color no compensa que los recipientes sean devueltos al proveedor, con la posible excepción de la tinta blanca, algunas pinturas y algunos adhesivos. Los contenedores en los que se han suministrado las tintas se reutilizan de forma interna y se emplean para mezclar colores, diluir tintas y transportar las tintas a las prensas. Con frecuencia, son limpiados y reutilizados muchas veces.

Los contenedores a granel reutilizables para pintura normalmente se usan en plantas de revestimiento de bobinas. También se utilizan en el suministro para la industria de bobinas de alambre y son devueltos al proveedor después de su uso.

**Aspectos económicos:** Las tintas y disolventes suministrados en grandes cantidades utilizando contenedores a granel reutilizables normalmente son más baratos y producen menos residuos.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [4, Intergraf y EGF, 1999] [58, ECCA, 2004] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.13.7 Tratamiento del carbón activo utilizado

La adsorción se puede utilizar para tratar los gases residuales (véase el apartado 20.11.6.1). Cuando la superficie del adsorbente ha adsorbido casi todo lo que puede, la eficiencia de la adsorción disminuye. A continuación, el adsorbente es normalmente regenerado mediante la desorción de los disolventes (y otros materiales) retenidos. Esta operación puede realizarse en el emplazamiento (véase el apartado 20.11.6.1) o fuera de él (véase el apartado 20.13.7.2). El adsorbente también recoge materiales que no han sido desorbidos y que ocupan proporciones cada vez mayores de la superficie, lo que implica un descenso de la eficiencia de eliminación de los contaminantes objetivo. El adsorbente puede regenerarse utilizando un tratamiento térmico (véase el apartado 20.13.7.1)

### 20.13.7.1 Recuperación en el emplazamiento del carbón activo y de otros adsorbentes utilizados

**Descripción:** Al igual que los disolventes en los gases residuales, el carbón también adsorbe materiales que no se desorben en el proceso de regeneración/eliminación del disolvente (véase el apartado 20.11.6.1), como los disolventes, los retardantes y los plastificantes no recuperables. Esto provoca una disminución de la eficiencia del adsorbente utilizado después de un período de tiempo. El adsorbente puede, en algunos casos, regenerarse en el emplazamiento o fuera de él utilizando un tratamiento térmico.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Amplía la vida del adsorbente.

**Efectos cruzados:** Energía utilizada en la regeneración. El tratamiento térmico puede ocasionar emisiones derivadas de los materiales adsorbidos y los productos de su degradación.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** Se producen ahorros en la compra de adsorbente fresco; sin embargo, deben considerarse los costes energéticos.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005].

### 20.13.7.2 Regeneración/eliminación fuera del emplazamiento de disolventes del carbón activo y de otros adsorbentes utilizados

**Descripción:** Los gases residuales cargados con los disolventes son conducidos a través de un adsorbente con carbón activo u otro adsorbente, que puede ser un recipiente metálico que contiene el adsorbente y que se coloca en el orificio de ventilación. Una vez saturado el recipiente con el adsorbente, se devuelve al proveedor para ser regenerado. Cuando el gas residual contiene diferentes disolventes, la recuperación de éstos es un proceso complicado y, en este caso, la regeneración pueden llevarla a cabo de forma más efectiva empresas especializadas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción del consumo de adsorbentes.

**Efectos cruzados:** La regeneración fuera del emplazamiento exige un tipo de adsorbente lo suficientemente fuerte para ser transportado.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Los recipientes metálicos son especialmente adecuados para caudales pequeños con poca carga; las cargas altas necesitarían cambios frecuentes de cartuchos. Estos se utilizan normalmente para eliminar olores.

Especialmente adecuado para plantas que utilizan un solo tipo de disolvente.

No se aplica en los talleres de pintura de vehículos, pero sí en talleres de pintura de otras piezas dentro de la industria de la automoción.

**Aspectos económicos:** Para un caudal de aire de 7000 m<sup>3</sup>/h y más de 20 t/a de disolventes, los costes superan los EUR 100 000 al año. Sin embargo, para caudales pequeños, el uso de recipientes metálicos es un sistema que necesita una baja inversión.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminimal, et al., 2002] [14, DFIU e IFARE, 2002] [60, ESIG, 2000] [75, Jansen, 2005] [76, TWG, 2004] [128, TWG, 2005]

### 20.13.7.3 Incineración del carbón activo y de otros adsorbentes utilizados

**Descripción:** Si no es posible regenerar el carbón activo u otros adsorbentes, lo normal es que sean incinerados.

**Beneficios ambientales obtenidos:** El carbón u otros adsorbentes de un solo uso pueden normalmente adsorber más disolventes que aquellos que pueden ser regenerados.

**Efectos cruzados:** La cantidad total que hay que incinerar es mayor porque no sólo se incinera el disolvente, sino también el carbón y, por tanto, se consume mayor cantidad de carbón.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [35, Aminimal, et al., 2002] [14, DFIU e IFARE, 2002] [60, ESIG, 2000] [128, TWG, 2005].

## 20.13.8 Fangos de aguas residuales

Las técnicas de tratamiento y gestión de los fangos de aguas residuales se describen de forma más detallada en el BREF STM [59, EIPPCB, 2005] en el BREF CWW [67, EIPPCB, 2003], y en textos especializados como [93, Agencias del Agua de Francia, et al., 2002].

### 20.13.8.1 Centrífugas

**Descripción:** Las centrífugas se utilizan para el drenaje forzado de los fangos de pintura. Los fangos de pintura se desechan, mientras que el fluido normalmente se incorpora al proceso de depuración.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Manejo más sencillo de los residuos. Hay que desechar menos residuos sólidos o fangosos.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Pueden alcanzarse contenidos de agua de entre el 50 y el 70 %.

**Aplicabilidad:** Estas técnicas se aplican en la industria de la automoción si el contenido de agua después de la sedimentación o flotación sigue siendo alto. En el caso de fangos fosfatados, pueden utilizarse filtros prensa.

**Aspectos económicos:** Costes más bajos de transporte y de desecho de fangos de pintura.

**Motivo principal para su aplicación:** Reducción de costes, requisitos legales.

**Ejemplos de instalaciones:** VW, Emden, Alemania.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2005] [76, TWG, 2004]

### 20.13.8.2 Filtros prensa

**Descripción:** A menudo, se extrae el agua de los fangos fosfatados procedentes de la sedimentación (como por ejemplo de un separador de laminillas) utilizando filtros prensa con filtros de tela.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Manejo y desecho más sencillos de los residuos. Reducción del volumen y peso de los residuos.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Pueden alcanzarse contenidos de agua de entre el 40 y el 60 %.

**Aplicabilidad:** Estas técnicas se aplican frecuentemente en la industria de la automoción.

**Aspectos económicos:** Costes más bajos de transporte y de desecho de fangos de pintura.

**Motivo principal para su aplicación:** Reducción de costes, requisitos legales.

**Ejemplos de instalaciones:** Aplicado frecuentemente.

**Bibliografía de referencia:** [59, EIPPCB, 2005] [76, TWG, 2004]

## 20.14 Disminución, eliminación de polvo

Para más información sobre técnicas de proceso para la reducción de emisiones de polvo o partículas de las cabinas de pulverización, consulte los apartados 20.7.4.1, 20.7.4.2 y 20.7.4.3. Para la reducción de polvo de final de línea (end-of-pipe), consulte el apartado 20.11.3 (Pretratamiento de gases residuales).

## 20.15 Disminución, eliminación de olores

Muchos procesos que utilizan disolventes pueden ocasionar impactos por olores. Sin embargo, las medidas de proceso y de final de línea (end-of-pipe) para gases residuales que intentan reducir las emisiones de disolventes así como la instalación de chimeneas altas para las emisiones de gases residuales también resuelven este problema, véanse los apartados 20.10 (Sustitución) y 20.11 (Tratamiento de gases residuales).



### 20.15.1 Tanques de venteo durante las entregas de materiales de base disolvente

**Descripción:** Durante las entregas de materiales que contienen disolventes, se purgan los gases de las tuberías y de la parte superior del tanque o bien estos elementos son retroemitidos (véase el apartado 20.2.2). Cuando la retroventilación no se utiliza o es impracticable debido, por ejemplo, a tuberías largas, contrapresión, o acuerdos contractuales sobre las entregas, y se utilizan orificios de ventilación, estos deberían situarse de forma que eviten la emisión de olores molestos fuera del emplazamiento.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Aplicado frecuentemente.

**Bibliografía de referencia:** [121, Reino Unido, et al., 2003] [128, TWG, 2005] [164, Verspoor, 2006]

## 20.16 Reducción de ruido

**Descripción:** Es una buena práctica reducir el ruido de la instalación de forma que el impacto no sea significativo. El ruido puede generarse:

- durante el proceso, especialmente por maquinaria de rápido movimiento (como plegadoras y guillotinas en procesos de impresión, equipos de estampación y embutición, transportadores de movimiento rápido, etc.).
- mediante actividades y equipos asociados como compresores de aire, sistemas de extracción de aire/gases residuales, oxidantes de gases residuales, etc.

El ruido puede eliminarse o reducirse mediante:

- soluciones de ingeniería y de proceso:
  - implantación de medidas de ingeniería de control de ruido cuando sea necesario, como la instalación de silenciadores para grandes ventiladores o el uso de cerramientos acústicos,
  - evitando la selección de equipos con niveles de ruido altos o tonales, etc.
  - situando prensas y otras fuentes de ruido en lugares cerrados,
- sistemas de gestión:
  - mantenimiento preventivo eficaz en plantas ruidosas, por ejemplo, sustituyendo los cojinetes en los motores de los ventiladores,
  - gestionando el transporte de las entregas que puedan tener un impacto local mediante la reducción del número de entregas o gestionando la hora de las entregas,
  - el funcionamiento eficaz de la planta que incluye el cierre de las puertas de los compartimentos de descarga y de los lugares de trabajo.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de ruido. El mantenimiento preventivo eficaz de ventiladores y motores puede reducir la demanda de energía.

**Efectos cruzados:** El uso de silenciadores puede provocar aumentos de energía al aumentar las caídas de presión.

El uso de puertas cerradas en los compartimentos puede aumentar la demanda de ventilación y refrigeración interior.

**Información operativa:** Específica de cada emplazamiento.

**Aplicabilidad:** Aplicable a plantas nuevas y existentes de impresión con secado por calor y huecogrado de publicaciones (donde las plegadoras y guillotinas suelen estar en lugares cerrados), pero no en procesos de impresión rotativa (donde el producto está en rodillos).

**Aspectos económicos:** Específicos de cada caso, pero normalmente no se recupera la inversión. Aumento del coste de la ventilación al cerrar las puertas de los compartimentos de descarga y de los lugares de trabajo.

**Motivo principal para su aplicación:** Evitar quejas por ruido. Cumplimiento de la legislación sobre salud laboral (que a menudo tiene como resultado situar las fuentes de ruido en lugares cerrados evitando así niveles altos fuera de la instalación).

**Ejemplos de instalaciones:** Ampliamente utilizado.

**Bibliografía de referencia:** [111, Eurofer, 2003] [128, TWG, 2005]

## 21 MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA EL TRATAMIENTO DE SUPERFICIES MEDIANTE DISOLVENTES ORGÁNICOS

### Introducción

Para entender este capítulo y sus contenidos el lector debe volver al prefacio de este documento y, en particular, al apartado quinto del prefacio: «Cómo entender y utilizar este documento». Las técnicas y los niveles, o intervalos de niveles, de consumo o emisión asociados que se presentan en este capítulo han sido valorados mediante un proceso repetitivo que incluyó las siguientes etapas:

- identificación de los asuntos ambientales clave para el tratamiento de las superficies mediante disolventes orgánicos: estos asuntos están relacionados con emisiones de disolventes a la atmósfera, consumo de energía, vertidos de disolventes a las aguas (especialmente a las aguas subterráneas), contaminación del suelo por disolventes, y residuos,
- examen de las técnicas más importantes para ocuparse de estos asuntos clave,
- identificación de los mejores niveles de rendimiento ambiental, basándose en los datos disponibles de la Unión Europea y del resto del mundo,
- examen de las condiciones bajo las que se alcanzaron estos niveles de rendimiento como costes, efectos cruzados, motivo principal para la implantación de las técnicas,
- selección de las mejores técnicas disponibles (MTD) y los niveles de consumo o emisión asociados para este sector en sentido general, todo ello según el apartado 11 del artículo 2 y el anexo IV de la Directiva.

Las opiniones de los expertos de la Oficina Europea de IPPC y del grupo de trabajo técnico (TWG) han sido de vital importancia en cada una de las fases y en el modo en el que se presenta la información en este documento.

Sobre la base de su valoración, se presentan en este capítulo técnicas, y en la medida de lo posible, niveles de emisión y consumo asociados al uso de MTD consideradas apropiadas para el sector en general y que en muchos casos reflejan el rendimiento actual de algunas instalaciones del sector. En caso de proporcionar datos sobre niveles de consumo y emisiones «asociados a las mejores técnicas disponibles», éstos deberán interpretarse como los resultados que propiciaría la aplicación de las técnicas descritas, teniendo siempre presente el equilibrio entre costes y ventajas que caracteriza a las MTD. No se trata, pues, de fijar niveles límites de emisiones o consumo y no deberían interpretarse como tales. En algunos casos puede que sea técnicamente posible lograr mejores niveles de emisión o de consumo, pero a causa de los costes o de los efectos cruzados, esas MTD no se consideran apropiadas para el conjunto del sector. Sin embargo, es posible que esos niveles se consideren justificados en casos concretos en los que existan motivos especiales para su implantación.

Los niveles de emisión y consumo asociados al empleo de MTD deben considerarse conjuntamente con las condiciones especiales que se indiquen en cada caso (por ejemplo los períodos medios).

El concepto de «niveles asociados a las MTD» anteriormente descrito debe distinguirse del «nivel alcanzable» utilizado hasta ahora en el presente documento. Cuando un nivel se considera «alcanzable» a partir del uso de una técnica concreta o de un conjunto de ellas, debería entenderse como el resultado esperado a lo largo de un período de tiempo considerable, con la explotación y el mantenimiento correctos de las instalaciones donde se utilizan esas técnicas.

Siempre que se disponía de datos sobre costes, éstos se han aportado junto con la descripción de la técnica analizada en el capítulo anterior. Con ello se pretendía dar una indicación aproximada de alcance económico de los costes. Sin embargo, los costes reales de aplicar una técnica

dependen en gran medida de las condiciones locales relativas, por ejemplo, de los impuestos o las tasas, así como de las características técnicas de la propia instalación. En el presente documento resulta imposible evaluar exhaustivamente esos factores que dependen específicamente de las instalaciones. A falta de datos se aportarán conclusiones sobre la viabilidad económica de las técnicas descritas a partir de la observación de las instalaciones existentes.

En este capítulo se busca aportar MTD generales que sirvan de punto de referencia para contrastar el rendimiento actual de las instalaciones existentes o sobre las que basar propuestas para instalaciones nuevas. Así, se intenta que resulten útiles al determinar las condiciones más apropiadas basadas en la MTD para cada emplazamiento o a la hora de establecer normas vinculantes generales como señala el apartado 8 del artículo 9, en previsión de que las nuevas instalaciones puedan diseñarse de modo que su funcionamiento cumpla o incluso supere los niveles generales establecidos en las MTD tratadas. También se analiza si las instalaciones existentes podrían alcanzar o superar los niveles indicados en las MTD generales en función de la aplicabilidad técnica y económica de las técnicas presentadas en cada caso.

Los documentos de referencia sobre MTD no crean un marco legal vinculante, sino que su objetivo es aportar información que sirva de guía a la industria, los Estados miembros y el público sobre los niveles de emisión y consumo alcanzables a partir del empleo de determinadas técnicas. Los valores límite concretos aplicables en cada caso deberán determinarse tomando en consideración los objetivos de la Directiva IPPC y los condicionantes locales.

### **Ayudas para comprender este capítulo**

1. El sector del «tratamiento de superficies mediante disolventes» incluye a un amplio grupo de industrias que presentan diferencias en su complejidad, tamaño y naturaleza de la actividad y que se detallan entre los capítulos del 2 al 19. Las técnicas consideradas para determinar las MTD se incluyen en el apartado 4 de cada uno de dichos capítulos. Sin embargo, en todas las industrias aparecen los mismos aspectos ambientales clave y las técnicas que se ocupan de ellos han sido consideradas para su aplicación genérica en más de una industria, por lo que la mayoría de las técnicas se describen en el capítulo 20. Así, se recomienda leer este capítulo de MTD (capítulo 21) junto con el capítulo 20, así como todos los apartados 4 incluidos en los capítulos del 2 al 19, que describen las industrias relevantes. Para ayudar al lector, las referencias cruzadas al capítulo 20 y otros apartados relevantes se incluyen en este capítulo (capítulo 21).

2. En este capítulo, las conclusiones de MTD para el sector se exponen en dos niveles. El apartado 21.1 se ocupa de conclusiones de MTD genéricas, es decir, de las que se aplican generalmente a todo el sector. Los apartados a partir del 21.2 incluyen conclusiones de MTD para industrias específicas. De esta forma, las MTD para una instalación específica de tratamiento de superficies son una combinación de:

- las técnicas generales o comunes del sector (apartado 21.1);
- las técnicas específicas de las industrias aplicables a un caso en particular (del apartado 21.2 en adelante).

En caso de encontrar excepciones debido a que una MTD no sea aplicable en determinadas circunstancias o casos, se mencionará en el apartado apropiado.

3. Siempre que los procesos de tratamiento de superficies a base de agua (según la definición del anexo 2.6 de la Directiva IPPC) se realicen de forma conjunta con procesos a base de disolventes (según la definición del anexo 6.7 de la Directiva IPPC), las MTD para los tratamientos a base de agua pueden encontrarse en el BREF STM<sup>6</sup>. El BREF STM se aplica

---

<sup>6</sup> El documento de referencia sobre las MTD en el ámbito del tratamiento de superficies de metales y plásticos [59, EIPPCB, 2005]

principalmente a tratamientos de limpieza/desengrasado, pasivación, fosfatación o cualquier otro tratamiento químico a base de agua, así como al lavado con agua. Este documento describe las técnicas y las MTD asociadas para la sustitución de procesos de base disolvente con procesos de base acuosa.

4. Las técnicas adicionales y la información de apoyo puede encontrarse en otros documentos de referencia IPPC, en particular el BREF CWW<sup>7</sup>, el BREF sobre Almacenamiento<sup>8</sup> y el REF sobre Supervisión<sup>9</sup>. Las conclusiones de MTD de estos documentos no han sido validadas para los procesos de recubrimiento con disolventes, pero siempre que existan condiciones químicas o físicas similares y considerando la viabilidad económica, las conclusiones pueden aplicarse a este sector.

### Aspectos clave para ayudar a los lectores de este capítulo

Durante la preparación de este documento surgieron algunos aspectos importantes relacionados con el medio ambiente. El conocimiento de estos aspectos puede ayudar a los lectores:

5. Muchas instalaciones de este sector están ya sujetas, en algunos casos desde hace años, a normativas específicas sobre las emisiones a la atmósfera. Las normativas han incluido la aplicación de valores límite de emisión (ELV) para algunas sustancias emitidas a la atmósfera. En particular, la Directiva del Consejo 1999/13/CE (la Directiva sobre emisiones de disolventes) incluye ELV para gases residuales, emisiones totales y fugitivas además de un esquema alternativo de reducción con emisiones objetivo y directrices para reemplazar los disolventes peligrosos (sustitución), (véanse el prefacio y el anexo 24.2).

6. Al interpretar los niveles de emisión y los niveles de rendimiento asociados al uso de MTD descritos en este capítulo, el lector debe comprender que:

- los valores de emisión y rendimiento considerados asociados al uso de MTD no son los mismos que los valores límite de emisión (ELV), especialmente en la SED (véase la introducción);
- en la UE, cuando hay un asunto de competencia nacional o local, los ELV se establecen e imponen de diferentes formas;
- el cumplimiento con los ELV de los permisos y la legislación tiene como resultado valores de emisión y rendimiento inferiores a dichos ELV;
- los valores de emisión pueden expresarse de diferentes formas, como medias sobre diferentes escalas temporales (p. ej., una hora, 24 horas, en todo momento), en diferentes términos de concentración (p. ej. Mg C/Nm<sup>3</sup>, mg COV/m<sup>3</sup>, etc.);
- los niveles de emisión y los de rendimiento asociados al uso de MTD se expresan en términos relacionados con la producción siempre que sea posible (tales como COV como porcentaje en peso de aporte de sólidos de tinta, g/m<sup>2</sup> de zona galvanizada, kg de COV por kg de aporte de sólidos, etc.) En la mayoría de los casos, los términos se refieren a la SED, y la industria y los legisladores los utilizan para mostrar el cumplimiento con los ELV o el esquema de reducción de la SED. Los mismos términos se utilizan aquí para aprovechar los datos existentes y obtener coherencia. Dichos términos se explican con más detalle en el anexo 24.2.

<sup>7</sup> El documento de referencia sobre las MTD en el ámbito de la gestión y tratamiento de aguas residuales y gases residuales en el sector químico 67 EIPPCB (2003). «Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en sistemas de gestión y tratamiento de aguas residuales y gases residuales en el sector químico», Comisión Europea.

<sup>8</sup> El documento de referencia sobre las MTD en el ámbito de las emisiones generadas por el almacenamiento 91 EIPPCB (2005). «Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en el ámbito de las emisiones generadas por el almacenamiento».

<sup>9</sup> El documento de referencia sobre principios generales de supervisión 113 EIPPCB (2003). «Documento de referencia sobre principios generales de supervisión».

7. Las MTD necesitan que los costes, beneficios y efectos cruzados sean considerados (véase la introducción). Por ello, no se prevé el funcionamiento de una instalación con todos los parámetros en los niveles más bajos de todos los rangos asociados al uso de MTD.

8. La velocidad a la que una MTD o una selección de ellas puede implantarse en una instalación, y la situación de dicha instalación en rangos de niveles asociados a las MTD, depende de factores como (véase [97, EIPPCB, 2005]):

- el hecho de que la instalación sea nueva o no, y la antigüedad y el diseño de los equipos;
- la posición de la instalación en su ciclo de inversiones;
- la complejidad de los procesos y la selección real de técnicas en funcionamiento;
- para una planta nueva o una actualización importante, el grado de compromiso con una selección de técnicas;
- la capacidad de producción, los volúmenes y la mezcla de productos que se producen;
- el tipo de tratamientos aplicados y los requisitos de calidad (como ajuste de colores);
- el espacio disponible;
- coste, «disponibilidad» y solidez de las técnicas en la escala temporal exigida por el titular;
- el tiempo necesario para modificar actividades (incluyendo cambios estructurales) en la instalación y cómo se optimizan estos cambios con los requisitos de producción;
- el impacto en los costes, beneficios y los efectos cruzados de una reducción continua de las emisiones de disolventes;
- técnicas nuevas y emergentes que pueden ayudar a conseguir emisiones de COV más bajas con menores costes financieros y cruzados.

9. Desarrollo: algunos titulares o proveedores pueden obtener resultados satisfactorios con una técnica que otros han utilizado sin éxito en situaciones aparentemente iguales o que no han considerado como inversión que permita obtener resultados ambientales garantizados. El período de desarrollo puede ser largo (años) antes de que una técnica funcione de forma estable en sus niveles de consumo o emisión más bajos, de que sea totalmente comercial o pueda aplicarse a otras actividades.

10. Las mejoras ambientales no tendrán que alcanzarse necesariamente de forma constante (p. ej. año a año, reducción del 2 % en emisiones, mejora de 5 g/m<sup>2</sup> cada cinco años, etc.), puesto que los cambios importantes pueden depender de, por ejemplo, la inversión de capital, el trabajo principal de ingeniería y la disponibilidad de sustitutos en el mercado, tal y como se ha mencionado anteriormente.

11. La demanda del cliente (incluyendo los clientes internos, como los departamentos de marketing) puede ejercer presión de dos formas:

- de forma contraria a las mejoras ambientales, solicitando el uso de tratamientos o la obtención de acabados que sólo pueden conseguirse utilizando técnicas que consumen cantidades importantes de disolventes de COV con emisiones asociadas, como por ejemplo los acabados de pintura metálica para autobuses;
- en el mismo sentido que las mejoras ambientales puesto que algunos acabados o estándares sólo pueden conseguirse utilizando procesos sin disolventes o con bajo contenido en disolventes, como por ejemplo los adhesivos de dos componentes en embalaje flexible.

## 21.1 Mejores técnicas disponibles aplicables a todas las industrias del sector

### MTD PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL

Varias técnicas de gestión ambiental se determinan como MTD. El alcance (p. ej. nivel de detalle) y naturaleza de los sistemas de gestión ambiental (SGA, p. ej. estandarizados o no estandarizados) se relacionarán generalmente con la naturaleza, escala y complejidad de la instalación y el rango de impactos ambientales que pueden producir.

12. Es MTD implantar y adherirse a un sistema de gestión ambiental (SGA) que incorpore, adecuándose a las circunstancias individuales, las siguientes características (véase el apartado 20.1.1):

- definición de una política ambiental para la instalación por parte de la dirección superior de la empresa (el compromiso de la dirección superior se considera una condición previa para la aplicación con éxito de otras características del SGA);
- planificación y establecimiento de los procedimientos necesarios;
- implantación de los procedimientos prestando especial atención a:
  - estructura y responsabilidad;
  - formación, concienciación y competencia;
  - comunicación;
  - implicación de los empleados;
  - documentación;
  - control de procesos eficiente;
  - programa de mantenimiento;
  - preparación y respuesta a las emergencias;
  - cumplimiento preventivo de la legislación ambiental;
- control del rendimiento y acciones correctoras prestando especial atención a:
  - supervisión y medición (véase también el Documento de referencia sobre supervisión de emisiones);
  - acción correctora y preventiva;
  - mantenimiento de registros;
  - auditoría interna independiente (siempre que sea posible) para determinar si el sistema de gestión ambiental cumple las disposiciones planificadas y si su implantación y mantenimiento son adecuados;
- revisión por la alta dirección.

También se consideran medidas de apoyo otras tres características que complementan a las etapas descritas anteriormente. Sin embargo, la falta de dichas medidas no es incompatible con las MTD. Estas tres etapas adicionales son:

- examen y validación del sistema de gestión y del procedimiento de auditoría por un órgano de certificación acreditado o por un verificador de SGA externo;
- preparación y publicación (y posiblemente validación externa) de una declaración ambiental que describa todos los aspectos ambientales importantes de la instalación, permitiendo así una comparación año a año de los objetivos ambientales así como evaluaciones comparativas dentro del sector cuando sea adecuado;
- implantación y observancia de un sistema voluntario internacionalmente aceptado como EMAS y EN ISO 14001:2004. Esta etapa voluntaria proporcionará más credibilidad al SGA, en particular si se implanta el EMAS, que incluye todas las características anteriormente mencionadas. Sin embargo, los sistemas no estandarizados pueden ser, en principio, igual de eficaces siempre que estén diseñados e implantados de forma adecuada.

13. También es importante considerar de forma específica para este sector de la industria las siguientes características del SGA:



- planificación para reducir la huella ambiental de una instalación (véase la MTD 14 a continuación);
- realizar con cierta regularidad evaluaciones comparativas internas y con otras instalaciones dentro de la industria que incluya:
  - consumos de materias primas, energía y agua, incluyendo el uso eficiente de estos aportes;
  - emisiones a la atmósfera y al agua y generación de residuos;
- elección de materiales de entrada;
- considerar el impacto ambiental del cierre de una unidad en el momento de diseñar una nueva planta o modificar una existente;
- considerar el desarrollo de tecnologías más limpias.

14. Constituye una MTD minimizar la huella ambiental de la instalación mediante la planificación de acciones e inversiones a corto, medio y largo plazo que permitan mejoras continuas, considerando los efectos cruzados y de coste-beneficio (véase el apartado 20.1.2), apoyándose en las siguientes medidas:

- controlar y evaluar comparativamente de forma interna los consumos y emisiones, véase el apartado 20.1.3;
- implantar un plan de gestión de disolventes, véase el apartado 20.3.1;
- comprender la interrelación de esos consumos y emisiones en los procesos;
- identificar puntos de mejora y de cumplimiento con las MTD;
- asignar prioridades a las acciones e inversiones identificadas;
- desarrollar un calendario de implantación.

## DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

### Prevención de emisiones imprevistas

15. Es MTD diseñar, construir y hacer funcionar una instalación para evitar la contaminación procedente de emisiones imprevistas mediante la identificación de riesgos y rutas, la clasificación de potenciales de riesgos y la implantación de un plan en tres etapas para la prevención de la contaminación (véase el apartado 20.2.1). Esto es particularmente útil para evitar la contaminación de aguas subterráneas y suelos y para ayudar en la descontaminación del lugar cuando cesan las actividades. La complejidad de este método variará en función del tamaño y complejidad de la instalación y el potencial de riesgo identificado. Para minimizar las emisiones imprevistas deberían incluirse medidas que se ocupen de los siguientes aspectos:

Etapas 1:

- diseñar una planta con dimensiones suficientes;
- proteger de un derrame químico las zonas identificadas como de riesgo utilizando materiales adecuados para barreras impermeables e incluyendo la identificación de posibles accesos a desagües, como salidas de drenajes y trampillas de inspección, para poder sellarlos adecuadamente;
- garantizar la estabilidad de las líneas de proceso y componentes (incluyendo el equipo temporal o de uso poco frecuente).

Etapas 2:

- garantizar que los tanques de almacenamiento de materiales peligrosos se protegen con técnicas de construcción como tanques de doble pared o situándolos en zonas de contención;
- garantizar que los tanques de las líneas de proceso se encuentran en una zona de contención;

- siempre que se bombeen líquidos entre tanques, garantizar que los tanques receptores tienen capacidad suficiente o cuentan con un sistema de control de nivel seguro;
- garantizar que existe un sistema de identificación de fugas o que las zonas de contención se revisan con regularidad como parte del programa de mantenimiento.

Etapa 3:

- realizar inspecciones y programas de prueba de forma regular;
- contar con planes de emergencia frente a accidentes potenciales que incluirán:
  - planes de incidentes importantes en el emplazamiento (adecuados al tamaño y ubicación del emplazamiento);
  - procedimientos de emergencia para derrames químicos y de aceite;
  - inspecciones de las instalaciones de confinamiento;
  - directrices de gestión de residuos para tratar con los residuos procedentes del control de derrames;
  - identificación del equipo adecuado y garantizar con regularidad que está disponible y en buen estado;
  - garantizar que el personal tiene conciencia ambiental y que recibe formación para ocuparse de derrames y accidentes;
  - identificación de los papeles y responsabilidades de las personas implicadas.

### **Almacenamiento de productos químicos y residuos**

16. Es MTD reducir el riesgo ambiental y de incendio en el almacenamiento y manejo de materiales peligrosos, especialmente de:

- disolventes;
- materias primas de base disolvente;
- disolventes residuales y materiales de limpieza contaminados.

mediante el uso de las técnicas descritas en los apartados 20.2.2 y 20.2.2.1:

- almacenar en el punto de aplicación sólo pequeñas cantidades de las materias primas peligrosas necesarias para la producción;
- almacenar las cantidades más grandes en zonas separadas;
- retroventilar los tanques de almacenamiento a granel en el momento de llenado cuando sea apropiado (véase el apartado 20.2.2);
- contar con alarmas de nivel alto en todos los tanques de almacenamiento fijos;
- tener puntos únicos de llenado para materiales a granel;
- almacenar disolventes, disolventes residuales y materiales de limpieza residuales (cuando la seguridad contra incendios lo permita) en contenedores sellados, herméticos, estancos.

Puede encontrar más información en el BREF relativo a almacenamiento.

### **Construcción y funcionamiento de la planta**

17. Constituye una MTD minimizar los consumos y emisiones mediante, por ejemplo:

- automatización de técnicas de tratamiento de superficies cuando sea aplicable a la actividad y la industria, véase el apartado 20.2.3;
- garantizar que todos los empleados han recibido formación para realizar sus tareas en las actividades de funcionamiento, limpieza y mantenimiento, véase el apartado 20.2.4;
- mantener manuales actualizados operativos de procedimientos y procesos, véase el apartado 20.2.4;
- optimizar las actividades, véase el apartado 20.2.5 y la MTD 14, descrita anteriormente;
- tener en funcionamiento un sistema de mantenimiento planificado, tal y como se describe en el apartado 20.2.6. Este punto es importante para reducir las emisiones no planificadas y forma parte del SGA, véase la MTD 12.

### **SUPERVISIÓN**

18. Constituye una MTD supervisar las emisiones de COV con el objetivo de minimizarlas (véase el apartado 20.3). Un plan de gestión de disolventes es la técnica clave para comprender el consumo, uso y emisión de disolventes, especialmente las emisiones de COV fugitivas, véase el apartado 20.3.1.

Puede encontrar técnicas adicionales y más información en el BREF relativo a almacenamiento.

Es MTD utilizar técnicas relevantes a las que se refiere el apartado 20.3.2 en las que se utilizan mediciones directas para determinar emisiones a la atmósfera, como emisiones de COV o partículas en gases residuales, caudal volumétrico, etc.

19. Constituye una MTD calcular con regularidad los balances de disolvente (dependiendo del tamaño de la emisión) aunque los parámetros clave pueden establecerse y sustituirse con objeto de realizar controles regulares (véase Evaluación comparativa, apartados 20.1.1.(j), 20.1.2 y 20.3.1).

20. Algunos equipos (p. ej. ventiladores, orificios de ventilación, sistemas de tratamiento de gases residuales, etc.) tienen un efecto importante en el balance de disolventes. Para garantizar que las emisiones permanecen en valores acordes con los cálculos realizados utilizando los parámetros clave, es MTD garantizar que dicho equipo cuenta con un mantenimiento regular (véanse los apartados 20.2.6 y 20.11.1.2). Siempre que se modifique el equipo crítico (como los motores de los ventiladores, poleas de transmisión o tratamiento de gases residuales) deben mantenerse las especificaciones originales (garantizando por ejemplo que los motores tengan las mismas especificaciones, que las poleas de transmisión tengan el mismo diámetro, etc.) o bien el sistema de recalibrarse por medición directa.

### **GESTIÓN DEL AGUA**

21. El consumo de agua en este sector es generalmente bajo, excepto cuando se utilizan técnicas de base acuosa para el pretratamiento de sustratos o piezas de trabajo (véase el párrafo 3). Puede obtenerse información más detallada, así como MTD y niveles de emisión y consumo relacionados con ellas, en el BREF STM.

### **REDUCIR, REUTILIZAR Y RECICLAR EL AGUA DE LAVADO Y LAS MATERIAS PRIMAS**

22. Constituye una MTD conservar las materias primas y el agua para técnicas a base de agua mediante, por ejemplo:

- lavado en cascada (múltiple), véase el apartado 20.4.1.3
- recuperación de materias primas o agua utilizando técnicas como:
  - intercambio iónico, véase el apartado 20.4.1.1;
  - separación por membranas u otras técnicas de concentración, véase el apartado 20.7.5.3;
- uso de medidas de control para minimizar el uso de agua de lavado (véase el apartado 20.4.1.4).

#### **Reutilización/reciclaje de agua de refrigeración**

23. Siempre que se utilice agua para refrigerar el equipo, las líneas de proceso, etc., constituye una MTD reducir el consumo utilizando sistemas de refrigeración de circuito cerrado o utilizar intercambiadores de calor, véase el apartado 20.4.1.2.

## GESTIÓN DE LA ENERGÍA

24. Constituye una MTD maximizar la eficiencia energética y minimizar las pérdidas de energía aplicando las medidas descritas en el apartado 20.5.

Las MTD para la planificación de la reducción de los consumos, recogida y uso de datos energéticos y técnicas de mantenimiento se detallan en las MTD 12, 13 y 14.

La MTD 28 se ocupa de la selección de sistemas de tratamiento que optimizan el uso de energía incluyendo secado y curado.

La MTD 37 se ocupa de la optimización de la energía en las emisiones de disolventes a la atmósfera y en el tratamiento de gases residuales.

Entre las técnicas clave para reducir el consumo de energía se encuentran:

- mantenimiento y ajuste del equipo a las configuraciones correctas;
- minimizar el volumen de aire que se mueve, maximizar la cantidad de disolvente capturado con entrada de aire mínima, etc.;
- minimizar las pérdidas de energía reactiva corrigiendo el factor de potencia ( $\cos \phi$ ) entre el voltaje y los picos de corriente para garantizar que se mantiene siempre por encima de 0,95;
- evitar o controlar demandas altas instantáneas durante el arranque (por ejemplo, convirtiendo las conexiones estrella a delta para cargas bajas, utilizando convertidores delta a estrella automáticos, utilizando arrancadores suaves, etc.);
- utilizar motores con la potencia adecuada o utilizando motores de velocidad variable ;
- instalar equipos eficientes desde el punto de vista energético, especialmente motores. Dichos equipos puede especificarse para instalaciones nuevas, reacondicionamientos o para la sustitución de equipos defectuosos.

## GESTIÓN DE MATERIAS PRIMAS (VÉASE EL APARTADO 20.6)

### Controlar impactos ambientales y toxicológicos

25. Es MTD minimizar el impacto ambiental de las emisiones garantizando que las materias primas utilizadas causan los menores impactos ambientales posibles. Esto es especialmente importante al sustituir o modificar procesos o proveedores (véanse los apartados 20.6.2, 20.7 y 20.10).

### Minimizar el consumo de materias primas (véase el apartado 20.6.3)

26. Constituye una MTD minimizar el consumo de materias primas mediante una o varias de las siguientes técnicas:

- sistemas de mezcla automatizados, véase el apartado 20.6.3.1;
- escalas programables, véase el apartado 20.6.3.1;
- sistemas computerizados de correspondencia del color estandarizado como el que ofrece Pantone Matching System, véase el apartado 20.6.3.1;
- reutilización de tintas o revestimientos de retorno, véase el apartado 20.6.3.2;
- reutilización de tintas o revestimientos recuperados, véase el apartado 20.6.3.3;
- canalización directa de tintas o revestimientos desde el almacenamiento, véase el apartado 20.6.3.4;
- canalización directa de disolventes desde el almacenamiento, véase el apartado 20.6.3.5;
- pintura por lotes/grupación de colores, véase el apartado 20.6.3.6;
- sistemas de limpieza con rascadores, véase el apartado 20.6.3.7.

## EQUIPO Y PROCESOS DE REVESTIMIENTO

### Pretratamientos de base acuosa

27. Las MTD para pretratamientos de base acuosa entre las que se incluyen:

- desengrasado;
- mantenimiento del baño;
- minimización de agua y residuos;
- reducción de aguas residuales,

se describen en el BREF STM, véase el párrafo 3 de este capítulo. Los apartados 20.7.1.2 y 20.7.5 ofrecen ejemplos.

## SECADO/CURADO PARA TODOS LOS TRATAMIENTOS DE SUPERFICIES

### Sistemas de revestimiento, aplicación y técnicas de secado/curado

28. Al seleccionar uno o varios procesos de tratamiento de superficies (incluyendo secado/curado) para una planta nueva o para mejorar una existente, es MTD seleccionar un sistema que:

- minimice:
  - emisiones de disolventes;
  - uso de energía;
- maximice la eficiencia de las materias primas.

Los apartados 20.7.2 y 20.7.3. describen las técnicas genéricas de revestimiento. Otras técnicas de revestimiento e impresión específicas de cada industria se exponen en los capítulos dedicados específicamente a cada una de las industrias.

Las técnicas de secado/curado son normalmente el componente más importante del consumo de energía. El apartado 20.8. presenta las opciones genéricas. Otras técnicas de revestimiento e impresión específicas de cada industria se exponen en los capítulos dedicados específicamente a cada una de las industrias.

La elección de una técnica de secado/curado se verá limitada por factores como el tipo de tratamiento de superficie (p. ej. se necesitan tipos de tinta y pintura específicos para reaccionar con la radiación UV o IR) y otros factores como:

- los mencionados en la introducción de este capítulo, especialmente el párrafo 8;
- tipo, tamaño y forma del sustrato;
- calidad y tipo de acabado necesario, incluyendo el grosor;
- el sistema de tratamiento global (es decir, revestimientos anteriores y posteriores);
- la técnica de aplicación que va a utilizarse;
- si se utilizan técnicas de reducción de gases residuales de final de línea (end-of-pipe).

Los niveles totales de emisión de COV asociados a las MTD se presentan en los apartados dedicados a cada una de las industrias. El apartado 20.11 presenta los niveles de emisión (o eficiencias de eliminación) para diferentes técnicas de tratamiento de gases residuales.

## LIMPIEZA

### Sistemas de limpieza

29. Constituye una MTD conservar las materias primas y reducir las emisiones de disolventes minimizando los cambios de color y la limpieza, tal y como se describe en la MTD 26 (véase el apartado 20.6.3).

**Técnicas de limpieza**

30. Cuando se limpian pistolas pulverizadoras se considera MTD minimizar las emisiones de disolventes recogiendo, almacenando y exigiendo la reutilización del disolvente de purga utilizado en la limpieza de las pistolas o las líneas: entre un 80 % y un 90 % puede reutilizarse, véase el apartado 20.9.3.

31. Es una MTD minimizar las emisiones de COV utilizando técnicas de limpieza sin disolventes o con bajas emisiones de los mismos mediante una o varias de las técnicas descritas en el apartado 20.9 (véase la Tabla 21.1 a continuación):

Técnicas de limpieza		Equipo de proceso		Sustrato
Apar-tado	Técnica	Contaminación no persistente	Contaminación persistente	
20.9.2	Minimizar la limpieza	Sí	Sí	Sí
20.9.3	Preparación antes de la limpieza con disolventes o de otros tipos de limpieza	Sí		
20.9.4	Limpieza convencional con disolventes	Sí*	Sí*	
20.9.5	Disolventes con velocidad de evaporación más baja	Sí		
20.9.6	Limpieza con disolventes potentes		Sí	
20.9.7	Limpieza con disolventes con bajo potencial de formación de ozono (OFP)**	Sí	Sí	
20.9.8	Limpieza a base de agua	Sí	Sí	Sí
20.9.9	Limpieza a mano	Sí		Sí
20.9.10	Máquinas de lavado que utilizan disolventes	Sí	Sí	
20.9.11	Limpieza con recuperación de disolventes	Sí		
20.9.12	Limpieza con pulverización de agua a presión		Sí	
20.9.13	Limpieza ultrasónica		Sí	Sí
20.9.14	Limpieza con hielo seco		Sí	Sí
* Los disolventes convencionales deberían utilizarse junto con técnicas que minimicen las emisiones, como máquinas de lavado selladas con salida al sistema de tratamiento de gases residuales, etc., tal y como se describe en el apartado 20.9. El apartado 20.9.9 presenta las excepciones				
** Véase la MTD 36				

**Tabla 21.1: Limpieza: técnicas que pueden emplearse para reducir las emisiones de COV**

**USO DE SUSTANCIAS MENOS PELIGROSAS (SUSTITUCIÓN)**

La aplicabilidad de las siguientes MTD en cada industria se discute en los capítulos del 2 al 19 dedicados específicamente a cada industria y en los apartados de MTD del 21.2 al 21.19.

32. Constituye una MTD reducir las emisiones de disolventes seleccionando técnicas con bajo o nulo contenido de disolventes, tal y como se describe en los apartados genéricos para, por ejemplo:

- limpieza (véanse las 29, 30 y 31, y el apartado 20.10.1);
- la industria específica (apartados del 21.2 al 21.19);
- revestimiento (véase el apartado 20.7) ;
- técnicas de entintado (véase el apartado 2.4).

33. Se considera MTD reducir los efectos fisiológicos adversos sustituyendo los disolventes que tengan alguna de las siguientes frases de riesgo: R45, R46, R49, R60 y R61, por disolventes menos peligrosos. Este punto debe cumplirse de acuerdo con el apartado 6 del artículo 5 de la Directiva del Consejo 1999/12/CE. Los apartados 20.9 y 20.10 describen disolventes y técnicas de limpieza alternativos.

34. Es MTD reducir los impactos ecotóxicos de sustancias utilizando sustancias menos peligrosas para reemplazar aquellas con las frases de riesgo R58 y R50/53 (cuando existan alternativas, véase el apartado 20.10).

35. Se considera MTD reducir la destrucción de ozono estratosférico (capas altas) utilizando sustancias menos peligrosas en lugar de aquellas con las frases de riesgo R59. En particular, todos los disolventes halogenados o parcialmente halogenados con la frase de riesgo R59 que se emplean en la limpieza deberían sustituirse o controlarse utilizando las opciones descritas en las MTD 31 y 32.

36. Es MTD intentar reducir al mínimo la formación del ozono troposférico (capas bajas):

- utilizando COV o mezclas con reactividad de baja formación de ozono cuando no se puedan aplicar otras medidas para reducir las emisiones de disolventes fugitivas o no reducidas para alcanzar los niveles de emisión asociados a las MTD porque dichas medidas tengan, por ejemplo, efectos cruzados desfavorables (véase el apartado 20.10.2);
- cuando se cambien los disolventes, garantizando que la sustitución alcanza una reducción de la reactividad de formación de ozono (véase el apartado 20.10.2). Téngase en cuenta que la comparación debe realizarse sobre la base de la carga de OFP emitida a la troposfera (es decir, OFP x peso de disolvente evaporado).

La sustitución de disolventes aromáticos altamente reactivos por alternativas con menor reactividad puede reducir las emisiones reactivas de COV entre un 20 y un 40 %.

Sin embargo, esta técnica no puede utilizarse para:

- formulaciones compuestas como las pinturas y tintas para la automoción
- sustituir sistemas de disolventes para los que actualmente no existen otras tecnologías, por ejemplo, en el huecograbado de publicaciones.

En caso de que la sustitución no aumente el potencial global de formación de ozono, dicha sustitución puede hacerse con disolventes con un punto de inflamación superior a 55 °C.

### **EMISIONES A LA ATMOSFERA Y TRATAMIENTO DE GASES RESIDUALES**

37. Para los disolventes, constituye una MTD utilizar una o varias de las siguientes técnicas:

- minimizar las emisiones en origen (véanse los apartados específicos de cada industria);
- recuperar los disolventes de las emisiones en los gases residuales (véanse los apartados 20.11.5 y 20.11.6);
- destrucción de los disolventes en los gases residuales (véanse los apartados 20.11.4 y 20.11.8);
- recuperar el calor generado en la destrucción de los COV (véanse los apartados del 20.11.4.3 al 20.11.4.6);
- minimizar la energía utilizada en la extracción y destrucción de los COV (véase el apartado 20.11.1).

Esto puede conseguirse mediante el diseño, funcionamiento y mantenimiento de una instalación (véanse los apartados 20.1.2 y 20.2) que permitan alcanzar los niveles de consumo y emisión asociados a la selección de MTD descritas para industrias específicas en el apartado 20.1.2 y del apartado 20.2 en adelante. Puede que no sea necesario el tratamiento de gases residuales cuando la reducción de la emisión de disolventes pueda alcanzarse mediante otras medidas, como la sustitución. Este reemplazo con materiales con bajo contenido de disolventes puede provocar demandas excesivas de energía de las técnicas de final de línea (end-of-pipe), como los oxidantes térmicos. Estas técnicas pueden cesar cuando los efectos cruzados negativos superen los beneficios de la destrucción de los COV.



La recuperación de disolventes de los gases residuales emplea más energía que la incineración, no es tan efectiva en la captura de disolventes y, a menudo, los disolventes recuperados no pueden reutilizarse debido a que están contaminados con agua o con otros disolventes. En las mezclas de disolventes, la mezcla recuperada a menudo no contiene las mismas cantidades de ingredientes o, por tanto, no tiene las mismas propiedades.

38. Al considerar la recuperación de disolventes, es MTD intentar garantizar que se reutiliza la mayor parte del material recuperado (quizá no sea posible en todos los casos reutilizar el material en el emplazamiento). La reutilización no debería incluir la combustión puesto que es más eficaz la oxidación autotérmica que, al mismo tiempo, alcanza niveles más bajos de emisiones de disolventes. La recuperación de disolventes en instalaciones nuevas o mejoradas sin la reutilización de disolventes no se considera MTD.

39. Constituye una MTD intentar utilizar el exceso de calor producido por la oxidación térmica, lo que puede realizarse dentro o fuera de la instalación ayudando así a adaptar el tipo de energía producida (p. ej. vapor generado) a su uso potencial.

Cuando se recupera el calor producido por la oxidación térmica de emisiones de disolventes, los siguientes aspectos deben tenerse en cuenta:

- debe haber exceso de energía para recuperar;
- debe ser técnicamente posible recuperar la energía;
- la energía debe estar disponible para su uso (p. ej. temperatura suficientemente alta, utilizable como vapor, etc.);
- debe haber un uso para la energía al mismo tiempo que tiene lugar el exceso de calor.

40. Constituye una MTD ahorrar energía en la extracción y el tratamiento de gases residuales mediante la reducción del volumen extraído. Esto puede conseguirse con las medidas descritas en el apartado 20.11.2. Sin embargo, algunas técnicas pueden estar limitadas por la necesidad de mantener atmósferas de trabajo seguras en la instalación, la cantidad de disolventes residuales que pueden quedar en el producto revestido, el olor de los productos y otros requisitos de calidad.

41. Cuando se extraen los gases residuales, se considera MTD reducir las emisiones de disolventes y el consumo de energía al tiempo que se hace el mejor uso del equipo de alto coste utilizando las técnicas descritas en los apartados 20.11.1.3, 20.11.1.4, y 20.11.1.5.

42. Si se aplica el tratamiento de gases residuales, se considera MTD optimizar la concentración de disolventes al tratamiento y, si se aplican tratamientos de oxidación térmica, mantener las condiciones autotérmicas utilizando una o varias de las siguientes técnicas:

- optimización de la concentración en el caudal de gases utilizando las técnicas descritas en los apartados 20.11.1.3, 20.11.1.4, y 20.11.1.5;
- minimización de la cantidad de gases que se va a tratar, véanse los apartados 20.11.1 y 20.11.2, y derivación de los caudales máximos (véase el apartado 20.11.1.3);
- pretratamiento del gas para proteger el sistema de tratamiento y optimizar la concentración de disolventes, tal y como se describe en el apartado 20.11.3. Sin embargo, si el aire efluente es caliente, no puede pretratarse mediante absorción, puede verse un ejemplo en la MTD 82.

43. Cuando las emisiones de partículas estén asociadas a la pulverización de pintura, se considera MTD reducir las emisiones aplicando una o ambas técnicas descritas a continuación:

- técnicas de proceso como las descritas en los apartados 20.7.4.1, 20.7.4.2 y 20.7.4.3;
- técnicas de final de línea (end-of-pipe) como las descritas en los apartados 20.11.3.5, 20.11.3.6, 20.11.3.7 y 20.11.3.8.

De esta forma pueden alcanzarse los siguientes niveles:

- 5 mg/m<sup>3</sup> o menos para instalaciones existentes (p. ej. para aplicaciones de automoción que utilicen lavadores laterales convencionales junto con separación de partículas por efecto Venturi);
- 3 mg/m<sup>3</sup> o menos para instalaciones nuevas (p. ej. para aplicaciones de automoción que utilicen lavadores laterales convencionales junto con separación de partículas por efecto Venturi).

### **Opinión divergente**

La industria del revestimiento de muebles y madera registró una opinión divergente en relación con estos valores. Según la información proporcionada en los apartados 17.4.7.1 y 17.4.7.4, los valores de emisión que se consideran asociados a la MTD son 10 mg/m<sup>3</sup> o menos para todas las instalaciones.

Este valor se basa en lo que consideramos viable tanto económica como técnicamente en la industria.

## **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

44. Constituye una MTD minimizar los vertidos al agua mediante (en este orden):

- minimización de vertidos al agua utilizando las técnicas mencionadas en las MTD 21, 22 y 23;
- realizar tratamientos de aguas residuales utilizando las técnicas de pretratamiento descritas en los apartados del 20.12.1 al 20.12.4;
- realizar tratamientos biológicos (véase el apartado 20.12.5), normalmente en una planta depuradora municipal.

En el BREF CWW pueden encontrarse técnicas de depuración biológica de aguas residuales. Otras técnicas, así como los valores de emisión asociados, se comentan en el BREF STM.

Para instalaciones específicas deberían considerarse los niveles de concentración junto con las cargas emitidas por la instalación, las especificaciones técnicas de la instalación, por ejemplo el volumen de producción, así como otras MTD, especialmente las medidas diseñadas para reducir el consumo de agua (véase el BREF STM).

45. Si los disolventes pueden estar en contacto con agua, se considera MTD evitar un nivel peligroso de disolventes en la atmósfera de las canalizaciones de alcantarillado (p. ej. peligro de explosión o de daños potenciales para los trabajadores) evitando los vertidos imprevistos (véase el apartado 20.2.1) o garantizando un nivel de descarga seguro. Puede calcularse un nivel adecuado, véase el apartado 20.3.3.1.

46. Cuando la carga de DBO o DQO sea significativa para el tratamiento posterior, constituye una MTD controlar la cantidad de productos químicos orgánicos que sean difíciles de tratar en las plantas depuradoras mediante el control de la proporción DQO:DBO en las aguas residuales, véase el apartado 20.3.3.2.

47. Constituye una MTD supervisar las materias primas y los efluentes con el fin de reducir al mínimo las emisiones de sustancias tóxicas al entorno acuático (véase el apartado 20.3.3.3). Siempre que esas sustancias se encuentren en cantidades que puedan afectar al entorno, pueden reducirse las cantidades de sustancias vertidas mediante una o varias de las siguientes técnicas:

- uso de sustancias menos peligrosas (véase el apartado 20.10);
- minimización de la sustancia utilizado y de las pérdidas durante la producción (véanse las MTD 19 y 20);

- tratamiento de aguas residuales (véase el apartado 20.12 o el BREF CWW, y el BREF STM si las actividades se llevan a cabo junto con las actividades descritas en dicho BREF).

Si dichas sustancias se vierten, constituye una MTD supervisar el vertido con la frecuencia y el sistema adecuados para minimizar el riesgo de incumplimiento de las condiciones de la autorización (véase el REF sobre supervisión).

### Talleres de pintura

48. En el caso de talleres de pintura en los que se utilice agua, puede ser necesario un tratamiento antes del vertido. Constituye una MTD utilizar una o varias de las técnicas descritas en los apartados 20.7.5 y 20.12 para el pretratamiento de agua de proceso. En el caso de vertidos directos a aguas superficiales, pueden alcanzarse los siguientes rangos de valores:

- DQO: entre 100 y 500 mg/l;
- sólidos en suspensión: entre 5 y 30 mg/l.

49. En el caso de sistemas de lavadores que capturan el exceso de pulverización de pintura, se considera MTD reducir el consumo de agua, el tratamiento de efluentes y los vertidos mediante la reducción de la frecuencia de vaciado del tanque utilizando estas dos técnicas:

- optimizando la eficiencia de transferencia (véase el apartado 20.7.3);
- minimizando la acumulación de fangos de pintura (véanse los apartados 20.7.5.6, 20.7.5.7 y 20.7.5.8).

## RECUPERACIÓN DE MATERIALES Y GESTIÓN DE RESIDUOS

50. Es MTD reducir el uso de material, tal y como se describe en la MTD 26. También es MTD evitar las pérdidas de material y recuperar, reutilizar y reciclar materiales. Entre estas prácticas, la prevención y la reducción de pérdidas de material se consideran prioritarias. Esto puede conseguirse aplicando una selección de las técnicas descritas en los apartados 20.1.2, 20.3.1, 20.6, 20.7 (especialmente los apartados 20.7.3 y 20.7.5). Las MTD 14, 17, 18 y 25 también son relevantes.

### Recuperación de disolventes utilizados

51. Constituye una MTD recuperar y reutilizar disolventes, bien en la instalación o mediante la contratación de servicios externos, tal y como se describe en los apartados 20.13.1, 20.13.2 y 20.13.5, véanse las MTD 38 y 39 expuestas anteriormente.

52. Se considera MTD reducir el número de contenedores desechados mediante el uso de contenedores reutilizables, reutilizar los contenedores para otros fines, o reciclar el material del contenedor, véase el apartado 20.13.6.

53. En el caso de que se utilicen sistemas de adsorción de carbón activo o zeolita, constituye una MTD recuperar tanto los disolventes como el medio de adsorción, tal y como se describe en el apartado 20.13.7.

54. Después de aplicar las MTD de la 50 a la 53 y cuando los residuos no puedan recuperarse ni dentro ni fuera del emplazamiento, constituye una MTD minimizar los contenidos peligrosos y gestionarlos con residuos mediante una selección de técnicas descritas en los apartados 20.10, 20.13, y 20.13.8.

## DISMINUCIÓN, ELIMINACIÓN DE POLVO

55. Véase la MTD 43.

## DISMINUCIÓN, ELIMINACIÓN DE OLORES

56. En el caso de que las emisiones de olores provoquen molestias en ubicaciones sensibles (normalmente debido a la emisión de COV), constituye una MTD reducir el olor mediante las técnicas utilizadas para tratar las emisiones de COV, como:

- cambiar el tipo de proceso (por ejemplo, véanse los apartados 4 de los capítulos del 2 al 19 y los apartados 20.7 y 20.10);
- cambiar los materiales empleados (por ejemplo, véanse los apartados 20.7 y 20.10);
- utilizar el tratamiento de gases residuales (véase el apartado 20.11);
- instalación de chimeneas altas para las emisiones de gases residuales.

## RUIDO

57. Constituye una MTD identificar las fuentes de ruido importantes y los potenciales receptores sensibles situados en las proximidades de la instalación (véase el apartado 20.16).

58. Cuando el ruido pueda tener algún impacto, es una MTD reducir el ruido utilizando las medidas de control adecuadas (véase el apartado 20.16), como:

- funcionamiento efectivo de la planta, por ejemplo:
  - cierre de las puertas de los compartimentos;
  - reducción al mínimo de las entregas y ajustar el horario de entregas;
- uso de controles de ingeniería como la instalación de silenciadores para los grandes ventiladores, uso de cerramientos acústicos, evitar la instalación de equipos con niveles de ruido altos o tonales, etc.

## PROTECCIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES Y DEL SUELO Y CLAUSURA DEL EMPLAZAMIENTO

59. Constituye una MTD evitar los vertidos a las aguas subterráneas y al suelo y ayudar a la clausura del emplazamiento aplicando las técnicas descritas en las MTD 15 y 16.

## 21.2 Mejores técnicas disponibles para impresión

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

Se ofrecen conclusiones de MTD para tres procesos de impresión que pueden estar funcionando por encima del umbral, como se muestra en el anexo 1, 6.7 de la Directiva de IPPC:

- impresión con offset con secado por calor, véase el apartado 21.2.1;
- flexografía y huecograbado de embalajes (incluyendo el barnizado y la laminación conjunta), véase el apartado 21.2.2;
- huecograbado de publicaciones, véase el apartado 21.2.3.

En la misma instalación pueden encontrarse otros procesos de impresión como actividades asociadas o procesos que ocasionalmente estén funcionando por encima del umbral. Para dichas actividades se aplican las MTD genéricas del sector establecidas en el apartado 21.1 siempre que no se describan MTD específicas.

### 21.2.1 MTD para impresión con offset rotativa con secado por calor

#### Reducción de emisiones de disolventes

Las emisiones de COV derivadas de la impresión con secado por calor están formadas por alcohol isopropílico (IPA) procedente de las soluciones humectantes (véase la MTD 61) de los agentes de limpieza (véase la MTD 62) y por las emisiones de las chimeneas de los secadores (véase la MTD 63).

60. Constituye una MTD reducir la suma de emisiones fugitivas y de los COV restantes de gases residuales (véase la Tabla 2.9, y el apartado 2.3.2.1) utilizando una combinación de las técnicas descritas en las MTD 61, 62 y 63 así como las MTD genéricas descritas en el apartado 21.1. Los valores de emisión asociados a estas técnicas son (véase el apartado 2.3.2.1):

- para prensas nuevas o mejoradas, del 2,5 al 10 % de COV expresado en porcentaje en peso del consumo de tinta;
- para prensas existentes, del 5 al 15 % de COV expresado en porcentaje en peso del consumo de tinta.

Al utilizar el porcentaje en peso del consumo de tinta se pueden valorar las medidas tomadas, algo que no sucede si se emplea el porcentaje de aporte de disolvente (véase el apartado 2.3.2.3.1), puesto que varias de las técnicas empleadas implican una reducción del aporte de disolvente.

#### Alcohol isopropílico (IPA) en disoluciones humectantes

61. Constituye MTD reducir la emisión de IPA en la impresión utilizando bajas concentraciones de IPA en la solución humectante mediante las siguientes técnicas, o una combinación de ellas (Tabla 21.2):

Técnica	Referencia cruzada	Aplicabilidad
Sustitución del IPA en la disolución humectante	2.4.1.3.1	Todas
Optimización de la concentración de IPA en la disolución humectante	2.4.1.3.2	Todas las que apliquen IPA
Rodillos de planchas y distribución cerámicos, metálicos e hidrófilos	2.4.1.3.3	Es posible la remodelación, generalmente con rodillos hidrófilos
Ajuste preciso de los rodillos de entintado	2.4.1.3.4	No es posible la remodelación
Refrigeración de la disolución humectante	2.4.1.3.6	Todas
Refrigeración de los rodillos humectadores y los cilindros portaplanchas	2.4.1.3.7	No es posible la remodelación
Eliminación de las soluciones de IPA de la unidad de humectación durante la noche	2.4.1.3.8	Todas
Filtración de la disolución humectante	2.4.1.4	Necesaria cuando se utilizan bajas concentraciones de IPA
Control de la dureza del agua para la disolución humectante	2.4.1.5	Es posible la remodelación

**Tabla 21.2: Técnicas de impresión con secado por calor para reducir el uso de IPA en la disolución humectante**

Adviértase que las emisiones de IPA asociadas con la mitad superior de los rangos proporcionados en la 60 están asociados con tareas «difíciles». La definición de «difícil» es subjetiva y depende de los factores expuestos a continuación. Por tanto, constituye una MTD realizar ensayos para determinar el nivel de consumo más bajo posible de IPA para prensas y la volatilidad más baja posible para agentes de limpieza (véase Limpieza, MTD 62, a continuación). La mitad superior de los rangos de emisión se considera asociada a la MTD sólo si se ha demostrado esta optimización (véase el apartado 2.3.2.1).

Por ejemplo, las tareas «difíciles» implican uno o más de los siguientes factores:

- cambios en la superficie del papel que exigen muchos cambios precisos en la configuración de la prensa;
- casos en los que es necesaria una alta capacidad de cobertura de tinta y en los que el IPA evita la aparición de manchas blancas;
- prensas nuevas amplias y rápidas.

Cuando el nivel de habilidad, formación y experiencia de los operarios es bajo esto favorece que las emisiones sean más altas; la MTD 17 se ocupa de las necesidades de formación.

La impresión offset sin agua no provoca emisiones de COV procedentes de la disolución humectante y puede utilizarse en la impresión de alimentación por hojas (véase el apartado 2.4.1.8). Generalmente, la longitud de tirada máxima que se consigue con este sistema es menor que la necesaria para el trabajo de impresión con secado por calor y actualmente se usa poco en este proceso, aunque esta situación puede cambiar en el futuro.

### Limpieza

62. Se considera MTD reducir otras emisiones fugitivas de COV mediante las siguientes técnicas (Tabla 21.3):

Técnica	Referencia cruzada	Aplicabilidad
Sustitución y control de los COV utilizados en la limpieza	2.4.1.8.1	Todas
Limpiadores de agua a alta presión para los rodillos humectadores	2.4.1.8.2	Sólo para rodillos con muletón
Sistemas automáticos de limpieza para los cilindros de impresión y de la mantilla	2.4.1.8.3	Todas. Los costes de remodelación son altos

**Tabla 21.3: Técnicas de secado con calor para reducir las emisiones fugitivas de la limpieza**

### Recogida y tratamiento de los gases residuales

63. Constituye una MTD para las emisiones fugitivas y de gases residuales:

- reducir las emisiones de COV aplicando la extracción y la incineración térmica, catalítica, recuperativa o regenerativa del aire de los secadores utilizando una combinación de las técnicas descritas en el apartado 20.11;
- reducir las emisiones de COV aplicando las técnicas de mantenimiento descritas en el apartado 20.11.1.2.

64. No constituye una MTD aplicar técnicas de concentración a los gases residuales puesto que puede ocasionar problemas de olor en el producto terminado, véase el apartado 2.3.2.3.1.

65. Debido a que los caudales de aire procedentes de la ventilación de la sala de prensas y del confinamiento de las prensas son grandes y sus concentraciones de COV muy bajas, no constituye una MTD tratar el aire extraído de la sala de prensas y del confinamiento de la prensa. La relación coste-beneficio de la aplicación de las MTD de la 60 a la 63.

66. Las prensas suelen estar confinadas, pero generalmente es por razones sanitarias y de seguridad y normalmente no implica una ayuda en la reducción de las emisiones de COV.

## 21.2.2 MTD para flexografía y huecograbado de envases (impresión de envases flexibles)

### Reducción de emisiones de disolventes

67. Constituye una MTD reducir la suma de emisiones fugitivas de COV y los COV que permanecen después del tratamiento de gases residuales utilizando una combinación de las técnicas descritas más adelante en la Tabla 21.4 y las MTD genéricas del apartado 21.1. Los valores de emisión de COV asociados a estas técnicas (véase el apartado 2.3.3.3.1) se presentan relacionados con tres casos de la industria (se utiliza la emisión de referencia tal y como se obtiene en el SED, véase el anexo 24.2):

**Caso 1:** instalaciones en las que todas las máquinas de producción que utilizan tintas, barnices y adhesivos de base disolvente están conectadas a dispositivos de reducción de gases residuales y en las que las demás máquinas de producción no utilizan (casi) disolventes, por ejemplo, adhesivos sin disolventes, tintas de base acuosa, etc.

- con oxidación, emisiones totales entre el 7,5 y el 12,5 % de la emisión de referencia;
- con recuperación de disolventes, emisiones totales entre el 10,0 y el 15,0 % de la emisión de referencia.

**Caso 2:** instalaciones existentes en las que existe un dispositivo de reducción de gases residuales, pero no todas las máquinas de producción que utilizan productos de base disolvente están conectadas a él debido a razones técnicas o económicas. Estas instalaciones utilizarán un esquema de reducción (véase el anexo 24.2) que combine:

- dispositivos de reducción para algunas máquinas;
- procesos con bajas emisiones fugitivas con procesos de base disolvente en máquinas que están conectadas al dispositivo de reducción;
- sustitución.

**Caso 2.1:** la suma de las emisiones de las máquinas conectadas al equipo de reducción es:

- con incineración, entre el 7,5 y el 12,5 % de la emisión de referencia relativa a dichas máquinas;
- con recuperación de disolventes, entre el 10,0 y el 15,0 % de la emisión de referencia relativa a dichas máquinas.

**Caso 2.2:** para máquinas no conectadas al dispositivo de tratamiento de gases residuales, constituye una MTD utilizar una de las siguientes técnicas:

- uso de productos con bajo o nulo contenido en disolventes en estas máquinas;
- conectar al equipo de reducción de gases residuales en los momentos en los que exista capacidad suficiente (por ejemplo, cuando las máquinas que están conectadas de forma permanente se encuentren en parada);
- realizar preferentemente los trabajos con alto contenido en disolventes en las máquinas conectadas al dispositivo de reducción de gases residuales.



**Caso 3:** en caso de que las instalaciones carezcan de dispositivos de reducción de gases residuales y utilicen la sustitución (véase el anexo 24.2), constituye una MTD seguir la evolución de desarrollos de tintas, barnices y adhesivos con bajo o nulo contenido de disolventes, y disminuir continuamente la cantidad de disolventes consumidos, véanse las MTD 13 y 14.

En los casos 1 o 2.1, cuando una instalación presente una proporción sólido:disolvente superior a 1:5,5 para el conjunto de tintas, barnices y adhesivos de base disolvente, es posible que no se alcancen los valores de emisión. En tales casos, cuando no puede reducirse la proporción disolvente:sólido, constituye una MTD recubrir los tinteros o utilizar sistemas de rasqueta con sujeción y utilizar otras técnicas, como las que aparecen en la Tabla 21.4.

Técnica	Referencia cruzada	Aplicabilidad
Sustitución utilizando tintas de base acuosa, curado por UV o curado por haz electrónico	2.4.2.2	No aplicable en equipos en los que haya tratamiento de gases residuales
Sustitución utilizando adhesivos y barnices de base acuosa, de alto contenido en sólidos, con curado por UV o sin disolventes o coextrusión	2.4.2.4	No aplicable en equipos en los que haya tratamiento de gases residuales
Extracción y tratamiento del aire de los secadores	2.4.2.5	Cuando se haya realizado poca o ninguna sustitución No aplicable en algunos equipos existentes con caudales de aire altos y bajas concentraciones de COV
Extracción de las prensas y de otras zonas de producción: recubrimiento de los tinteros o uso de sistemas de rasqueta con sujeción	Tabla 2.33 y 2.4.2.5.2	Todas
Concentración de disolventes en el caudal de gases residuales	20.11.3.1	Donde se traten los gases residuales
Extracción y tratamiento del aire de las máquinas de limpieza automáticas	2.4.2.5.1 20.9.10	Donde se traten los gases residuales
Optimización del uso del incinerador	2.4.2.5.3	Donde se traten los gases residuales
Optimización de la concentración de COV en el incinerador mediante ventiladores de velocidad variable	20.11.1.5	Donde se traten los gases residuales
Cierre oportuno y automático de los sistemas de derivación	2.4.2.5.5	Donde se traten los gases residuales
Sustitución utilizando materiales de limpieza con bajo o nulo contenido en COV	2.4.2.6.1 20.9	Todas
Limpieza de cilindros en la prensa	20.9.10	Prensas nuevas
Limpieza con agua a alta presión	20.9.12	Limitada a limpieza en profundidad y a rodillos anilox
Otras técnicas de limpieza sin disolventes	20.9, 20.10	Todas

**Tabla 21.4: Técnicas de flexografía y huecograbado de envases para reducir las emisiones de COV**

**Recogida y tratamiento de los gases residuales**

68. Constituye una MTD para las emisiones de gases residuales y otras emisiones fugitivas:

- reducir las emisiones de COV aplicando la extracción y el tratamiento de aire de los secadores utilizando una combinación de las técnicas descritas en el apartado 20.11;
- aplicar una selección de las técnicas expuestas en el apartado 20.11.1.1 para minimizar el consumo de energía y optimizar el tratamiento de gases residuales;
- reducir las emisiones de COV aplicando las técnicas de mantenimiento descritas en el apartado 20.11.1.2.

69. En caso de utilizar un tratamiento térmico de gases residuales, es MTD intentar recuperar y utilizar cualquier excedente de energía, véase el apartado 20.11.4.4.

### 21.2.3 MTD para el huecograbado de publicaciones

#### Reducción de emisiones de disolventes

70. Constituye una MTD reducir la suma de emisiones fugitivas y de los COV que permanecen después del tratamiento de los gases:

- en plantas nuevas, entre el 4 y el 5 % utilizando las técnicas 1, 2, 3, 6, 10 y 11 junto con las técnicas 8 o 8 y 9 de la Tabla 21.5;
- en plantas existentes, entre el 5 y el 7 % utilizando las técnicas 1, 2, 10, 11 y una de las técnicas 4, 5, 6 o 7 de las expuestas en la Tabla 21.5 expresado como porcentaje del aporte total de disolvente (tolueno) tal y como se describe en los apartados 2.3.4.1 y 2.3.4.3.1. En estos rangos también se incluye el uso de una combinación de las técnicas de consumo de energía de la MTD 70 y de las MTD genéricas del apartado 21.1.

	Técnica	Referencia cruzada	Aplicabilidad
1	Tratamiento de gases residuales mediante adsorción y recuperación de tolueno	20.11.6.1	Todas
2	Uso de tintas de retención	2.4.3.2.2	Todas
3	Aumento del tiempo de secado	2.4.3.3.2	Sólo las nuevas
4	Extracción continua del aire de los secadores	2.4.3.3.4	En existentes si la capacidad del sistema de tratamiento de gases residuales es suficiente
5	El aire confinado en la prensa es dirigido de forma discontinua al sistema de tratamiento de gases residuales	2.4.3.3.5	Existentes
6	El aire confinado en la prensa es conducido al sistema de tratamiento de gases residuales cuando el disolvente se maneja en la zona de la prensa y existe caudal de aire a la sala de prensas	2.4.3.3.6	Nuevas. No es posible la remodelación
7	Extracción discontinua de aire de las prensas, los secadores y la sala de prensas	2.4.3.3.7	Existentes
8	Extracción de aire de la prensa, los secadores y la sala de prensas cuando el disolvente se maneja en la zona de la prensa y existe caudal de aire a la sala de prensas	2.4.3.3.8	Nuevas
9	Ventilación de aire de circuito cerrado	2.4.3.3.9	Nuevas, si la relación coste – beneficio es buena
10	Labios soplantes en la bobina impresa	2.4.3.3.10	Nuevas
11	Limpieza de cilindros en la prensa	2.4.3.4.1	Nuevas

**Tabla 21.5: Técnicas de huecograbado de embalajes para reducir las emisiones de COV**

Actualmente no se recomienda o especifica el uso de tintas de base acuosa, puesto que aumenta de forma importante la dificultad de reciclar los productos impresos.

71. Constituye una MTD evitar el uso excesivo de energía mediante el empleo de un número óptimo de las regeneraciones necesarias para mantener las emisiones dentro de los valores de emisión expresados en la MTD 70, véase el apartado 20.11.6.1.

**Aguas residuales de la recuperación de tolueno**

72. Los condensados de vapor de agua de la recuperación de tolueno se vierten normalmente a plantas depuradoras municipales. Constituye una MTD reducir las emisiones de tolueno al alcantarillado municipal a un nivel inferior a 10 mg/l mediante desorción (*stripping*), véase el apartado 2.3.4.3.3. El nivel vertido debe mantenerse por debajo de un nivel determinado siempre que puedan producirse daños atmosféricos en el alcantarillado (véase el apartado 20.3.3.1) así como también debe minimizarse el impacto en el ciclo del agua.

**21.3 Mejores técnicas disponibles para la fabricación de bobinas de alambre**

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

**Consumo de energía**

73. Constituye una MTD minimizar el consumo de energía tras el secado del alambre mediante enfriamiento con aire ambiente o exterior (véase el apartado 3.4.2.1).

**Reducción de emisiones de disolventes**

74. Es MTD minimizar las emisiones totales de COV mediante una o ambas técnicas descritas a continuación y las MTD genéricas del apartado 21.1:

- utilizar materiales o procesos con bajo contenido en disolventes (técnicas de proceso, véanse los apartados 3.4.4, 3.4.5, y otras técnicas en el apartado 20.10);
- utilizar una combinación adecuada de técnicas de tratamiento de gases residuales como las descritas en el apartado 3.4.6 (véase también el apartado 20.11).

Los valores totales de emisión (incluyendo emisiones fugitivas) para los COV asociados a estas técnicas son (véase el apartado 3.3.3.1):

- para alambres no finos (diámetro > 0,1 mm) 5 g/kg o menos (g COV/kg producto);
- para alambres finos (diámetro entre 0,01 – 0,1 mm) 10 g/kg o menos.

**Emisiones de disolventes de recubrimientos con lubricantes**

75. Constituye una MTD seguir la evolución de los desarrollos para reducir las emisiones de los revestimientos con lubricantes (como las técnicas con bajo o nulo contenido de disolventes, véase el apartado 3.4.5.6) y perseguir una mayor reducción de COV.

**21.4 Mejores técnicas disponibles para la fabricación de abrasivos**

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

**Reducción de emisiones de disolventes**

76. Es MTD minimizar las emisiones totales de COV mediante una o más de las técnicas descritas a continuación junto con las MTD genéricas del apartado 21.1:

- uso de materiales de unión con bajo o nulo contenido de disolventes. Puede conseguirse si durante el proceso no es necesario refrigerar con agua, por ejemplo, en el caso de fabricación de abrasivos para pulir en seco (véanse los apartados 4.4.2.1 y 20.8);

- aumento de la concentración interna de disolventes en los secadores (véanse los apartados 4.4.4.1 y 20.11.3.1);
- utilizar una combinación adecuada de técnicas de tratamiento de gases residuales como las descritas en el apartado 20.11 (véase también el apartado 4.4).

Los valores totales de emisión para los COV asociados a estas técnicas son entre 9 y 14 % de porcentaje en peso del aporte de disolvente (véase el apartado 4.3.1).

### **21.5 Mejores técnicas disponibles para la fabricación de cinta adhesiva**

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

#### **Reducción de emisiones de disolventes**

77. En el caso de la producción de cintas utilizando adhesivos de base disolvente, es MTD reducir las emisiones de COV mediante una combinación de las técnicas descritas a continuación junto con las MTD genéricas del apartado 21.1:

- utilización de adhesivos exentos de disolventes cuando se fabrica una gama de cintas de embalar y adhesivas de calidad más baja, así como cintas que sean adhesivas por ambos lados (véanse los apartados 5.4.2 y 20.10);
- utilización de uno de los siguientes tratamientos de gases residuales o una combinación de ellos: a+b, a+c, b, o c, donde:
  - a) condensación (véanse los apartados 5.4.5.1 y 20.11.5.3) después de una fase de presecado utilizando un secador de gas inerte (véanse los apartados 5.4.4.1 y 20.8.1.2);
  - b) adsorción (véanse los apartados 5.4.5.2, 20.11.6.1 y 20.13.7.1) con una eficiencia de recuperación de más del 90 % del aporte de disolvente y emisiones directas tras esta técnicas de reducción por debajo del 1 %;
  - c) oxidantes con recuperación de energía (véase el apartado 20.11.4).

Los valores de emisión asociados a estas técnicas son una emisión total de COV del 5 %, como máximo, de porcentaje en peso del aporte de disolvente (véase el apartado 5.3.1).

Cuando se utilizan adhesivos de base acuosa y de fusión en caliente (véase el apartado 5.4.2) sólo se usan pequeñas cantidades de disolventes, por ejemplo, en limpieza, y las emisiones son prácticamente cero. Sin embargo, estos adhesivos sólo pueden emplearse para tipos específicos de cintas y aplicaciones.

### **21.6 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de vehículos**

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

78. El proceso de pintura en la fabricación de vehículos es muy complicado y totalmente integrado, véase el apartado 6.4.1. La elección de pintura y sistemas de aplicación tienen una gran influencia en la elección de secadores y dispositivos de tratamiento de gases residuales. Puesto que algunas técnicas son incompatibles, no pueden determinarse MTD para cada fase en particular.

**Consumo de energía**

79. El apartado 6.3.2.3 muestra que entre el 38 y el 52 % del consumo total de energía de una planta típica de montaje y pintura de carrocería de vehículos se utiliza en el taller de pintura. Por tanto, constituye una MTD minimizar el consumo de energía en la selección y el funcionamiento de sistemas de pintura, secado/curado y reducción de gases residuales asociados comentados en las MTD 78 y 80.

**MTD conjuntas**

80. Constituye una MTD minimizar las emisiones de disolventes y el consumo de materias primas seleccionando sistemas de pintura y secado de acuerdo con la MTD 28 y los apartados 6.4.1, 6.4.2, 6.4.3, 6.4.4, 6.4.5 y 6.4.7, junto con las técnicas de tratamiento de gases residuales descritas en las MTD de la 37 a la 42.

Los valores de emisión de COV asociados a la MTD mencionada anteriormente son de 10 a 35 g/m<sup>2</sup> (véase al apartado 6.3.3.1), (o de 0,3 kg/cuerpo + 8 g/m<sup>2</sup> a 1,0 kg/cuerpo + 26 g/m<sup>2</sup> equivalente) siempre que las emisiones y la zona de superficie como zona galvanizada se determinen de acuerdo con el anexo 24.5.

Dos instalaciones han alcanzado 10 g/m<sup>2</sup> o menos (Figura 6.2) utilizando una combinación de:

- terreno en zona rural y nueva planta;
- novedosas tecnologías verdes;
- técnicas que no pueden utilizarse en todos los casos porque, por ejemplo, los acabados conseguidos no cumplen los requisitos de calidad de otros fabricantes.

81. Para plantas existentes, constituye una MTD establecer e implantar planes para reducir consumos y emisiones (véase la MTD 13) y conseguir los valores de emisión de la MTD 81, considerando siempre los efectos cruzados y la relación coste-beneficio, los elevados costes de capital y los largos períodos de amortización necesarios para conseguir estos valores. Es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- los costes de inversión y los períodos de amortización se comentan en el apartado 6.1, y otros factores que afectan la implantación de MTD pueden encontrarse en el párrafo 7.
- existen dos tipos de técnicas que pueden aplicarse para reducir las emisiones de COV:
  - (a) técnicas que pueden implantarse en un período de tiempo más corto como las mostradas en la Tabla 21.6 (por ejemplo, de uno a tres años):

Apartado	Técnicas	Grupos específicos de técnicas a considerar
20.1	Sistemas de gestión ambiental	Mejora continua (véase el apartado 20.1.2)
20.2	Diseño, funcionamiento y gestión de la instalación	Automatización (apartado 20.2.3) especialmente de pulverización y de entregas de pintura (véase también el apartado 20.6)
20.6	Gestión de materias primas	Todas
20.7.3	Procesos y dispositivos de aplicación de pintura	Cambio a sistemas de pulverización más eficientes: HVLP, apartado 20.7.3.9 Pulverización sin aire, apartado 20.7.3.11 Campanas de alta rotación electrostáticas, apartado 20.7.3.15 Discos de alta rotación electrostáticos, apartado 20.7.3.16 Pulverización electrostática con aire comprimido, sin aire y con aire, apartado 20.7.3.17
20.9	Técnicas de limpieza	
20.10.1	Reemplazo de agentes de limpieza (sustitución)	(ténganse en cuenta las MTD de sustitución de la 31a la 36)
20.11	Tratamiento de gases residuales	

**Tabla 21.6: Revestimiento de vehículos: técnicas para reducir COV que pueden implantarse a corto plazo**

(b) técnicas que consiguen reducciones importantes en las emisiones de COV. Entre ellas se encuentran cambiar el tipo de sistema de pintura o sistema de aplicación de pintura o el sistema de secado (véase la MTD 79, anteriormente). Esto habitualmente implica una nueva instalación o una modificación completa de un taller de pintura, lo que exige una inversión de capital importante.

Un factor importante, por tanto, para decidir qué es adecuado en una instalación existente es la antigüedad del taller de pintura (véase el apartado 6.1, y los factores que afectan la implantación de la MTD; párrafo 6).

Puede ser beneficioso técnicamente (es decir, una mayor reducción de emisiones de COV conseguida a lo largo de un período más largo) y más rentable retrasar la implantación hasta que se produzca una reconstrucción, por ejemplo, cuando el taller de pintura se acerque al final de su ciclo de inversión. En otros casos, el retraso no implica prácticamente ningún beneficio.

82. Cuando se aplica un tratamiento de gases residuales a la cabina de pulverización con el fin de reducir las emisiones de COV, es una MTD concentrar los COV como pretratamiento mediante las técnicas descritas en el apartado 20.11.3.2. En la industria de la automoción, pueden concentrarse los COV con un factor situado en el rango entre 1:10 y 1:15.

Esta MTD no se aplica a gases residuales de la reducción del horno debido a la alta temperatura de los gases residuales (véase el apartado 20.11.3.2).

### **Emisiones de partículas a la atmósfera**

83. Constituye una MTD reducir la cantidad de partículas en el aire tal y como se explica en la MTD 43.

### **Eficiencia de los materiales**

84. Los niveles de emisión asociados con las MTD para minimizar el consumo de disolventes están incluidos en los niveles de emisión para COV de la MTD 80.

85. Constituye una MTD optimizar la eficiencia de transferencia de los revestimientos. Las siguientes técnicas presentan las mejores eficiencias de transferencia (véase el apartado 20.7.3):

- aplicación con robot (véase el apartado 20.2.3);
- inmersión en lugar de pulverización;
- aplicación electrostática;
- pistolas HVLP (gran volumen baja presión);
- optimización de la cabina.

Sin embargo, existen algunas limitaciones técnicas. Por ejemplo, las pistolas de pulverización tradicionales y la pulverización manual pueden ser necesarias en zonas restringidas en las que las pistolas HVLP (gran volumen baja presión) o electrostáticas no puedan emplearse o no puedan satisfacer los requisitos operativos y de calidad, como es el caso de la fabricación de pequeños volúmenes.

### **Vertidos al agua**

86. Las MTD para los sistemas de lavadores húmedos se describen en la MTD 49

87. Las MTD para minimizar la contaminación del agua se describen en las MTD de la 44 a la 49.

### **Residuos**

88. Constituye una MTD minimizar la producción de residuos mediante las dos técnicas descritas a continuación:

- reducir la generación de exceso de pulverización de pintura optimizando la eficiencia de transferencia;



- extrayendo el agua de los fangos de pintura antes de ser desechados, reciclando los fangos de pintura o bien utilizando la técnica de emulsión de agua (véanse los apartados 20.7.5.6, 20.7.5.7 y 20.7.5.8).

## 21.7 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de furgonetas, camiones y cabinas de camiones

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

89. El proceso de pintura en la fabricación de vehículos es muy complejo y está completamente integrado, y es mucho más complicado en el caso de camiones y vehículos comerciales debido a razones económicas y técnicas, véanse los apartados 7.3.3.1 y 7.4. La elección de pintura y sistemas de aplicación tienen una gran influencia en la elección de secadores y dispositivos de tratamiento de gases residuales. Las MTD no pueden por tanto determinarse para cada etapa en particular.

### MTD conjuntas

90. Constituye una MTD minimizar las emisiones de disolventes y el consumo de materias primas y energía seleccionando sistemas de pintura y secado de acuerdo con la MTD 28 junto con las técnicas de tratamiento de gases residuales descritas en las MTD de la 37 a la 42.

Los valores totales de emisión de COV asociados con la MTD descrita anteriormente son (véase el apartado 7.3.3.1):

- para el revestimiento de nuevas cabinas de camión: de 10 a 55 g/m<sup>2</sup>;
- para el revestimiento de nuevas camionetas y nuevos camiones: de 15 a 50 g/m.

siempre que las emisiones y la zona de superficie como zona galvanizada se determinen de acuerdo con el anexo 24.5.

91. La MTD 81 presenta las MTD para la planificación e implantación de reducciones de los consumos y emisiones.

92. Constituye una MTD reducir las emisiones de disolventes de limpieza por debajo de 20 g/m<sup>2</sup> mediante el uso de buenas prácticas de mantenimiento, limpieza y sustitución, como las que se mencionan en los apartados 20.2.2, 20.9 y 20.10 (véase el apartado 7.3.3.1).

93. Es MTD reducir las emisiones de disolventes procedentes de la aplicación de materiales de amortiguación del ruido y de recubrimiento del suelo mediante el uso de materiales de PVC o poliuretano sin disolventes aplicados con pulverización sin aire (véase el apartado 8.2.8).

### Emisiones de partículas a la atmósfera

94. Constituye una MTD reducir la cantidad de partículas en el aire tal y como se explica en la MTD 43.

### Eficiencia de los materiales

95. Los niveles de emisión asociados con las MTD para minimizar el consumo de disolventes están incluidos en los niveles de emisión para COV de la MTD 92.

96. Las MTD para maximizar la eficiencia de transferencia de los revestimientos se describen en la MTD 85 (véase el apartado 20.7.3).

### **Vertidos al agua**

97. Las MTD para los sistemas de lavadores húmedos se describen en la MTD 49.
98. Las MTD para minimizar la contaminación del agua se describen en las MTD de la 44 a la 49.

### **Residuos**

99. Las MTD para minimizar la producción de residuos de pintura se describen en la MTD 88.

## **21.8 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de autobuses**

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

100. El proceso de pintura en la fabricación de vehículos es muy complejo y está completamente integrado, y es mucho más complicado en el caso de autobuses debido a razones económicas y técnicas, véanse los apartados 8.3.3.1 y 8.4. La elección de pintura y sistemas de aplicación tienen una gran influencia en la elección de secadores y dispositivos de tratamiento de gases residuales. Las MTD no pueden por tanto determinarse para cada etapa en particular.

### **MTD conjuntas**

101. Constituye una MTD minimizar las emisiones de disolventes y el consumo de materias primas y energía seleccionando sistemas de pintura y secado de acuerdo con la MTD 28 junto con las técnicas de tratamiento de gases residuales descritas en las MTD de la 37 a la 42.

Los valores de emisión de COV asociados a la MTD mencionada anteriormente son de 92 a 150 g/m<sup>2</sup> para el revestimiento de autobuses nuevos (véase al apartado 8.3.3.1), siempre que las emisiones y la zona de superficie como zona galvanizada se determinen de acuerdo con el anexo 24.5.

102. La MTD 81 presenta las MTD para la planificación e implantación de reducciones de los consumos y emisiones.

103. Constituye una MTD reducir las emisiones de disolventes de limpieza por debajo de 20 g/m<sup>2</sup> mediante el uso de buenas prácticas de mantenimiento, limpieza y sustitución, como las que se mencionan en los apartados 20.2.2, 20.9 y 20.10 (véase el apartado 8.3.3.1).

104. Es MTD reducir las emisiones de disolventes procedentes de la aplicación de materiales de amortiguación del ruido y de recubrimiento del suelo mediante el uso de materiales de PVC o poliuretano sin disolventes aplicados con pulverización sin aire (véase el apartado 8.2.8).

105. Constituye una MTD minimizar las emisiones de disolventes mediante el uso de materiales prerrevestidos (laminados) en la construcción de los vehículos (véase el apartado 9.3.3).

### **Emisiones de partículas a la atmósfera**

106. Constituye una MTD reducir la cantidad de partículas en el aire tal y como se explica en la MTD 43.

### **Eficiencia de los materiales**

107. Los niveles de emisión asociados a las MTD para minimizar el consumo de disolventes están incluidos en los niveles de emisión para COV de las MTD 101 y 103.

108. Las MTD para maximizar la eficiencia de transferencia de los revestimientos se describen en la MTD 85 (véase el apartado 20.7.3).

**Vertidos al agua**

109. Las MTD para los sistemas de lavadores húmedos se describen en la MTD 49.

Las MTD para minimizar la contaminación del agua se describen en las MTD de la 44 a la 49.

**Residuos**

110. Las MTD para minimizar la producción de residuos de pintura se describen en la MTD 88.

**21.9 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de trenes**

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

**Emisiones de disolventes a la atmósfera**

111. Es MTD reducir las emisiones de COV mediante una combinación de las técnicas descritas a continuación en la Tabla 21.7 y las MTD genéricas del apartado 21.1:

Técnica	Apartado	Aplicabilidad
<b>Técnicas específicas para materiales:</b>		
Aplicación de capas base, imprimaciones y capas protectoras de base acuosa	9.3.3 y 9.4.2.1	
Aplicación de una pintura transparente convencional	9.3.3 y 9.4.1	Sólo para acabados lacados de dos capas
Imprimaciones y protección de bajos de base acuosa en combinación con materiales de capa gruesa	9.3.3 y 9.4.2.1	
Imprimaciones y aditivos de base acuosa	9.3.3 y 9.4.1	
Uso de masillas con bajo contenido en estireno	9.3.3	
Uso de pinturas de alto contenido en sólidos	9.4.2.2	Para capas protectoras de 1 capa cuando no se utilicen capas protectoras de base acuosa
Uso de materiales prerrevestidos (laminados) en la construcción de nuevos vehículos sobre raíles	9.3.3	
<b>Técnicas específicas para procesos:</b>		
Aplicación de revestimiento por inmersión, convencional o revestimiento electrolítico	20.7.2.3	
Aplicación de materiales de amortiguación del ruido y revestimiento del suelo de poliuretano sin disolventes	8.2.8	En caso de que se aplique amortiguación del ruido y revestimiento del suelo
Reducción de superficies pintadas mediante, por ejemplo, el uso de hojas adhesivas para diseños decorativos o como protección contra graffities.	9.3.3	
Dispositivos eficientes de aplicación: pulverización HVLP, sin aire y con aire	9.3.3 y 9.4.3.2	
Reciclado de agentes de limpieza mediante la destilación de residuos de pinturas o fangos de pintura que contienen disolventes	9.3.3, 20.13.1 y 20.13.2.2	
Oxidante térmico para tratar los gases residuales	9.3.3 y 9.4.6.5	Gases residuales de los secadores

**Tabla 21.7: Trenes: técnicas para reducir las emisiones de disolventes a la atmósfera**

Los valores totales de emisión para los COV asociados a estas técnicas son de entre 70 y 110 g COV/m<sup>2</sup> de la zona pintada, véase el apartado 9.3.3.1 (véanse los anexos 24.2. Esta no es la zona galvanizada, según se determina en el anexo 24.5).

#### Emisiones de partículas a la atmósfera

112. Constituye una MTD reducir las emisiones de partículas aplicando una combinación de las siguientes técnicas:

- mejora de la eficiencia de absorción mediante centrifugación por efecto Venturi (véase el apartado 20.11.3.4);
- lavadores (véase el apartado 9.4.6.2);
- sistemas de filtro seco, (véase el apartado 9.4.6.3);
- electrofiltros (véase el apartado 9.4.6.4).

Los valores de emisión asociados a estas técnicas son de 3 mg/m<sup>3</sup> o menos.

### 21.10 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción (EAC)

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

#### Emisiones de disolventes a la atmósfera

113. Los sistemas de aplicación y pintura pueden ser interdependientes, y la selección de dispositivos de recogida y tratamiento de gases residuales también depende de estas elecciones. Constituye una MTD seleccionar un sistema de pintura y secado de acuerdo con la MTD 28 junto con sistemas de tratamientos de gases residuales tal y como se explica en las MTD de la 37 a la 42. Las técnicas adecuadas pueden seleccionarse de la Tabla 21.8, la Tabla 21.9 y la Tabla 21.10 a continuación, así como de las MTD 114 y 115.

Según la opinión de los expertos del TWG, los niveles de emisión de COV asociados con la MTD descrita anteriormente son:

- emisiones de entre 20 y 50 mg C/m<sup>3</sup> en gases residuales y entre 10 y 20 % de porcentaje en peso de aporte de disolvente para emisiones fugitivas; o
- emisiones totales de entre 0,2 y 0,33 kg de COV por kg de aporte de sólidos.

Técnica	Referencia cruzada	Aplicabilidad
imprimación epoxi de 2 componentes de base acuosa , capa protectora epoxi de 2 componentes de base acuosa	20.7.2.3	
Revestimiento por inmersión de base acuosa, dos etapas	20.7.2.3	
Revestimiento electrolítico + revestimiento por inmersión de base acuosa	20.7.2.3	
Revestimiento electrolítico + capa protectora de 2 componentes (de base disolvente o acuosa) pulverizada en superficies visibles	20.7.2.2, 20.7.2.3	
Revestimiento en polvo	20.7.2.5	Planta nueva o mejorada

Tabla 21.8: EAC: técnicas relacionadas con materiales de revestimiento

Técnica	Referencia cruzada	Aplicabilidad
Cambio de aplicación de pulverización a revestimiento por inmersión convencional	20.7.3.3	Cuando los componentes tengan un tamaño adecuado
Cambio de aplicación de pulverización a imprimación por revestimiento electrolítico	20.7.3.4	Cuando los componentes tengan un tamaño adecuado
Cambio de sistema de dos capas a revestimiento electrolítico de una capa	20.7.3.4	Cuando los componentes tengan un tamaño adecuado
Cambio a capa protectora por revestimiento en polvo	20.7.3.18	Planta nueva o mejorada

**Tabla 21.9: EAC: técnicas de aplicación**

Técnicas	Referencia cruzada	Aplicabilidad
Filtración de las emisiones de partículas	20.11.3.5	Revestimientos de base acuosa
Confinamiento de la instalación de pretratamiento y tratamiento del aire de salida	20.11 y 20.11.3.7	Revestimientos con disolventes
Depuración del aire de salida del horno	20.11	Revestimientos con disolventes
Depuración del aire de salida del tanque de inmersión (adsorción, incineración)	20.11	Revestimientos con disolventes

**Tabla 21.10: EAC: técnicas de tratamiento de gases residuales**

### Sustitución

114. Constituye una MTD utilizar otros sistemas de revestimiento en lugar de pinturas de base disolventes halogenados (véanse las MTD 33 y 34). Ya están disponibles otros sistemas de revestimiento (véanse los apartados 20.7 y 20.10).

Para los disolventes halogenados utilizados en limpieza, véanse las 33 y 35.

115. Constituye una MTD utilizar el revestimiento por inmersión (véanse los apartados 10.2, 10.4 y 10.4.3) de los componentes antes del ensamblaje para:

- reducir las emisiones de disolventes reduciendo la pulverización;
- mejorar la eficiencia de materiales (dependiendo del grosor de revestimiento necesario);
- reducir el caudal de aire y, por tanto, el tamaño y el consumo de energía del dispositivo de extracción y reducción.

### Emisiones de partículas a la atmósfera

116. Constituye una MTD reducir la cantidad de partículas en el aire tal y como se explica en la MTD 43.

## 21.11 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de buques y yates

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

117. La venta y el uso de antiincrustante que contiene óxido de tributilestano (TBTO) está controlada por la legislación de la UE, véase el apartado 11.2.3. El apartado 11.4.5 describe otras opciones para el revestimiento con antiincrustante menos ecotóxicos.

118. Constituye una MTD minimizar las emisiones al ambiente garantizando que la MTD en este apartado esté incluida en la disciplina sobre diques secos para la instalación.

### **Emisiones de disolventes a la atmósfera**

119. Es MTD minimizar las emisiones de COV mediante un combinación de las técnicas descritas a continuación junto con las MTD genéricas del apartado 21.1:

- uso de pinturas de 2 componentes o de alto contenido en sólidos de base acuosa (con o sin uso de pulverización en caliente, véase el apartado 11.4.4.2) en lugar de las pinturas tradicionales de base disolvente (véase el apartado 11.4.2). El alcance de la sustitución puede verse limitado por los requisitos técnicos o del cliente en relación con el revestimiento;
- reducción del exceso de pulverización y mejora de la eficiencia de aplicación (véase el apartado 11.4.6) manteniendo el exceso de pulverización en la parte inferior del dique seco mediante:
  - el uso de redes, cortinas de agua u otros métodos;
  - limitando la pulverización con condiciones meteorológicas en las que la intensidad y la dirección del viento pueden aumentar el exceso de pulverización;
- en casos de nueva construcción, pulverizar las secciones construidas antes del ensamblaje (etapas en bloque) en zonas cerradas (véase el apartado 11.2.1);
- extracción del aire de zonas cerradas en las que se lleve a cabo la pulverización y aplicar una combinación de técnicas de tratamiento de gases residuales como las descritas en el apartado 20.11 (véase también el apartado 11.4.6.3).

### **Emisiones de partículas a la atmósfera**

120. Constituye una MTD reducir las emisiones de partículas de polvo a la atmósfera mediante una o varias de las siguientes técnicas:

- contener las partículas de polvo, abrasivos y pintura eliminada dentro del dique o varadero mediante:
  - el uso de redes o cortinas de agua u otros métodos similares;
  - limitando la retirada de pintura con abrasivos en condiciones meteorológicas en las que la intensidad y la dirección del viento pueden aumentar el arrastre de polvo;
  - el uso de chorreado de aire comprimido o al vacío, agua a alta presión o chorreado de fango (véanse los apartados 11.4.3.2, 11.4.3.3, 11.4.3.4) según los requisitos técnicos.

121. Constituye una MTD reducir la contaminación por aguas residuales eliminando los residuos, sobrantes y contenedores de pintura, abrasivos utilizados, barro, residuos de aceite y cualquier otro material sobrante del dique antes de la inundación. Estos materiales deben guardarse en contenedores para ser gestionados adecuadamente, por ejemplo, reutilización o desecho (véanse los apartados 11.3.3.1 y 20.12).

## **21.12 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de aeronaves**

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

122. La construcción y el mantenimiento de aeronaves exige una homologación de seguridad y una garantía de protección anticorrosión del fabricante de 25 años. Estos aspectos pueden limitar algunas opciones de MTD puesto que sólo pueden utilizarse sistemas de pintura específicos.

123. Constituye una MTD eliminar los vertidos de Cr (VI) al agua utilizando procesos de pasivación alternativos al de Cr (VI) para imprimaciones de lavado en las que exista homologación (véase el apartado 12.4.3).

124. Es MTD reducir las emisiones de COV mediante todas o una combinación de las técnicas descritas a continuación junto con las MTD genéricas del apartado 21.1:

- uso de pinturas de 2 componentes o de alto contenido en sólidos en lugar de materiales con alto contenido de disolventes (véase el apartado 12.4.2.1);
- confinar los gases residuales en el punto de aplicación y para piezas de componentes (véanse los apartados 12.3.1.1 y 12.4.5.3) si los componentes son el 80 % del área de superficie;
- aplicar una combinación adecuada de técnicas de tratamiento de gases residuales como las descritas en el apartado 20.11 (véase también el apartado 12.4.5);
- reducir o sustituir los disolventes utilizados en la limpieza (véanse los apartados 20.9 y 20.10), automatizar el equipo de limpieza (véase el apartado 20.2.3) por ejemplo midiendo la cantidad de disolvente utilizada para la limpieza, y reducir las emisiones en el almacenamiento y el uso (véanse los apartados 20.2.2.1 y 20.2.3) especialmente el uso de paños preimpregnados para limpieza.

#### **Emisiones de partículas a la atmósfera**

125. Constituye MTD reducir las emisiones de polvo mediante:

- mejora de la eficiencia de absorción mediante la separación por efecto Venturi (véase el apartado 12.4.5.1);
- uso de un lavador (véase el apartado 12.4.5.2).

Los valores de emisión asociados a estas técnicas son de 1 mg/m<sup>3</sup> o menos.

### **21.13 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de otras superficies metálicas**

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

#### **MTD conjuntas**

126. Los sistemas de aplicación y pintura pueden ser interdependientes y tendrán que seleccionarse para cada tipo de pieza y sustrato que va a revestirse. La selección del sistema de recogida y tratamiento de gases residuales también depende de estas elecciones. Constituye una MTD seleccionar un sistema de pintura y secado de acuerdo con la MTD 28 junto con las técnicas de tratamiento de gases residuales tal y como se explica en las MTD de la 37 a la 42.

#### **Emisiones de disolventes a la atmósfera**

127. Es MTD reducir las emisiones de COV mediante todas o una combinación de las técnicas descritas a continuación junto con las MTD genéricas del apartado 21.1:

- pinturas con bajo contenido en disolventes (véase el apartado 20.7.2);
- técnicas de reducción de COV de la MTD 126.



Según la opinión de los expertos del TWG, los valores de emisión de COV asociados con estas técnicas son de entre 0,1 y 0,33 kg COV/kg de aporte de sólidos (tal y como se describe en el anexo 24.2). Estos niveles no se aplican cuando los componentes metálicos para la automoción se revisten en una instalación en la que estas emisiones se incluyen en el cálculo de la tasa de emisión masiva para el revestimiento en serie de vehículos (véanse los apartados 21.6, 21.7 y 21.8).

128. Constituye una MTD utilizar otros sistemas de revestimiento en lugar de pinturas de base disolvente halogenados (véanse las MTD 33 y 34). Ya están disponibles otros sistemas de revestimiento (véanse los apartados 20.7 y 20.10).

Para los disolventes halogenados utilizados en limpieza, véanse las 32 y 35.

### **Eficiencia de los materiales**

129. Constituye una MTD reducir el consumo de materiales (incluyendo el uso de disolventes) mediante el uso de técnicas de aplicación de alta eficiencia (véase el apartado 20.7.3).

## **21.14 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de bobinas**

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1. La industria utiliza procesos de pretratamiento de base acuosa (por ejemplo, desengrasado, galvanoplastia, revestimiento de conversión, etc.) y las MTD relacionadas con ellos se comentan en el documento de referencia de MTD del BREF STM, véase el párrafo 3.

### **Consumo de energía**

130. Constituye una MTD reducir el consumo de energía utilizando una selección de las técnicas expuestas en el apartado 20.5 y recuperar la energía del sistema de tratamiento térmico de gases residuales, véase el apartado 20.11. Los valores de consumo asociados a estas MTD se muestran en la Tabla 21.11 (véase el apartado 14.3.2.3):

<b>Energía utilizada/1000 m<sup>2</sup> de sustrato</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Electricidad utilizada en kWh/1000 m <sup>2</sup> de aluminio	270	375
Electricidad utilizada en kWh/1000 m <sup>2</sup> de acero	250	440
Combustibles fósiles en MJ/1000 m <sup>2</sup> de aluminio	4000	9800
Combustibles fósiles en MJ/1000 m <sup>2</sup> de acero	3000	10 200

**Tabla 21.11: Revestimiento de bobinas: consumo de energía para el revestimiento de sustratos de aluminio y acero**

### **Emisiones de disolventes a la atmósfera**

131. Es MTD reducir las emisiones de disolventes mediante una combinación de las técnicas descritas a continuación en la Tabla 21.12 y las MTD genéricas del apartado 21.1. Los valores de emisión de COV asociados a estas técnicas son (véase el apartado 14.3):

- para plantas nuevas: entre 0,73 y 0,84 g/m<sup>2</sup> en los gases residuales, y entre el 3 y el 5 % para emisiones fugitivas;
- para plantas existentes: entre 0,73 y 0,84 g/m<sup>2</sup> en los gases residuales, y entre el 3 y el 10 % para emisiones fugitivas.

Véase el apartado 14.3.3.1. Las plantas existentes sólo alcanzan los valores más bajos del rango cuando sufren mejoras significativas.

Técnica	Referencia cruzada	Aplicabilidad
<b>Sustitución</b>		
Revestimientos de alto contenido en sólidos	14.4.3.1	No todas las aplicaciones
Revestimientos de base acuosa	14.4.3.2	No todas las aplicaciones
Revestimientos en polvo <sup>(1)</sup>	14.4.3.3	Prácticamente cero emisiones de COV, pero problemas de olor
Revestimientos de hojas laminadas	14.4.3.4	No todas las aplicaciones
<b>Revestimiento</b>		
Revestimiento con rodillo	14.4.4.1	<sup>(2)</sup> Todas
<b>Recogida y tratamiento de los gases residuales</b>		
Juntas de estanquidad a la entrada y la salida	14.4.8.1	<sup>(2)</sup> Todas
Aire de presión negativa en zonas de proceso	14.4.8.2	<sup>(2)</sup> Todas
Extracción y tratamiento del aire de la zona de preparación del revestimiento	14.4.8.3	<sup>(2)</sup> Todas las plantas nuevas: baja concentración de COV
Extracción y tratamiento del aire de la aplicación de pintura	14.4.8.4	<sup>(2)</sup> Todas: 8 % de fuente de COV
Extracción y tratamiento del aire de la secadora/horno	14.4.8.5	<sup>(2)</sup> Todas: 95 % de COV procesados
Extracción y tratamiento del aire de la zona de enfriamiento	14.4.8.6	Plantas nuevas: 1-2 % de COV
<b>Limpieza</b>	14.4.4.2	
<b>Gestión de residuos que contienen disolventes</b>	20.2.2.1 y 20.13	
<sup>(1)</sup> El revestimiento en polvo puede alcanzar emisiones de COV cercanas a cero, pero no puede utilizarse en todas las aplicaciones por razones técnicas. Además, a menudo es necesario un tratamiento de gases residuales debido a los olores. <sup>(2)</sup> Todos = procesos de revestimiento sin polvo, cuando estas técnicas puedan utilizarse por otras razones, por ejemplo, control de olores.		

**Tabla 21.12: Revestimiento de bobinas: selección de técnicas para controlar los consumos y las emisiones de disolventes**

### Residuos

132. Constituye una MTD reciclar el acero y el aluminio de los sustratos residuales, véase el apartado 14.3.3.3.

## 21.15 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento e impresión de envases metálicos

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

### Consumo de energía

133. Constituye una MTD reducir el consumo de energía utilizando las técnicas expuestas en el apartado 20.5 y recuperar la energía del sistema de tratamiento térmico de gases residuales, véase el apartado 20.11. Los valores de consumo asociados a estas MTD para latas embutidos y estirados (DWI) (véase el apartado 15.3.2) son:

- gas natural: entre 5 y 6,7 kWh/m<sup>2</sup>;
- electricidad: entre 3,6 y 5,5 kWh/m<sup>2</sup>;

- energía recuperada (cuando la energía pueda recuperarse, pero no es posible cuando los niveles de emisión se alcanzan por sustitución): entre 0,3 y 0,4 kWh/m<sup>2</sup>.

**Emisiones de disolventes a la atmósfera**

134. Constituye una MTD reducir las emisiones de disolventes. Los valores de emisión de COV que aparecen en la Tabla 21.13 (véase el apartado 15.3.3.1) están asociados al uso de una selección de las técnicas mencionadas en la Tabla 21.14 así como de las MTD genéricas descritas en el apartado 21.1.

	Nivel de emisión de COV en la aplicación (g/m <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	
	De base disolvente	De base acuosa
Contacto alimentario <ul style="list-style-type: none"> <li>latas de bebida DWI</li> <li>láminas para tapas, latas y componentes</li> <li>bidones</li> </ul>	6,7 – 10,5 4 – 93 90 – 100	3,2 – 4,5 1 – 30
Sin contacto alimentario <ul style="list-style-type: none"> <li>láminas para tapas, latas y componentes</li> <li>bidones</li> </ul>	4 – 93 60 – 70	1 – 30 11 – 20
Pintura de imprenta <ul style="list-style-type: none"> <li>láminas para tapas, latas y componentes(1)</li> </ul>	2,5 – 13	1 – 6
Notas: (1) Las aplicaciones de pintura y tinta UV son de carácter no alimentario y están limitadas a aplicaciones especiales, pero pueden conseguir valores inferiores a los indicados en esta tabla. (2) Los valores incluyen también las emisiones fugitivas		

**Tabla 21.13: Envases metálicos: valores de emisión para los disolventes asociados a MTD**

Técnica	Referencia cruzada	Aplicabilidad
Reemplazo de revestimientos y tintas (sustitución)	15.4.1, 15.4.2	
Técnicas de aplicación	15.4.3	
Impresión	15.4.4 (véanse también los apartados y MTD para impresión)	
Recogida y tratamiento de los gases residuales	15.4.5, 20.11	
Minimización y tratamiento de residuos que contienen disolventes	20.13	

**Tabla 21.14: Envases metálicos: técnicas para reducir las emisiones de disolventes**

**Vertidos al agua**

135. Constituye una MTD minimizar los vertidos al agua. Los niveles de emisión indicados en la Tabla 21.15 pueden alcanzarse mediante una combinación adecuada de las técnicas mencionadas en los apartados 15.4.6 y 20.12.

Compuesto	Concentración (mg/l)
DQO	350 o menos
AOX	0,5 – 1
HC	20 o menos
Sn	4 o menos

**Tabla 21.15: Envases metálicos: niveles de emisión para aguas residuales**

## 21.16 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de piezas de plástico

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

136. Si se utilizan sistemas de pretratamiento de base acuosa, consúltense las MTD y los valores de consumo en el BREF STM, véase el párrafo 3.

137. Los sistemas de aplicación y pintura pueden ser interdependientes y tendrán que seleccionarse para cada tipo de pieza y sustrato que va a revestirse. También puede existir incompatibilidad entre los sistemas de pintura. La selección del sistema de recogida y tratamiento de gases residuales también depende de estas elecciones.

### MTD conjuntas

138. Constituye una MTD minimizar el consumo y las emisiones de disolventes, maximizar la aplicación de pintura y minimizar el uso de energía seleccionando sistemas de pintura y secado de acuerdo con la MTD 28 junto con las técnicas de tratamiento de gases residuales descritas en las MTD de la 37 a la 42.

### Emisiones de disolventes a la atmósfera

139. Es MTD reducir las emisiones de COV mediante una o una combinación de las técnicas descritas a continuación junto con las MTD genéricas del apartado 21.1.

- pinturas con bajo contenido de disolventes (véase el apartado 20.7.2);
- técnicas de reducción de COV de las MTD 137, 140 y 140.

Según la opinión de los expertos del TWG, los valores de emisión asociados con estas técnicas son de entre 0,25 y 0,35 kg COV/kg de aporte de sólidos (véase el apartado 16.3.2.1, y utilizando las unidades descritas en el anexo 24.2). Estos niveles no se aplican cuando los componentes plásticos para la automoción se revisten en una instalación en la que estas emisiones se incluyen en el cálculo de la tasa de emisión masiva para el revestimiento en serie de vehículos (véanse los apartados 21.6, 21.7 y 21.8).

140. Para instalaciones nuevas o mejoradas, constituye una MTD reducir las emisiones de disolventes priorizando los sistemas de base acuosa.

141. Para superficies simples de polipropileno, constituye una MTD reducir las emisiones de disolventes y el uso de agua mediante el uso limpieza a mano con paños impregnados en disolventes (véase el apartado 16.2).

### Emisiones de partículas a la atmósfera

142. Constituye una MTD reducir la cantidad de partículas en el aire tal y como se explica en la MTD 43.

### Eficiencia de los materiales

143. Constituye una MTD minimizar el consumo de materiales (incluyendo el uso de disolventes) y las pérdidas de materias primas aumentando la eficiencia de transferencia y técnicas de gestión de materias primas. A continuación se presentan técnicas clave, pero presentan limitaciones técnicas (véanse los apartados 16.2 y 16.4):

- pretratamiento de superficies plásticas mediante fluoración.
- técnicas de aplicación de alta eficiencia como (véase el apartado 20.7.3):
  - automatización de la aplicación del revestimiento (pueden alcanzarse eficiencias de entre el 45 y el 85 % , dependiendo de la geometría),

- utilizar campanas electrostáticas de alta rotación,
- utilizar aplicadores HVLP o electrostáticos,
- colores por lotes.

### Vertidos al agua

144. Las MTD para los sistemas de lavadores húmedos se describen en la MTD 49:

- optimizando la eficiencia de transferencia (véase el apartado 20.7.3);
- minimizando la acumulación de fangos de pintura (véanse los apartados 20.7.5.6, 20.7.5.7 y 20.7.5.8).

145. Las MTD para minimizar la contaminación del agua se describen en las MTD de la 44 a la 47.

### Residuos

146. Las MTD para minimizar la producción de residuos de pintura se describen en la MTD 88.

## 21.17 Mejores técnicas disponibles para el revestimiento de muebles y madera

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

147. Los sistemas de aplicación y pintura pueden ser interdependientes y tendrán que seleccionarse para cada tipo de pieza y sustrato que va a revestirse. También puede existir incompatibilidad entre los sistemas de pintura. La selección del sistema de recogida y tratamiento de gases residuales también depende de estas elecciones.

### MTD conjuntas

148. Constituye una MTD minimizar el consumo y las emisiones de disolventes, maximizar la aplicación de revestimiento y minimizar el uso de energía seleccionando sistemas de pintura y secado de acuerdo con las técnicas descritas en la Tabla 21.17, las MTD genéricas descritas en la MTD 28 y los sistemas de tratamiento de gases residuales descritos en las MTD de la 37 a la 42.

### Emisiones de disolventes a la atmósfera

149. Los valores de emisión de COV asociados a la MTD 147 son:

- 0,25 o menos de COV/kg de aporte de sólidos
- 
- los valores de la Tabla 21.16:

Contenido de disolventes orgánicos del sistema de pintura	Contenido de disolventes (% en peso)	Medidas de reducción de emisiones	Emisión de COV (g/m <sup>2</sup> )
Alto	65	Técnicas de aplicación de alta eficiencia y buena limpieza	40 – 60
Medio	20		10 – 20
Bajo	5		2 – 5

**Tabla 21.16: Revestimiento de madera: emisiones de COV para diversos sistemas de pintura con medidas primarias de reducción de emisiones**

Técnica	Referencia cruzada	Aplicabilidad
<b>Sustitución</b>		
Revestimientos de base acuosa	17.4.3.1	No es posible con roble
Revestimientos en polvo – con secado convencional	17.4.3.2	Sólo MDF
Revestimientos curados por radiación	17.4.3.3	Sólo piezas planas
<b>Revestimiento</b>		
Laminado y relleno utilizando máquinas de revestimiento invertidas	17.4.4.1	Sólo piezas planas
Revestimiento en cortinas (fundición)	17.4.4.2	
Inmersión convencional	17.4.4.3	
Revestimiento en vacío	17.4.4.5	
Revestimiento en polvo – pulverización electrostática	17.4.4.9	
Inundación	17.4.4.4	
<b>Recogida y tratamiento de los gases residuales</b>		
Cabinas de pulverización con eliminación de partículas	17.4.5	
Técnicas de tratamiento de gases residuales	17.4.4.6 y 20.11	Cuando otras técnicas no están disponibles o no alcanzan niveles adecuados
<b>Gestión de residuos que contienen disolventes</b>	20.2.2.1 y 20.13	

**Tabla 21.17: Revestimiento de madera: técnicas para reducir el consumo y la emisión de disolventes y mejorar la eficiencia de revestimiento**

### Emisiones de partículas a la atmósfera

150. Constituye una MTD minimizar la emisión de partículas de la pulverización utilizando sistemas de filtración seca o húmeda para los gases residuales procedentes de la pulverización, tal y como se describe en los apartados 20.11.3.5, 20.11.3.6 y 20.11.3.7, y en el apartado 17.4.5. La MTD 43 muestra los niveles de emisión asociados a estas técnicas.

### Opinión divergente

La industria registró una opinión divergente en relación con los valores mostrados en la MTD 43. Según la información proporcionada en los apartados 17.4.7.1 y 17.4.7.4, los valores de emisión que se consideran asociados a la MTD son 10 mg/m<sup>3</sup> o menos para todas las instalaciones.

Este valor se basa en lo que consideramos viable tanto económica como técnicamente en la industria.

### Eficiencia de los materiales

151. Constituye una MTD optimizar el uso de materias primas mediante las técnicas de aplicación de la Tabla 21.17 y el apartado 17.4.1.

## 21.18 Mejores técnicas disponibles para la conservación de la madera

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

152. Debido a la toxicidad de los componentes de los sistemas de tratamiento (véase el apartado 18.1), se destacan las MTD 15 y 16 referentes a la prevención de fugas no planeadas al agua y al suelo.

### **Emisiones de disolventes a la atmósfera**

153. Constituye una MTD reducir las emisiones de disolventes con COV utilizando la impregnación en vacío con sistemas de base acuosa o con sistemas con una elevada concentración de plaguicidas en sistemas de base disolvente (véanse los apartados 18.4.2 y 20.10), o con sistemas de tratamiento de gases residuales (véase el apartado 20.11). El carbón activo o la condensación pueden ser especialmente adecuados a la naturaleza intermitente y a los diferentes tamaños de las actividades.

154. Constituye MTD utilizar una fase final de vacío en el ciclo de proceso para eliminar el exceso de disolvente o de portador.

La reducción de las emisiones de COV asociadas a la MTD 153 y a esta MTD 153 son (véase el apartado 18.3.3.1):

- puede conseguirse una reducción del 99 % utilizando sistemas de base acuosa;
- puede conseguirse una reducción del 70 % utilizando sistemas de base disolvente con tratamiento de gases residuales.

155. En el caso de los sistemas de base disolvente, puede liberarse una cantidad importante de disolvente tras el tratamiento de la madera. Por tanto, constituye MTD reducir el efecto de estos disolventes mediante el uso de sistemas de base disolvente con bajos potenciales de formación de ozono (véase el apartado 20.10.2).

156. No es MTD pulverizar, ya que la pulverización tiene una eficiencia de aplicación total de sólo entre el 10 y el 15 % (véase el apartado 18.1).

### **Vertidos al agua y al suelo**

157. Tanto en los sistemas de base acuosa como de base disolvente, es MTD drenar el exceso de plaguicida en zonas de contención (véase el apartado 20.2.1). El plaguicida recogido puede ser reutilizado o eliminado como residuo peligroso.

## **21.19 Mejores técnicas disponibles para la fabricación de espejos**

La introducción de este capítulo (en el apartado «Ayudas para entender este capítulo», párrafo 2) establece cómo las MTD de este apartado están relacionadas con las MTD genéricas del apartado 21.1.

### **Emisiones de disolventes a la atmósfera**

158. Es MTD minimizar las emisiones y los consumos de disolventes (principalmente xileno) mediante un combinación de las técnicas descritas a continuación junto con las MTD genéricas del apartado 21.1:

- uso de pinturas de alto contenido en sólidos (véase el apartado 19.4.2.1);
- aplicación de revestimientos en cortinas (eficiencia de aplicación cercana al 100 %), véase el apartado 19.4.3.1;
- confinamiento de las principales zonas en las que se utilizan disolventes, extraer y tratar térmicamente el gas residual.

Los fabricantes que no trabajen de manera continua pueden necesitar tratamientos alternativos de gases residuales (véase el apartado 19.4.5).



Los valores de emisión de COV asociados a estas técnicas son de entre 1 y 3 g/m<sup>2</sup> para el gas residual (entre 2 y 3 % del aporte de disolvente) y entre 5 y 10 g/m<sup>2</sup> para emisiones fugitivas (entre 8 y 15 % del aporte de disolvente), véase el apartado 19.3.3.1.

**Reemplazo de materiales peligrosos (sustitución)**

159. Constituye una MTD reducir el uso de materiales peligrosos utilizando pinturas con bajo contenido de plomo (véase el apartado 19.4.2.1).

**Vertidos al agua**

160. El STM BREF presenta directrices relacionadas con los procesos de tratamiento de superficies de base acuosa en esta industria y con el tratamiento de los vertidos al agua relacionados y los niveles de emisión asociados.



## 22 TÉCNICAS EMERGENTES PARA EL TRATAMIENTO DE SUPERFICIES MEDIANTE DISOLVENTES ORGÁNICOS

Una técnica emergente es considerada en este documento como una técnica nueva que todavía no ha sido aplicada de forma comercial en ningún sector industrial. Esta sección incluye aquellas técnicas que pueden aparecer en un futuro cercano y que pueden aplicarse en el sector del tratamiento de superficies mediante disolventes orgánicos.

### 22.1 Impresión/revestimiento

#### 22.1.1 Flexografía mediante curado por UV

**Descripción:** Es probable que en el futuro se desarrolle la impresión flexográfica mediante curado por UV para otros propósitos distintos de los envases de cartón para bebidas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de uso y emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

### 22.2 Fabricación de bobinas de alambre

#### 22.2.1 Encerado de alambres finos

**Descripción:** Se están considerando técnicas para reducir las emisiones de disolventes procedentes del secado final de la cera en alambres finos (entre 0,01 y 0,1 mm).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de consumo y emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004].

## 22.3 Fabricación de abrasivos

### 22.3.1 Procesos de secado y endurecimiento de alta velocidad

**Descripción:** Durante varios años se han estado registrando patentes orientadas a un secado y un endurecimiento más rápidos de los materiales de unión. Entre los nuevos procesos se incluyen, por ejemplo, la aplicación de radiación UV o microondas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Durante los próximos años, ninguno de los desarrollos actuales modificará o influirá en los procesos de producción en plantas existentes de producción de abrasivos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** No hay datos disponibles.

## 22.4 Fabricación de cinta adhesiva

No hay datos disponibles.

## 22.5 Revestimiento de vehículos y camionetas ligeras

[13, DFIU e IFARE, 2002] [76, TWG, 2004]

### 22.5.1 Mejora de recubrimientos transparentes de 1 y 2 componentes diluibles en agua

**Descripción:** Para el futuro se esperan nuevos productos en forma de sistemas de recubrimiento transparente de 1 y 2 componentes diluible en agua así como sistemas de recubrimiento transparente de 2 componentes de «muy alto contenido en sólidos» (contenido en sólidos de hasta el 90 % de porcentaje en peso).

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** No hay datos disponibles.

### 22.5.2 Desarrollos en revestimiento en polvo

**Descripción:** Se espera la aplicación de capas protectoras en polvo a mayor escala. Según las afirmaciones de los productores de pinturas, ya están disponibles diferentes sistemas de revestimiento de acabados pigmentados de base de polvo; sin embargo, todavía no se utilizan para su aplicación en serie. De acuerdo con la industria, esto puede deberse a la dificultad existente en la mezcla de colores que impide el reciclado. Los revestimientos en polvo actuales no cumplen la mayoría de los requisitos de durabilidad y resistencia física y química de los fabricantes europeos.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** Algunas consideraciones de salud y seguridad relativas a los revestimientos en polvo (véanse los apartados 20.7.3.18 y 20.7.3.19).

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** La empresa estadounidense DaimlerChrysler ha planeado recubrir completamente el Jeep Wrangler con revestimientos en polvo a partir de 2004. La empresa alemana BMW ha convertido una unidad de producción en unidad de revestimientos en polvo. Sin embargo, la capa protectora blanca no puede obtenerse de forma satisfactoria, y se produce en la línea de reparación.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005] [162, Eurocar, 2005]

### 22.5.3 Concepto de conversión de bajo coste

En la Bibliografía de referencia proporcionada hay referencias a esta técnica [13, DFIU e IFARE, 2002]. Los expertos de la industria de vehículos afirman que no existe, mientras que los expertos de la industria de suministros de pintura creen que se refiere a un sistema de capa base al agua con vaporización instantánea (flash-off) reducida, véase el apartado 20.7.2.4.

### 22.5.4 Aumento del uso de materiales prerrevestidos

**Descripción:** Un futuro desarrollo podría ser un aumento en la cuota de piezas laminadas completamente terminadas de forma que determinados procesos de pintura ya no serían realizados por el fabricante de coches (véase el capítulo 14).

**Beneficios ambientales obtenidos:** Debido a que los materiales laminados se revisten antes del moldeo y de la terminación de los subensamblajes (p. ej. puertas), las técnicas de aplicación y extracción permiten una emisión de COV por m<sup>2</sup> revestido menor que la pintura después del moldeo.

**Efectos cruzados:** las emisiones de COV permanecen (aunque reducidas), pero se transfieren a la producción de materiales laminados.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** No hay datos disponibles.

### 22.5.5 Sistemas de pintura de poliuretano (PU)

**Descripción:** Los sistemas de pintura de base de poliuretano pueden ser envejecidos a temperaturas por debajo de 100 °C. Esto permite conseguir el acabado lacado de carrocerías metálicas y piezas de metal con un único proceso de pintura. El llamado «acabado lacado en la línea» resolvería el problema del ajuste de color entre la carrocería metálica y las piezas de plástico coloreadas.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** La amplia gama de sistemas de pintura a base de PU está disponible para todas las capas de la estructura de la pintura, desde la imprimación hasta el acabado, así como para las capas de absorción de sonido y protección de los bajos. Las bajas temperaturas de envejecimiento permiten el uso de una amplia gama de plásticos.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** No hay datos disponibles.

### 22.5.6 Reducción de las capas de pintura

**Descripción:** Se espera una reducción del número de capas de pinturas conforme las lacas de imprimación y de base se unan en un único material aplicado en una sola película de pintura. Se están introduciendo sistemas sin imprimación que utilizan una capa base de dos componentes de base acuosa. Los sistemas sin imprimación reducen las etapas de aplicación de cuatro a tres y las etapas de horneado de tres a dos. El grosor de la capa base es ligeramente más grande de forma que cubre el revestimiento electrolítico subyacente y lo protege del impacto de la radiación UV.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se ahorran materiales y energía y, al mismo tiempo, se reducen los procesos de pintura.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** Los sistemas sin imprimación pueden suponer importantes ahorros en los costes.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** En uso comercial en DaimlerChrysler Rastatt, Alemania; SEAT Martorell, España; Mini Oxford, Reino Unido; y VW México. Otras plantas tienen programada la transformación.

**Bibliografía de referencia:** [128, TWG, 2005].

## 22.6 Revestimiento de camiones y vehículos comerciales

No hay datos disponibles.

## 22.7 Revestimiento de autobuses

No hay datos disponibles.

## 22.8 Revestimiento de trenes

No hay datos disponibles.

## 22.9 Revestimiento de equipos para la agricultura y la construcción

No hay datos disponibles.

## 22.10 Revestimiento de buques y yates

### 22.10.1 Mezcla de aire electrostático caliente

**Descripción:** Esta técnica puede utilizarse en interiores y exteriores. Debido al calentamiento de la pintura, puede obtenerse la viscosidad adecuada de forma que se emiten menos COV. Téngase en cuenta que la producción puede ser más baja que con las técnicas convencionales.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de emisiones de COV.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Aplicable en interiores, por ejemplo en el trabajo de mantenimiento y reparación, y en exteriores en combinación con parabrisas con curvatura en S.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.



**Ejemplos de instalaciones:** En los Países Bajos, se está realizando una prueba piloto para utilizar técnicas de mezcla de aire electrostática caliente en los buques.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

## **22.10.2 Reemplazo de las pinturas antiincrustantes de base de biocidas (sustitución)**

### **22.10.2.1 Pinturas con biocidas naturales**

**Descripción:** Los biocidas naturales están producidos, por ejemplo, por algunas especies de coral como protección frente a las incrustaciones.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Este sistema antiincrustante no contiene metales pesados o biocidas.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Estas sustancias presentan una persistencia más baja gracias a una mejor biodegradabilidad si se comparan con materiales inorgánicos como compuestos de cobre o TBT.

**Aplicabilidad:** Las pinturas que contienen biocidas naturales todavía están en fase de prueba.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002].

### **22.10.2.2 Revestimientos con propiedades de superficie especiales para la reducción de las incrustaciones**

**Descripción:** Los revestimientos con una estructura de superficie especial como microrrugosidad pueden utilizarse para reducir las incrustaciones.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Este sistema antiincrustante no contiene metales pesados o biocidas.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** Un regulador ambiental, una ONG ecologista y fabricantes de pinturas están llevando a cabo un proyecto piloto para probar las pinturas antiincrustantes ambientalmente racionales. Durante el estudio, este tipo de revestimiento obtuvo los mejores resultados entre todos los materiales sin biocidas.

**Aplicabilidad:** Aplicable a todos los buques.

**Aspectos económicos:** Los costes son comparables a los de otros antiincrustantes sin estaño ni cobre.

**Motivo principal para su aplicación:** SED. Legislación y políticas de contaminación de aguas.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002] [69, Watermann, et al., 2003] [128, TWG, 2005]

## 22.11 Revestimiento de aeronaves

No hay datos disponibles.

## 22.12 Revestimiento de otras superficies metálicas

No hay datos disponibles.

## 22.13 Industrias de revestimiento de bobinas

No hay datos disponibles.

## 22.14 Revestimiento e impresión de envases metálicos

### 22.14.1 Revestimiento con bajo contenido de disolventes (pintura de base acuosa)

**Descripción:** El porcentaje de disolvente depende de los requisitos de rendimiento mecánico y químico. No hay más datos disponibles.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Actualmente no hay disponibles lacas internas de base acuosa de alto rendimiento que sean adecuadas.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

### 22.14.2 Procesos de curado por radiación

**Descripción:** Para obtener una descripción general, véase el apartado 20.8.2. No se conocen aplicaciones comerciales para aplicaciones de revestimiento de bobinas. Véase también el apartado 14.4.7.2.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Reducción de emisiones de disolventes.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** El curado por radiación puede convertirse en una importante tecnología para las líneas nuevas pero es difícil saber cómo puede ser una sustitución viable del revestimiento de base disolvente convencional como remodelación de una línea existente. En el estado actual de desarrollo, el curado por radiación no puede cumplir las especificaciones de toda la gama de productos de revestimiento de bobinas. Continúan los ensayos a pequeña escala con productos en desarrollo. Tendrán que instalarse lámparas de UV o unidades de haz de electrones (EB) en las líneas que quieran realizar revestimientos con curado por radiación. Estos factores implican que un cambio a los revestimientos curados por radiación no es viable en este momento para las instalaciones de revestimiento de bobinas.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004] [58, ECCA, 2004]

### 22.15 Revestimiento en serie de piezas de plástico

**Descripción:** Actualmente se está investigando el desarrollo de revestimientos en polvo de baja temperatura con curado térmico y los revestimientos en polvo con curado por UV.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Los primeros resultados son prometedores en relación con la capacidad de aplicación de dichos sistemas en polvo en algunas piezas de plástico. Los sistemas de revestimiento en molde de base acuosa aplicados en el revestimiento de volantes se encuentran actualmente en fase de prueba.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

### 22.16 Revestimiento de muebles y madera

#### 22.16.1 Revestimiento en polvo

**Descripción:** Actualmente la investigación en la aplicación de revestimientos en polvo en la industria de la madera está estrechamente asociada al desarrollo de nuevas generaciones de materiales de revestimiento en polvo que cuentan con procesos de fusión y curado más adecuados. Los sistemas de revestimiento en polvo reticulado por radiación UV todavía están una fase inicial de su desarrollo, pero ya pueden emplearse los polvos curados por UV en la producción de, por ejemplo, MDF y paneles de madera planos. Actualmente, se está

desarrollando la aplicación electrostática de los revestimientos en polvo en madera no conductora y materiales de madera.

**Beneficios ambientales obtenidos:** En este contexto, se ha examinado la conexión a tierra de cargas eléctricas mediante película de laca húmeda. Este principio de pintura ha sido utilizado en frentes de muebles con los siguientes resultados:

- en comparación con el procedimiento a baja presión (HVLV), la atomización electrostática de alta rotación aumenta la eficiencia de aplicación en, aproximadamente, un 35 % y la eficiencia del material en, aproximadamente, un 30 %;
- reduce la generación de residuos (pintura) en, aproximadamente, un 80 %.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** Hasta ahora, los procesos de pintura electrostáticos sólo pueden aplicarse en casos individuales del procesado de la madera. Por tanto, se necesita más investigación.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [13, DFIU e IFARE, 2002]

## 22.16.2 Blanqueo con peróxido e IR

**Descripción:** Se ha desarrollado un nuevo método que combina la aplicación de peróxido y radiación infrarroja. No hay más datos disponibles.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [www.altonic.fi](http://www.altonic.fi)

### 22.16.2.1 Tratamiento con plasma no térmico

**Descripción:** En los gases residuales se crea un plasma a bajas temperaturas (entre 30 y 120 °C) mediante el paso del gas residual a través de dos electrodos con una corriente alterna de entre 20 y 30 kV. En el plasma, los vapores de COV reaccionan muy rápidamente con el oxígeno para formar CO<sub>2</sub> y vapor de agua.

En el plasma, las moléculas del gas están parcialmente ionizadas. Esta condición se consigue normalmente con temperaturas extremadamente altas, como las alcanzadas por un rayo. Sin embargo, también puede crearse a temperatura ambiente si se añade suficiente energía.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se consiguen eficiencias de entre el 97 y el 99,9 % sin calentar los gases residuales. La instalación necesaria para esta técnica es muy compacta en comparación con la oxidación térmica y consume mucha menos energía.

**Efectos cruzados:** Consumos de energía de entre 0,5 y 3,0 kWh de energía eléctrica por 1000 m<sup>3</sup> de gases residuales tratados.

**Información operativa:** Hay diferentes esquemas disponibles. A veces, el espacio entre los electrodos se rellena con pequeñas bolas de cristal para amplificar el campo eléctrico.

**Aplicabilidad:** Esta técnica ha sido aplicada comercialmente sólo desde hace pocos años para reducir las emisiones de olores y, a veces, para tratar gases residuales que contienen COV. Actualmente, la técnica se utiliza como prueba piloto en un proyecto de demostración de tratamiento de las emisiones de COV derivadas del secado de la madera. Se espera que la técnica se aplique comercialmente con este fin en 2004.

En teoría, no existen restricciones de aplicación en relación con las concentraciones de COV en los gases residuales; sin embargo, actualmente se aplica para tratar bajas concentraciones. También pueden tratarse caudales pequeños o grandes.

**Aspectos económicos:** Todavía no hay datos disponibles sobre los costes. Sin embargo, se espera que esta técnica sea más económica que la oxidación térmica y la adsorción.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [63, Vito, 2003] [76, TWG, 2004]

## 22.17 Conservación de la madera

No hay datos disponibles.

## 22.18 Fabricación de espejos

No hay datos disponibles.

## 22.19 Tratamiento de gases residuales

### 22.19.1 Tubos de adsorción de carbón calentados eléctricamente

**Descripción:** Los tubos de adsorción de carbón pueden montarse en líneas de aplicación de impresión/revestimiento individuales y utilizarse para adsorber COV. Los COV pueden entonces recuperarse pasando una corriente a través de los tubos de carbón conductores de electricidad.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** No hay datos disponibles.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** Los ensayos a pequeña escala en el Reino Unido han sido exitosos.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

## 22.20 Tratamiento de aguas residuales

### 22.20.1 Cabinas de pulverización con separación húmeda: con partículas de SiO<sub>2</sub>

**Descripción:** El exceso de pulverización en una cabina en la que las superficies se pulverizan con materiales de pintura puede interceptarse aplicando una barrera de agua. La mezcla de agua y pintura se captura y se trata en un depósito situado bajo la cabina. Entonces se añaden partículas de SiO<sub>2</sub> al depósito de agua y, mientras flotan en la superficie, adsorben las partículas de pintura. Cuando las partículas de SiO<sub>2</sub> están saturadas de pintura, se retiran del depósito y se recuperan como pintura nueva.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las emisiones de COV se reducen y la pintura y las partículas de SiO<sub>2</sub> recuperadas pueden reutilizarse como pintura nueva.

**Efectos cruzados:** Aumento de aguas residuales que, a menudo, pueden reutilizarse,.

**Información operativa:** El proceso está completamente desarrollado y preparado para su comercialización; sin embargo, todavía no está disponible a gran escala.

**Aplicabilidad:** Las cabinas de pulverización con separación húmeda son práctica común en la pintura de madera y muebles y en la industria de la automoción. Se aplican a pinturas tanto de base acuosa como de disolvente.

La técnica no se aplica actualmente en el ámbito comercial.

**Aspectos económicos:** Todavía no se conocen.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:** [63, Vito, 2003]





## 23 OBSERVACIONES FINALES

### 23.1 Calendario de trabajo

La reunión inicial del grupo de trabajo técnico (TWG) tuvo lugar en marzo de 2003 y el primer borrador se publicó para consulta en mayo de 2004. El segundo borrador (con propuestas de MTD) se publicó para consulta en octubre de 2005. La reunión final del TWG se celebró en junio de 2006.

### 23.2 Fuentes de información y desarrollo del documento

En este documento se comentan dieciocho industrias y se utilizan alrededor de 150 fuentes de información. El tipo, cantidad y calidad de los datos varían según la industria.

La Directiva sobre emisiones de disolventes (SED) también se aplica a todas las industrias de este sector. Los Estados miembros y las industrias implicadas elaboraron informes sobre buenas prácticas y MTD potenciales para ayudar a la implantación de las directivas antes de que comenzara el trabajo en este documento. Dichos informes fueron la base del primer borrador de este documento. También se utilizan los informes de dos estudios de ámbito europeo preparados para implantar la SED y los protocolos de la CEE (Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas) sobre los COV<sup>10</sup>. Algunos de los documentos suministrados consideraban que la industria se encontraba en los umbrales más bajos de la SED lo que suponía una cierta dificultad a la hora de, en particular, identificar técnicas y descripciones de procesos para la discusión sobre MTD de IPPC. Sin embargo, debería tenerse en cuenta que el TWG ha clarificado estos aspectos gracias al intercambio de información y ha obtenido conclusiones basándose en los datos existentes para las instalaciones que superan las capacidades de IPPC.

Los siguientes Estados miembros aportaron guías de MTD o de buenas prácticas: Austria, Bélgica, Francia, Alemania, los Países Bajos, el Consejo del Norte y España, principalmente sobre impresión y pintura. Había pocos datos sobre consumos y emisiones de otros EM.

El papel de la industria a la hora de proporcionar datos y clarificar diferentes aspectos fue crucial. Se obtuvo una importante ayuda de la mayoría de las industrias comentadas y de sus proveedores así como de asesores que participaron en el ESVOCCG<sup>11</sup>. Los proveedores y asesores poseen una importante visión general y desempeñaron un papel significativo a la hora de proporcionar y clarificar datos sobre técnicas, consumos y emisiones.

Se suministraron estudios sobre MTD, documentos de directrices, estudios de la industria, etc. (entre otros) por parte de las industrias de: impresión, bobinas de alambre, cinta adhesiva, industrias de la automoción, revestimiento de buques (de Portugal), embalajes flexibles, revestimiento de bobinas y espejos. Algunas industrias utilizaron también sus propios TWG para proporcionar respuestas coordinadas. Siete asociaciones industriales, junto con ESIG, contribuyeron de forma sustancial y calcularon sus costes en unos EUR 1,36 millones (una media de 191 000 EUR por asociación). En total, el ESVOCCG calcula la contribución total de la industria al intercambio de información en unos 2,2 EUR millones.

Una fuente principal de datos han sido los comentarios del TWG a los dos borradores, casi 2000 en cada caso. También se ha intercambiado más información para clarificar técnicas y comentarios individuales.

<sup>10</sup> Documentos de DFIU e IFARE (incluyendo estudios ISACOAT) preparados para la implantación de la SED se utilizaron en varios capítulos. Se prepararon datos del EGTEI para apoyar los protocolos UNECE para reducir el transporte transfronterizo de COV y NO<sub>x</sub>. Como resultado de este intercambio de información, algunos documentos EGTEI también han sido actualizados tras consultar con las industrias implicadas.

<sup>11</sup> ESVOCCG: el Grupo de coordinación europeo de COV de disolventes coordina las respuestas de la industria de disolventes a las propuestas de política y a la legislación europea bajo los auspicios del CEFIC.

También se obtuvo información de las visitas a las instalaciones que contaban con MTD potenciales para impresión, embalajes, fabricación de bobinas de alambre, ensamblaje de vehículos, revestimiento de latas y pintura de muebles en Francia, los Países Bajos y Alemania. Las reuniones con el ESVOCCG y la ACEA<sup>12</sup> también contribuyeron al intercambio.

Se prepararon hojas de resumen de la EGTEI para ayudar en la recogida de datos nacionales sobre emisiones, el modelo RAINS. Dichas hojas incluyen datos sobre la relación coste-beneficio en el ámbito europeo de la aplicación de técnicas de reducción clave en diferentes industrias, y estos datos se han empleado para verificar las conclusiones sobre MTD, añadir información de antecedentes sobre la industria y, en algunos casos, para apoyar la obtención de MTD. Del mismo modo, la participación de CITEPA (los autores) en el TWG también permitió la verificación y actualización de las hojas de resumen, proporcionando así mayor coherencia. El método del EGTEI presenta una complejidad limitada y no puede considerar todas las técnicas posibles para MTD, así como tampoco tiene en cuenta otras consideraciones de las MTD, como efectos cruzados o las características técnicas de productos individuales o MTD en las instalaciones. Por tanto, los datos no se ajustan fácilmente al formato y la metodología del BREF. Sin embargo, son muy útiles y se utilizan como referencia en este documento.

Para reducir al mínimo la repetición, el capítulo 20 discute de forma general el mayor número posible de técnicas que podrían utilizarse en más de una industria. Uno de los apartados importantes es el tratamiento de gases residuales por lo que un grupo reducido celebró una reunión para facilitar la elaboración de un borrador sobre este punto y alcanzar conclusiones sobre MTD. Debido a que se discutieron muchos procesos y combinaciones de técnicas diferentes, cada una con sus propias variables, se acordó que las conclusiones sobre MTD deberían centrarse en la obtención de rangos de emisión asociados con combinaciones adecuadas de las mejores técnicas disponibles. También se acordó que dichos rangos deberían basarse en las medidas relacionadas con la producción para cada industria, como COV emitidos en g/m<sup>2</sup> tratados o kg de aporte de sólidos. Estos rangos de emisión normalmente son los mismos que los empleados en la implantación de la SED para evitar confusiones.

Muchos de los datos se centraron principalmente en emisiones de COV y hubo una falta importante de datos sobre otros aspectos relacionados con el control integrado de procesos y reducción de consumos. Al igual que en otros proyectos BREF, faltaban datos cuantitativos en muchas áreas.

Los datos recibidos sobre la industria de cintas magnéticas mostraron que sólo había tres instalaciones en la UE, y una de ellas copaba el 80 % del mercado europeo. Considerando que esta industria está siendo reemplazada por otros tipos de grabación de datos, se pensó que el intercambio de información no sería eficaz. La información recibida sobre la industria de fabricación de zapatos mostró que ninguna de las instalaciones de la UE alcanzaba los umbrales de IPPC. En el caso de revestimientos de fricción, menos de 10 empresas alemanas suponen la mitad de la producción europea, y sólo alrededor de un 20 % de la producción utiliza procesos de base disolvente. De nuevo, se consideró que el intercambio de información no sería efectivo. Estos dos procesos deberían considerarse en la primera revisión del documento.

No se recibieron datos sobre la fabricación de barcos con uso de resinas de poliéster, por lo que no queda claro si esta actividad se encuentra dentro del ámbito de este documento.

También se obtuvieron informes de que algunas de las instalaciones de procesamiento de semiconductores y de impresión de papel pintado pueden utilizar disolventes para desengrasado por encima de los umbrales de IPPC, pero no se recibió ningún dato.

---

<sup>12</sup> ACEA: Asociación europea de fabricantes de automóviles.

### 23.3 Nivel de consenso

La industria solicitó la clarificación de las definiciones de «disolventes orgánicos» y «capacidad de consumo» que aparecen en el anexo 1 (6.7) de la Directiva de IPPC. Una vez concluido el intercambio de información, pudo verse que dicho intercambio había manejado información sobre disolventes orgánicos definidos como COV (según la definición de la Directiva sobre emisiones de disolventes, Directiva del Consejo 1999/13/CE). También pudo observarse, al determinar las conclusiones sobre MTD, que el intercambio de información se había centrado en instalaciones cuyo uso real de disolventes supera los umbrales de capacidad de consumo establecidos en la Directiva IPPC (en la que el uso en la actividad incluía disolventes recuperados del equipo de reducción de emisiones de gases residuales). La interpretación de estos umbrales de capacidad se discute en el contexto del trabajo realizado por la DG de Medio Ambiente para desarrollar directrices sobre la interpretación de algunas disposiciones de la Directiva.

Se alcanzó un alto nivel de consenso sobre las técnicas a considerar y las conclusiones de MTD, con una opinión divergente solicitada por la industria.

### 23.4 Vacíos de conocimiento y recomendaciones para posteriores investigaciones y recogida de información

Como consecuencia del intercambio de información se identificaron los siguientes vacíos de conocimiento. Algunos se describen en el texto principal, otros aún en desarrollo se describen en el capítulo 22, sobre técnicas emergentes. Aquí aparecen resumidos junto con propuestas para futuros trabajos:

#### 23.4.1 Aspectos generales:

**Industrias consideradas.** Como se ha mencionado anteriormente, este documento no se ocupa de la fabricación de cintas magnéticas, etiquetas autoadhesivas, revestimientos de fricción, construcción de barcos con resinas, semiconductores y papeles pintados.

**Recomendación:** Deberían obtenerse datos sobre estas industrias para valorar si deben incluirse en la revisión de este documento.

**Hojas de resumen del EGTEI.** Como se mencionó en el apartado 23.2, anterior, estas hojas han proporcionado datos útiles. Sin embargo, el método utilizado no se ajusta fácilmente al formato y la metodología del BREF

**Recomendación:** Mantener la relación con CITEPA/EGTEI y considerar un mayor uso de los datos de EGTEI, especialmente para cualquier actualización o revisión. Garantizar además que CITEPA/EGTEI son conscientes de los desarrollos en MTD.

**Uso de energía.** Este es probablemente el siguiente aspecto más importante dentro del sector tras las emisiones de COV. Sin embargo, ha sido casi imposible (con algunas excepciones) obtener MTD o valores de consumo relacionados con la producción de energía en el caso de las técnicas de proceso.

**Recomendación:** Se necesitan más datos sobre el uso de energía asociado a estas técnicas y relacionado con medidas de producción. Estos datos serían más útiles si se relacionan con las mismas medidas de producción utilizadas para las emisiones de COV.

**Energía utilizada en técnicas de final de línea (end of pipe) y cuantificación de los efectos cruzados y económicos de la depuración.** Se han realizado varios intentos de cuantificar estos aspectos, pero no hay datos disponibles suficientes (véase la industria de envases metálicos más adelante). Una opción es la de comparar los costes sociales marginales de quemar gas natural para reducir los COV, especialmente a bajas concentraciones, pero los costes disponibles han

sido preparados utilizando diferentes bases y hay determinadas incertidumbres (especialmente en los costes para CO<sub>2</sub>).

**Recomendación:** Se necesita más información para ayudar a determinar la selección de rutas de inversión (relación coste-beneficio de la depuración frente a la aplicación más eficiente y a técnicas de bajo contenido de disolventes) y determinar cuándo es posible prescindir del tratamiento de gases residuales tras haber realizado sustituciones que disminuyan la utilización de disolventes (véase el sector de envases metálicos para obtener información más detallada).

**Uso de sustancias menos peligrosas: uso de disolventes con bajo potencial de formación de ozono (OFP).** No habría una discusión sobre emisiones de COV completa sin tratar la formación de ozono y los diferentes potenciales de los disolventes para formar ozono. Esta técnica se trata en el REF ECM, y el GGT de STS intercambió información importante y útil. La conclusión fue que la técnica sólo podría actualmente considerarse MTD en circunstancias limitadas debido a varias razones:

- no es necesaria cuando existe un dispositivo de depuración de gases residuales adecuado
- existen varias escalas comparativas (todas ellas obtenidas por modelos complejos). La más utilizada en Europa es POCP que incluye 130 sustancias (no todas son disolventes) y se emplea en el diseño de los requisitos de políticas de la UE y de EM más que en aplicaciones prácticas, como a la hora de informar del desarrollo de procesos
- estas escalas no pueden utilizarse actualmente para demostrar el cumplimiento con normativas como la SED, aunque la sustitución realizada basándose en ellas ayudaría a cumplir los objetivos de la SED y de la Directiva IPPC.
- las escalas de OFP no se utilizan en la obtención de formulaciones complejas como pinturas y tintas. Los costes de aplicarlas y de obtener nuevas formulaciones son altos y los períodos de tiempo necesarios son largos, por lo que utilizarlas como base para la sustitución de estas mezclas no es viable actualmente. Esto podría conseguirse más fácilmente como parte de otros ejercicios, especialmente bajo REACH, en los que este punto se considera como uno de varios factores y se comparten así los costes de desarrollo.

Mientras que controlar la emisión de COV ayudará a controlar la formación de ozono, no podrán conseguirse los beneficios anticipados si la carga total de formación de ozono (masa liberada x OFP) sigue siendo más alta que la anticipada. Como ejemplo, una de las opciones de MTD con mayor aplicabilidad es el uso de pinturas de alto contenido en sólidos. Sin embargo, durante la reunión final del TWG se advirtió de que para conseguir la dispersión necesaria de los pigmentos se utilizan disolventes más potentes, que pueden ser tipos de disolventes con potenciales de formación de ozono más altos, por lo que mientras que la emisión de COV puede reducirse de forma significativa, la reducción esperada en la formación de ozono puede no conseguirse.

**Recomendación:** Por tanto, es necesaria más investigación e información para:

- valorar el uso de OFP en el mundo bajo regulación;
- garantizar que se desarrolla la escala de OFP más apropiada o la escala más adecuada para su uso en futuras iniciativas de la UE, por ejemplo, proporcionar datos sobre una amplia gama de los disolventes más utilizados y ayudar en el desarrollo como técnica de control de emisiones;
- ayudar en el desarrollo y aplicación de esta técnica en pinturas, tintas y otros tratamientos de superficies que contienen COV, por ejemplo, bajo REACH;
- valorar el impacto de las pinturas y los tratamientos de superficies recientemente desarrollados como sustitutos en el cumplimiento de los requisitos de la SED y determinar su efectividad en la reducción de cargas de ozono locales, de la UE y de los EM.

**NO<sub>x</sub> de disolventes que contienen nitrógeno.** Estos disolventes se utilizan en algunos de los procesos comentados. No está claro hasta qué punto su oxidación es una fuente importante de NO<sub>x</sub>, y si esta situación cambiará en el futuro ya que existen otras iniciativas que pueden implicar un descenso en el uso de al menos un disolvente que contiene nitrógeno.

**Recomendación:** Se necesita más información sobre la cantidad de disolventes que contienen nitrógeno que se utilizan en la UE y su uso futuro, y para calcular la cantidad de NO<sub>x</sub> que estos disolventes aportan a las cargas locales y de la UE.

**Uso de técnicas de aplicación de alta eficiencia.** Aunque a menudo estas técnicas se consideran MTD, o están incluidas en el grupo de técnicas que consiguen emisiones asociadas a las MTD, frecuentemente no se reconoce su efecto sobre las emisiones de COV si éstas se calculan, por ejemplo, como kg COV/kg de aporte de sólidos. En estos casos, tanto los COV como los sólidos utilizados se ven reducidos, y la proporción kg/kg sigue igual. Esto puede evitar una aplicación más rápida de MTD en algunas industrias, e incluiría la minimización del consumo de materias primas. Las emisiones de COV reducidas pueden demostrarse si se calculan frente a un parámetro de producción, como g COV/m<sup>2</sup>.

**Recomendación:** Se necesitan más datos sobre la aplicabilidad de estas técnicas en algunas industrias, y también son necesarias directrices para calcular las emisiones de COV.

**Uso de técnicas novedosas en el tratamiento de gases residuales.** Había poca información disponible sobre las técnicas no tradicionales más recientes para tratar los gases residuales que podrían reducir la inversión de capital, reducir el consumo de energía o los costes de explotación, como son la oxidación por UV, plasma no térmico y tubos de adsorción con carbón montados en líneas de tratamiento individuales (una técnica emergente). La falta de información puede deberse a una pobre iniciativa, debida a su vez a la falta de información sobre la que tomar las decisiones de inversión. También había información contradictoria sobre el tratamiento biológico con informes de éxitos y fracasos, por lo que se necesita una mayor clarificación sobre la aplicabilidad de esta técnica.

**Recomendación:** Buscar más información sobre ésta y otras posibles técnicas, la efectividad en costes y los efectos cruzados, y apoyar la investigación de técnicas alternativas de tratamiento de gases residuales.

**Técnicas novedosas para la recuperación de materiales en las cabinas de pulverización.** El exceso de pulverización en las cabinas a menudo se intercepta utilizando barreras de agua. Se ha descrito una técnica emergente que utiliza partículas de SiO<sub>2</sub> para permitir la recuperación de la pintura, pero se obtuvo poca información.

**Recomendación:** Buscar más información sobre ésta y otras posibles técnicas, la efectividad en costes y los efectos cruzados, y apoyar la investigación de técnicas alternativas de recuperación de materiales.

**Aerosoles secundarios.** Fueron identificados en la última reunión plenaria del TWG como emisión que no había sido discutida durante el intercambio de información.

**Recomendación:** Se necesita más información para determinar si pueden suponer un problema ambiental y, si es así, en qué procesos. En caso de identificar un problema, será necesaria más información sobre su alcance y control.

### 23.4.2 Aspectos para industrias concretas

**Impresión flexográfica:** Algunos cartones de bebida se imprimen utilizando tintas flexográficas sin disolventes con curado por UV. Estas tintas con curado por UV podrían desarrollarse para otras aplicaciones.

**Recomendación:** Investigar para obtener una aplicación más amplia de las tintas sin disolventes con curado por UV y de otros tratamientos de superficies.

**Impresión de huecograbado de publicaciones:** En la regeneración de lechos de adsorción utilizados para controlar las emisiones de tolueno se utiliza una cantidad considerable de energía. La eliminación de la máxima cantidad de tolueno implica el aumento de los ciclos de adsorción y, por tanto, de consumo de energía. El nivel de emisión de tolueno en el que el consumo de energía comienza a subir de forma exponencial no se conoce y es necesaria la realización de ensayos.



**Recomendación:** Se necesitan pruebas para obtener datos que permitan establecer la emisión de tolueno como porcentaje del aporte total de tolueno con el mínimo óptimo de uso de energía. Estas pruebas pueden realizarse en instalaciones existentes.

**Bobinas de alambre:** Una de las fuentes de emisiones de COV significativas que aún queda por comentar es la aplicación de lubricantes. La industria proporcionó datos que demuestran que no era técnica o económicamente viable confinar y tratar el aire necesario para evaporar el disolvente procedente del lubricante. Los desarrollos de MTD se han centrado en el uso de lubricantes sin disolventes, pero este uso se ve limitado por (i) tamaño del alambre y (ii) los lubricantes no cumplen todas las especificaciones del cliente.

**Recomendaciones:** Es necesaria más investigación para desarrollar sistemas de lubricantes sin disolventes que cumplan los requisitos de rendimiento y ayudar en la obtención de especificaciones de rendimiento para las opciones existentes.

**Abrasivos:** Se han identificado técnicas emergentes para obtener un secado y un endurecimiento más rápidos de los materiales de unión, por ejemplo, utilizando radiación UV o microondas y probablemente con bajo o nulo contenido en disolventes.

**Recomendación:** Es necesaria más información sobre estas técnicas.

**Revestimiento de vehículos, camionetas, camiones y cabinas de camión, y autobuses:** Había menos información disponible sobre vehículos comerciales y autobuses que sobre los turismos. Se identificó la energía como una preocupación principal, pero existe dificultad para establecer datos comparables, incluso dentro de la misma empresa.

A continuación se presentan técnicas en desarrollo que pueden contribuir a futuras MTD:

- pinturas transparentes mejoradas de 1 y 2 componentes diluibles en agua;
- pinturas transparentes de alto contenido en sólidos (hasta un 90 % de sólidos);
- aumento del uso de materiales prerrevestidos, reduciendo los trabajos de pintura en la instalación de ensamblaje. Debido a que los materiales laminados se revisten antes del moldeo o del ensamblaje, las técnicas de aplicación y extracción permiten una menor emisión de COV por m<sup>2</sup> revestido que la pintura después del moldeo;
- el revestimiento en polvo se utiliza en EE.UU. y en una o dos plantas de la UE. No se utiliza ampliamente en Europa puesto que no cumple las especificaciones de calidad de los fabricantes en cuanto a durabilidad química y física;
- concepto de conversión de bajo coste (LCCC) Esta técnica ha sido descrita y los ejemplos de instalaciones han sido identificados, pero parece que existen dudas sobre su definición (es decir, nombre y descripción erróneos) o su existencia. Los sistemas típicos acuosos de capa base utilizados para conseguir niveles de emisión bajos necesitan una gran inversión de capital. El LCCC utiliza pinturas con características similares, pero usa menos energía y necesita menos modificaciones del equipo y una menor inversión de capital. La industria de suministros proporcionó información sobre revestimientos de base acuosa con menores requisitos de vaporización instantánea (flash-off) que actualmente están en uso comercial en al menos dos instalaciones;
- los sistemas de pintura de poliuretano (PU) permiten que tanto las partes plásticas como las carrocerías metálicas se pinten en un único proceso. No está claro el efecto de este proceso en las emisiones de COV, aunque es probable que las temperaturas más bajas del horno permitan ahorros de energía;
- reducción de capas de pintura al fusionar las imprimaciones y las capas base utilizando, por ejemplo, capas base acuosas de 2 componentes, lo que tiene como resultado reducciones de las emisiones de COV, residuos y aguas residuales y una reducción en el consumo de energía.

**Recomendación:** Se necesita más información sobre el estado de estas técnicas, sus efectos cruzados, aplicabilidad y aspectos económicos. El revestimiento en polvo puede conseguir niveles más bajos de emisión de COV, pero se necesita más investigación para mejorar la calidad de los acabados y adaptarlos a los estándares de los fabricantes europeos. Se necesitan más datos sobre el concepto LCCC, clarificar la terminología, la técnica y sus beneficios.

**Revestimiento de trenes, equipos para la agricultura y la construcción, buques y yates aeronaves, otras superficies metálicas, plásticos:** Se recibió muy poca información sobre estos asuntos, aunque se obtuvo información adicional sobre la reparación de buques después de la publicación del segundo borrador. Se obtuvieron conclusiones para otras superficies metálicas y plásticos basándose en las instalaciones de automoción (OEM) y la opinión experta del TWG.

**Recomendación:** Se necesitan más datos sobre estos aspectos para mejorar la calidad de las conclusiones de MTD. También se necesitan datos sobre la fabricación y revestimiento de buques y yates nuevos (especialmente sobre los procesos que utilizan resinas de poliéster). La industria de los barcos (y otras) pueden no entender que las pinturas de alto contenido en sólidos (con menores emisiones de disolventes) resultan más caras por kg, pero tienen el mismo precio por m<sup>2</sup> tratado. Es necesaria más información sobre este punto.

**Envases metálicos:** Hay poca información sobre la aplicación de algunas MTD potenciales (revestimientos acuosos con bajo o nulo contenido en disolventes) puesto que su aplicación en la industria se ha visto obstaculizada. Para tratar con las técnicas originales de alta concentración de disolventes, se instalan grandes unidades de oxidación de gases residuales que tratan grandes volúmenes de aire y que pueden suponer el 25 % de la capitalización de la instalación. Al reducir las emisiones de disolventes, la concentración de disolventes en la corriente de aire disminuye a valores por debajo del nivel autotérmico, lo que exige gas como combustible. No existen datos sobre cuándo prescindir de estas unidades de oxidación. No es económicamente viable conseguir revestimientos con bajo o nulo contenido en disolventes y, al mismo tiempo, utilizar gas para la combustión del bajo nivel de disolvente que queda.

**Recomendación:** Es necesaria más información sobre cuándo prescindir de las técnicas de final de línea (end of pipe) (véase el apartado Energía utilizada en técnicas de final de línea (end of pipe)).

**Revestimiento de bobinas:** El curado por radiación se utiliza en otras industrias junto con los revestimientos con bajo o nulo contenido de disolventes. Se han llevado a cabo desarrollos para el uso de esta aplicación en el revestimiento de bobinas.

**Recomendación:** Es necesaria más información sobre el estado y la aplicabilidad del proceso de curado por radiación. Puede ser necesaria más investigación para ayudar a su aplicación en instalaciones existentes.

**Revestimiento de muebles y madera:** Había poca información sobre el tratamiento de gases residuales, especialmente sobre el potencial del uso de unidades de oxidación térmica en aplicaciones con alto contenido de disolventes. Se han desarrollado con cierto éxito los revestimientos en polvo (con curado por UV) y la aplicación electrostática de alta rotación para grandes paneles planos.

**Recomendación:** Se necesita más investigación para desarrollar la aplicación de estas técnicas y otras similares en una gama de productos más amplia con el fin de reducir el uso de disolventes.

### Programa RTD

La CE está lanzando y apoyando, mediante sus programas RTD, una serie de proyectos que tratan con tecnologías limpias, tratamientos emergentes de efluentes y tecnologías de reciclado y estrategias de gestión. Potencialmente, estos proyectos podrían suponer una contribución muy útil para futuras revisiones del documento. Se anima por tanto a los lectores a informar a la EIPPCB de cualquier resultado de investigación que pueda ser relevante para el ámbito de aplicación de este documento (véase también el prefacio del documento).

## 23.5 Revisión de este documento

Los datos sobre técnicas relativas al uso y emisiones de COV están al día del intercambio de información (2003 y 2006) y es poco probable que sufran modificaciones hasta que se adquiera más experiencia con la confirmación, la regulación y la aplicación de la SED y la Directiva IPPC. Estos datos adicionales también ayudarían a considerar las industrias que no han sido comentadas en este documento (que han sido identificadas en el apartado 23.2). También es necesario ocuparse de la falta de datos sobre otros aspectos (identificados en el apartado 23.2),



algo que podría beneficiarse de los estudios propuestos y de la experiencia obtenida con la aplicación de las directivas. Las técnicas de reducción de final de línea (end of pipe) están, en su mayor parte, maduras, y otras técnicas como la sustitución se desarrollan de forma gradual. Los documentos nacionales que se ocupan de estas industrias prácticamente no han mostrado la necesidad de sufrir cambios siete años después de la introducción de la SED. Puede considerarse una revisión para aproximadamente el año 2009 con el fin de resolver los vacíos en los datos, especialmente para las industrias que pueden encontrarse potencialmente dentro del ámbito de este documento, aunque es poco probable que sea necesaria una revisión completa antes de 2012.

Un aspecto a considerar será cómo actualizar el documento si aparece información nueva sobre una minoría de las técnicas y las industrias antes del año 2012.

**BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA**

- 4 Intergraf y EGF (1999). «Printing and the Environment, Guidance on BAT in Printing Industries».
- 8 IFARE y CITEPA (2002). «Application of paint in vehicle (trucks, truck cabins, buses) and wood coating».
- 11 IMPEL (2000). «Good practice fact sheet - PRINTERS», Red europea para la aplicación y el cumplimiento de la legislación en materia de medio ambiente, Antal Sidor 42.
- 12 UBA Alemania (2002). «Integrated Pollution Prevention and Control in selected Industrial Activities; Installations for Surface Treatment using organic solvents for Dressing, Impregnating, Printing, Coating. Part I: Dressing, Impregnating, Coating.» Agencia Federal de Medio Ambiente (UBA), Berlín, dotación n.º 200 94 324.
- 13 DFIU e IFARE (2002). «Best Available Techniques (BAT) for the Paint- and Adhesive Application in Germany. Volume I: Paint Application», Instituto Franco-Alemán para la Investigación Ambiental, volumen I.
- 14 DFIU e IFARE (2002). «Best Available Techniques (BAT) for the Paint- and Adhesive Application in Germany. Volume II: Adhesive Application», Instituto Franco-Alemán para la Investigación Ambiental.
- 18 UBA Alemania (2003). «Integrated Pollution Prevention and Control in selected Industrial Activities; Installations for Surface Treatment using organic solvents for Dressing, Impregnating, Printing, Coating. Part II: Printing.» Agencia Federal de Medio Ambiente (UBA), Berlín, 200 94 324.
- 21 Consejo Nórdico de Ministros (1998). «Best available techniques (BAT) for the printing industry», Consejo Nórdico de Ministros, TemaNord 1998:593.
- 22 Vito (1998). «Beste Beschikbare Technieken voor de Grafische Sector», BBT-kenniscentrum Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO).
- 23 España (2000). «Sector Tratamiento de Superficies con Disolventes Orgánicos; Subsector Metalgráfico, Epígrafe 6.7», Fundación Entorno, Empresa y Medio Ambiente.
- 27 InfoMil (2003). «T10 Milieu-informatie Scheepsbouw en -reparatie», versión 2.
- 29 Países Bajos (1996). «Milieuhandboek Grafische Industry».
- 32 Aminal; Vito y Sitmae Consultancy bv (2002). «Evaluatie emissiereductiepotentieel voor VOS-emissies van de grafische sector, deel 1», Aminal. Afdeling Algemeen Milieubeleid, 00.1688.
- 35 Aminal; Vito y Sitmae Consultancy BV (2002). «Evaluatie van het reductiepotentieel voor VOS emissies naar het compartiment lucht en de problematiek van de implementatie van de Europese richtlijn 99/13/EG in de grafische sector in Vlaanderen; deel 3», Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Algemeen Milieu- en Natuurbeleid.
- 37 CITEPA (2003). «Draft Background Document on the sector: Publication gravure», CITEPA.

- 51 Aminal; VITO y Sitmae Consultancy bv (2002). «Measuring method for fugitive solvent emissions in flexible packaging».
- 52 SPIN Países Bajos (1994). «Procesbeschrijvingen industrie; grafische sector», Samenwerkingsproject Procesbeschrijvingen industrie Nederland, Sección 61.
- 53 EPA de EE.UU. et al. (2003). «Pollution prevention in the printing industry - a manual for pollution prevention technical assistance providers», <http://www.p2pays.org/ref/03/02453/>.
- 54 BMLFUW Austria (2003). «Stand der Technik bei ausgewählten Anlagen zur Oberflächenbehandlung mit organischen Lösungsmitteln», Ministerio Federal de Agricultura, Medio Ambiente y Agua.
- 55 Europacable (1997). «EWWG Guidance Document; The Environment», Grupo de Negocio de Bobinas de Alambre de Europacable.
- 57 Rentz, O.; Laforsch, M.; Holtmann, T. y Nunge, S. (1999). «Technical Background Document for the Actualisation and Assessment of UN/ECE Protocols related to the Abatement of the Transboundary Transport of Volatile Organic Compounds and Nitrogen Oxides from Stationary Sources.» Instituto Franco-Alemán para la Investigación Ambiental, Universidad de Karlsruhe, 29694828.
- 58 ECCA (2004). «The coil coating industry a metal surface treatment (organic coating)», Asociación Europea de Industrias de Tratamiento de Superficies, IPPC marzo de 2005, número 4.
- 59 EIPPCB (2006). «Reference Document on Best Available Techniques for the Surface Treatment of Metals and Plastics», Oficina Europea de IPPC.
- 60 ESIG (2000). «Guide on VOC emissions management», Grupo Europeo de Industrias de Disolventes.
- 61 GEPVP; -, G. E. d. P. d. V. P. y Fabricantes., E. A. o. F. G. (2004). «Mirror manufacture».
- 62 CITEPA (2003). «Final Background Document on the sector: Car Coating», en el marco del EGTEI.
- 63 Vito (2003). «Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor de houtverwerkende nijverheid», Vito, 2002/IMS/R/.
- 64 EWWG (2004). «Techniques to consider BAT in the Winding Wire Industry», Grupo de Negocio de Bobinas de Alambre de Europacable.
- 65 UKDEFRA (2003). «Sector Guidance Note IPPC SG6; Secretary of State's Guidance for the A2 Surface Treatment Using Organic Solvents Sector», Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Agrícolas del Reino Unido, octubre de 2003.
- 66 UBA Alemania (2003). «Besuch der Firma Schwering&Hasse Elektrodraht GmbH in Lüdge am 12.11.03», Agencia Federal de Medio Ambiente (UBA), comunicación personal.
- 67 EIPPCB (2003). «Reference document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector», Comisión Europea.

- 68 ACEA (2004). «ACEA Contribution STS BREF», mayo de 2004.
- 69 Watermann; Daehne; Wiegemann; Lindeskog y Sievers (2003). «Performance of biocide-free antifouling paints», Proyecto multilateral del WWF de Alemania con ministerios, armadores y fabricantes de pinturas, volumen III 125 páginas.
- 70 UBA Alemania (2003). «Mission report: Rexam, Berlin.» UBA, comunicación personal.
- 71 BSTSA «Metal Pre-Treatment; Information for industrialists, marketing specialists, technical designers, managers and buyers...» Asociación Británica de Proveedores de la Industria de Tratamiento de Superficies.
- 72 Hamann (2004). «Waterless printing», comunicación personal.
- 75 Jansen (2005). «Workshop on VOC abatement, Sevilla 15/11/2004».
- 76 TWG (2004). «Compiled comments of the TWG on STS draft 1, May 2004», octubre de 2004.
- 79 SEFEL (2004). «Workshop on VOC abatement, Seville, 15/11/04 - Comments on Draft Results».
- 80 EWWG (2004). «STS BREF update to Chapter 3 Winding Wires».
- 87 ISACOAT (2004). «ISACOAT Workpackage 3.5», DFIU e IFARE, Universidad de Karlsruhe.
- 89 Envirowise (2003). «Reducing solvent use by good housekeeping GG413 (updates and replaces *Good housekeeping measures for solvents, GG28*)».
- 90 Envirowise (1998). «Reduce costs by tracking solvents».
- 91 EIPPCB (2005). «Reference document on Best Available Techniques on Emissions from Storage».
- 92 WRc plc (1980). «The determination of safe limits for the discharge of volatile materials to sewers - technical report TR142».
- 93 Agencias del Agua de Francia; SITS; SATS; CETIM y Ministerio del Territorio y Medio Ambiente (2002). «Surface Treatment - Waste Water Treatment», Agencia del Agua Ródano-Mediterráneo-Córcega, 2-9506252-3-1 (EN), 2-9506252-2-3 (FR).
- 94 EIPPCB (2006). «Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Organic Fine Chemicals».
- 95 Vito (2005). «Flemish BAT reduction measures for the STS BREF».
- 96 Grupo Europeo de Industrias de Disolventes (2005). «VOC photochemical reactivity».
- 97 EIPPCB (2005). «Reference document on Best Available Techniques on Economics and Cross-Media effects».
- 98 CE (1976). «Council directive of 27 July 1976 on the approximation of the laws, regulations and administrative procedures of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations 7/769/EEC», DO.

## Bibliografía de referencia

---

- 102 CE (2000). «Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of-life-vehicles», Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de septiembre de 2000 sobre vehículos fuera de uso.
- 103 CE (2003). «Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment», Diario Oficial de las Comunidades Europeas (DO).
- 104 UBA - DE (2004). «New surface treatment concept with innovative elements - Final report (Report No. 20046)».
- 105 UBA - DE (2002). «Einführung eines Verfahrens zur umweltfreundlichen Beschichtung von Aluminiumrädern (Report No. 20036)».
- 106 ACEA (2005). «BAT proposal for bumpers coating», v2 12.04.05.
- 107 VDI (2005). «Wood issues - report 3462».
- 108 DFIU e IFARE (1999). «Preservation of wood».
- 109 Agencia Europea de Medio Ambiente (2001). «EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook», Informe Técnico n.º 30.
- 110 CE (1996). «Council Directive 96/61/EC concerning integrated pollution prevention and control", DO (Diario Oficial de las Comunidades Europeas), pp. 26.
- 111 Eurofer (2003). «Draft Reference document on best available techniques in the continuous electrolytic coating of steel».
- 112 Verspoor y fabricantes, M. i. (2005). «Incineration costs», comunicación personal.
- 113 EIPPCB (2003). «Reference Document on the General Principles of Monitoring».
- 114 Jepsen, D. (2005). «Phone discussion with P. Tempany 1/04/05», comunicación personal.
- 115 Intergraf (2005). «Proposal for BAT ranges for Heatset».
- 116 AEA; al, e. e Institute, S. E. (2005). «The impacts and costs of climate change».
- 117 ACEA (2005). «BAT proposal for cars».
- 118 ACEA (2005). «BAT proposal non-car vehicles (vans, truck cabs and chassis, buses)».
- 119 RIZA (1999). «Best safety practice for preventing risks of unplanned discharges».
- 120 INRS (1998). «Ateliers de traitement de surface: Prévention des risques chimiques», ED 827.
- 121 UK DEFRA y notas, S. o. S. s. G. (2003). «Guidance for the A2 Surface Treatment Using Organic Solvents Sector», SG6.
- 122 Dupont y May, T. (2005). «E-mail on solvent usage», comunicación personal.
- 123 CE (1999). «Council Directive 1999/13/EC on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations», DO.

- 124 SEFEL (2005). «Proposed emission levels associated with BAT».
- 125 SEFEL (2005).
- 126 EIPPCB «Reference document on the application of Best Available Techniques to industrial cooling systems».
- 127 VROM (2004). «Diffuse Oplosmiddelesissies in Verpakkingdiepdruk en Flexo: Deel 2. Meten en Verminderen».
- 128 TWG (2005). «Compiled comments of the TWG on STS draft 2, Sept 2005», STS D2 Mastercomments Feb 2006.
- 130 EGTEI (2005). «Heatset Offset: synopsis sheet».
- 131 EGTEI (2005). «Flexography and Rotogravure in Packing: Synopsis sheet».
- 132 EGTEI (2005). «Publication gravure: Synopsis sheet».
- 133 EGTEI (2005). «Winding wires coating: Synopsis sheet».
- 134 EGTEI (2005). «Industrial applications of adhesives: Synopsis sheet».
- 135 EGTEI (2005). «Car coating: Synopsis sheet».
- 136 EGTEI (2005). «Truck coating: Synopsis sheet».
- 137 EGTEI (2005). «Truck cabin coating: synopsis sheet».
- 138 EGTEI (2005). «Bus coating:Synopsis sheet».
- 139 CE (2001). «Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants», DO, pp. 0022-0030.
- 140 EGTEI (2005). «Wood coating Synopsis sheet».
- 140 Tempany, P., I. Jansen, H. Myland (2006). «Winding wires and NOx emissions», comunicación personal.
- 141 EGTEI (2005). «Preservation of wood: Synopsis sheet».
- 142 EGTEI (2005). «Industrial application of paints: Synopsis sheet».
- 143 CE (2002/4). «The Food Regs.»
- 145 VITO (2004). «Guidance manual air cleaning techniques».
- 146 CEI-BOIS (2006). «Comments on BAT- Surface treatments using solvents», comunicación personal.
- 147 Presti (2005). «Reduction of emissions in the wood and furniture finishing operations: possibilities and difficulties.»
- 148 TWG (2006). «TWG final plenary meeting».

## Bibliografía de referencia

---

- 149 UKDEFRA (2004). «Secretary of State's Guidance for chemical treatment of timber and wood based products», Directrices del Secretario de Estado para BATNEEC.
- 150 UKHSE (2006). «Blue book' for biocides».
- 151 AEMA (1999). «Wood preservation pesticides».
- 152 ACEA (2006). «Additional information for information exchange 2006», comunicación personal.
- 153 CEFIC (1998). «Responsible Care programme: Health, Safety and Environment Reporting Guidelines, Appendix 8», <http://www.cefic.be/activities/hse/rc/guide/11.htm>.
- 154 Tempany, P. (2006). «Surface cleaning».
- 155 UNECE (2006). «Paint costs», comunicación personal.
- 157 ACEA (2005). «Additional information provided in information exchange 2005», comunicación personal.
- 159 ACEA (2006). «Additional information provided in the information exchange», comunicación personal.
- 160 ESVOCCG (2006). «Cleaning in the STS BREF industries» Reunión final del TWG de STS.
- 161 EIPPCB (2006). «Draft Reference document on Energy Efficiency Techniques (ENE)».
- 162 Eurocar (2005). «V Congreso Eurocar» V Congreso Eurocar.
- 163 EWWG (2005). «Additional data on NOx emissions from winding wire coating», comunicación personal.
- 164 Verspoor, P. (2006). «Calculations on venting tanks during delivery», comunicación personal.
- 165 ECN (2005). «CO2 price dynamics».
- 166 AEA e Institute, S. E. (2005). «Damages per tonne of PM2.5, NH3, SO2, NOx and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and the surrounding seas.»
- 167 Verspoor, P. y Sitmae Consultancy, B. (2005). «Solvent based or water borne inks in flexography: A cost comparison».
- 168 ESIG (2005). «Additional data for the information exchange», comunicación personal.
- 169 Lemoine, S. (2006). «POCP data for the STS information exchange», comunicación personal.
- 170 Tempany, P. y Lemoine, S. (2006). «POCP: calculations of effective POCP: additional data for the information exchange», comunicación personal.
- 171 May, T., Dupont/UNECE (2006). «Coating of plastics: data to support TWG BAT decision», comunicación personal.
- 172 May, T., Dupont/UNECE (2006). «POCP: comments on draft BAT», comunicación personal.



- 173 Portugal (2006). «Dock discipline: Basic rules for activities performed in docks and slipways», comunicación personal.
- 174 UNECE (2006). «Answers to questions from EIPPCB on coating of ships», comunicación personal.
- 175 Kiil, S.; Weinell, C.; Yebra, D. M. y Dam-Johansen, K. (2006/07). «Marine biofouling protection: design of controlled release antifouling paints. In: Ka M.N., Gani, R. and Dam-Johansen, K. Chemical Product Design: Toward a perspective through case studies.»
- 176 Stern, N. (2006). «The Economics of Climate Change», ISBN-13: 9780521700801.
- 177 Eurostat (2005/6). «Printing Industries: Extract from Eurostat New Chronos database Classification of economic activities - NACE Rev.1.1 - DE 22.2», comunicación personal.
- 178 Verspoor, P. (2006). «Personal communication», comunicación personal.
- 179 Francia y TWG, S. (2003). «E-coat process data for STM BREF».
- 180 República Checa (2006). «Description of e-coat process».
- 181 ACEA (2003). «E-coat data for STM BREF».
- 182 ADEME (2006). «VOC emission calculations».
- 183 Verspoor, P. y TWG, S. (2006). «Waste gas treatment options and efficiencies».
- 184 AFERA (2005). «New text for chapter 5».
- 185 May, T., Dupont/UNECE; UNECE y ACEA (2006). «Improved data for trucks, chapter 7».
- 186 May, T., Dupont; UNECE y ACEA (2006). «Improved data for buses, chapter 8».
- 187 CE (1996). «Control of major accident hazards involving dangerous substances (Seveso II Directive)».
- 188 OMS\_IPCS (1996).
- 189 CEI-BOIS (2006). «Reference data for BAT 'Surface Treatment Using Solvents», comunicación personal.
- 190 Humberstone, S «Personal communication».
- 191 Senior, P. (2006). «Optimisation of three phase power supply», comunicación personal.
- 193 Tempany, P.; Jansen, I. y Myland, H. (2006). «Winding wires and NOx emissions», comunicación personal.
- 194 EPER (2001). «European Pollutant Emission Register», <http://eper.ec.europa.eu/>.



## GLOSARIO

### 1. Términos generales, abreviaturas, acrónimos y sustancias

TÉRMINO	SIGNIFICADO
Alfanuméricos	
2K	de 2 componentes, normalmente utilizado para pinturas
A	
AC (p. ej. pintura)	No hay datos disponibles.
ácido	donador de protones. Sustancia que libera iones de hidrógeno en disolución acuosa
aerobio	proceso biológico que ocurre en presencia de oxígeno
destrucción del ozono	destrucción de la capa de ozono estratosférica que puede estar ocasionada por la rotura fotolítica de determinados compuestos que contienen cloro o bromo (p. ej. clorofluorocarbonos), que descomponen catalíticamente las moléculas de ozono
IPA	alcohol isopropílico
álcali (base)	aceptor de protones. Sustancia que libera iones de hidróxido en disolución acuosa
anaerobio	proceso biológico que ocurre en ausencia de oxígeno
AOX	Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles. La concentración total en miligramos por litro, expresado como cloro, de todos los compuestos orgánicos halogenados (excepto el flúor) presente en una muestra acuosa, que son capaces de ser adsorbidos en carbón activo
B	
bien desde la primera	técnica de control de calidad de gestión de la producción que permite que la calidad del producto sea correcta en un número mínimo de elementos terminados
biodegradable	que se puede destruir física o químicamente por microorganismos. Por ejemplo, muchos productos químicos, los restos de comida, el algodón, la lana y el papel son biodegradables
BIW, carrocería tratada con parafina	término estándar de la industria de fabricación de vehículos que se refiere al armazón metálico de un vehículo antes de que pase por los procesos de desengrasado, inmersión y pintura
b.p.	punto de ebullición
BREF	documento de referencia de MTD
C	
CAD	diseño asistido por ordenador
CAFE	Aire limpio para Europa. Programa que respalda la estrategia temática de la UE sobre contaminación del aire
CBN	nitruro de boro cúbico
CEI	Comisión Electrotécnica Internacional
CEN	Comité Europeo de Normalización
CMR	cancerígeno, mutágeno y tóxico para la reproducción. Aplicado a sustancias que tienen una o varias de estas propiedades peligrosas
condiciones de referencia	del texto normalizado. Véase el capítulo ?
contaminante	sustancia individual o grupo de sustancias que pueden perjudicar o afectar al medio ambiente
contención, zona de contención	la contención (secundaria) se refiere a la protección adicional frente a fugas en los tanques de almacenamiento más allá de la protección proporcionada por el tanque. Existen dos tipos principales de contención secundaria para fugas, son aquellas que forman parte de la construcción del tanque, como doble fondo (sólo para tanques que no son subterráneos), tanques de doble pared y barreras impermeables que se sitúan sobre el suelo bajo los tanques [91, EIPPCB, 2005]

TÉRMINO	SIGNIFICADO
Control	proceso pensado para evaluar o determinar el valor real y la variaciones de una emisión u otro parámetro a partir de procedimientos de control, inspección, muestreo u otros métodos de evaluación creados para proporcionar información sobre cantidades emitidas o tendencias de los contaminantes emitidos
Convenio OSPAR	el Convenio OSPAR de 1992 es el instrumento para la protección del entorno marítimo del Atlántico Norte
COT	carbono orgánico total. Una prueba para evaluar la cantidad de carbono orgánico en una muestra
COV	compuesto orgánico volátil (véase COVNM)
COVNM	compuesto orgánico volátil no metano (véase COV)
CSBR	copolímero en bloque de estireno-butadieno-estireno-carboxilado
CTP	directo a plancha
D	
DBO	demanda bioquímica (o biológica) de oxígeno. Medida de la cantidad de materia orgánica en agua y residuos. Es la cantidad de oxígeno disuelto necesaria para que los microorganismos descompongan la materia orgánica. La unidad de medida es mg O <sub>2</sub> /l. En Europa, la DBO se suele medir después de 3 (DBO <sub>3</sub> ), 5 (DBO <sub>5</sub> ) o 7 (DBO <sub>7</sub> ) días
dH	grado de dureza del agua
DIN	Norma industrial alemana
DMA	Directiva Marco relativa al Agua. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo que establece un marco de acción comunitario en el campo de la política del agua
DQO	demanda química de oxígeno. La cantidad de oxígeno absorbido químicamente (por una muestra). Las condiciones de ensayo son muy oxidantes si se utiliza dicromato potásico y oxida prácticamente todos los compuestos orgánicos. La unidad de medida es mg O <sub>2</sub> /l
DUE	Derechos de emisión de la Unión Europea. Término utilizado para las unidades de comercio del esquema de comercio de carbón en EUR por tonelada de CO <sub>2</sub>
DWI	embutición y estirado. Método de producción de latas
E	
EB	haz de electrones
EDTA	ácido etilen-diamino-tetraacético
EF	factores de emisión
Efectos cruzados	el cálculo de los impactos en el medio ambiente de las emisiones al agua, la atmósfera y el suelo, el uso de energía, el consumo de materias primas, el ruido y la extracción de agua (es decir, todos los elementos que se estipulan en la Directiva IPPC)
efluente	fluido físico (aire o agua junto con contaminantes) que forma una emisión
EFTA	Asociación Europea de Libre Comercio
EGTEI	Véase el anexo 24.1.1 . Página web del EGTEI: <a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm">http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm</a>
EIPPCB	oficina europea de IPPC
EM	Estado miembro de la Unión Europea
EMAS	sistema de gestión y auditoría medioambientales
emisión	la liberación directa o indirecta a la atmósfera, agua o suelo de sustancias, vibraciones, calor o ruido de fuentes individuales o difusas en una instalación
emisión específica	emisión relacionada con una base de referencia, como la capacidad de producción o la producción real (p. ej. masa por tonelada o por unidad producida)
emisión fugitiva	en este documento se utiliza la definición de la SED [123, CE, 1999]: cualquier emisión que no se encuentre en gases residuales de COV a la atmósfera, suelo y agua así como (a menos que la SED indique lo contrario) disolventes contenidos en los productos. Incluyen emisiones no capturadas liberadas al ambiente mediante ventanas, puertas, orificios de ventilación y aberturas similares (véase también gas residual)

TÉRMINO	SIGNIFICADO
EOE	abrefácil
EP	electrofiltro
EPDM	monómero de etileno-propileno-dieno
EQS	normas de calidad ambiental
ESIG	Grupo Europeo de la Industria de Disolventes
ETL	revestimiento electrolítico, p. ej. inmersión electroforética e inmersión catódica
EVA	acetato de vinilo etileno
EWP	Grupo de trabajo sobre medio ambiente
F	
FID	detección por ionización de llama
FII	Foro de Intercambio de Información (órgano consultivo informal en el marco de la Directiva IPPC)
floculación	tratamiento de aguas residuales que implica una suave agitación por la que las pequeñas partículas se adhieren a partículas más grandes de forma que su peso hace que se depositen en el fondo del tanque de tratamiento
FOGRA	
fondo uniforme	una zona impresa que contiene puntos de la trama que tienen el mismo tamaño al contrario que una trama o viñeta. A los fondos uniformes se les llama normalmente «fondos de color»
G	
gas residual	en este documento se utiliza la definición de la SED [123, CE, 1999]: la descarga gaseosa final que contiene COV u otros contaminantes procedente de una chimenea o equipo de reducción a la atmósfera
GJ	gigajulio
GNL	gas natural licuado
IBC	gran recipiente para mercancías a granel
TWG	grupo técnico de trabajo
H	
HBS	disolventes de alto punto de ebullición
HDF	fibra de alta densidad
HF	alta frecuencia
HP	alta presión
HPA	hidrocarburos aromáticos policíclicos
huella	impacto ambiental de una empresa determinado por la cantidad de materias primas agotables y fuentes no renovables que consume para la elaboración de sus productos y la cantidad de residuos y emisiones que se generan en el proceso
huella ambiental	una medida de la carga o impacto que un producto, operación o negocio tiene sobre el medio ambiente. Para la IPPC, son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• el consumo de energía, materias primas y agua</li> <li>• emisiones a la atmósfera, al agua, aguas subterráneas y suelo; y como residuos</li> <li>• daños a la propiedad material y el perjuicio o interferencia con servicios públicos y otros usos legítimos del medio ambiente.</li> </ul> IPPC incluye una consideración de ruido y vibración, polvo y olor. Sin embargo, no incluye aspectos como el análisis del ciclo de vida de los productos
HVLP	gran volumen baja presión
I	
IDOP	producción integrada de precursores de ozono medida de la reactividad de un disolvente para crear ozono troposférico
inmisión	ocurrencia y nivel de sustancia contaminante, olor o ruido en el medio ambiente
instalación	una unidad técnica fija en la cual se realizan una o más de las actividades que se enumeran en el anexo I, y cualquier otra actividad directamente asociada que tenga relación técnica con las actividades que se llevan a cabo en la instalación y que podrían ejercer influencia en las emisiones y la contaminación

TÉRMINO	SIGNIFICADO
instalación existente	una instalación en funcionamiento o, según la legislación existente previa a la fecha en la que esta Directiva entró en vigor, una instalación autorizada o que haya solicitado una autorización ante una autoridad competente, siempre y cuando la instalación haya comenzado a funcionar no antes que un año después de la fecha en la cual esta Directiva entró en vigor
Intergraf EWP	Grupo de trabajo sobre medio ambiente
IPPC	prevención y control integrados de la contaminación
IR	infrarrojo
J	
K	
K1 K2 K3	una indicación de la inflamabilidad utilizada en los Países Bajos y Bélgica de acuerdo con el punto de inflamación <ul style="list-style-type: none"> <li>• K1: &lt; 21 °C</li> <li>• K2: 21 – 55 °C</li> <li>• K3: &gt; 55 °C</li> </ul>
L	
LCA	análisis del ciclo de vida
LCCC	concepto de conversión de bajo coste
LIE	límite inferior de explosión
LP	baja presión
LWC	revestido de bajo peso
M	
MDF	fibra de densidad media (tableros)
medida/técnica primaria	una técnica que de alguna forma cambia la forma en la que funciona el proceso principal, reduciendo así las emisiones y consumos de las materias primas (véase técnica de final de línea (end of pipe))
medida/técnica secundaria	véase técnica de final de línea (end of pipe)
MEK	metil etil cetona
MF	acabado en máquina
MKM	un modelo de costes ambientales (MilieuKostenModel), véase el anexo 24.1.2
MTD	mejores técnicas disponibles
N	
n/a	no aplicable O no disponible (dependiendo del contexto)
NC	nitrocelulosa
n/d	no hay datos
NEOE	sin abrefácil
NF	nanofiltración
NIR	infrarrojo cercano
NMP	n-metil pirrolidona
NR	goma natural
O	
oblongos	en fabricación de latas: se refiere a la forma de un contenedor de línea general en la que los extremos superior e inferior son rectangulares con esquinas redondeadas
ODP	potencial de destrucción de ozono. Un índice relativo que indica el grado en el que un compuesto puede ocasionar destrucción de ozono
OEL	límite de exposición ocupacional
OEM	fabricante de equipos originales
OFP	potencial de formación de ozono
OMI	Organización Marítima Internacional
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
P	
PA	poliamida
PARCOM	Comisión de París de 1974 sobre fuentes de contaminación marina con base en tierra. Actualmente ha sido reemplazada por el Convenio OSPAR
PBTs	sustancias persistentes, bioacumulativas y tóxicas
POCP	potencial de formación de ozono fotoquímico

TÉRMINO	SIGNIFICADO
PCP	pentaclorofenol
PE	polietileno
PET	polietilentereftalato
PI	integrado en el proceso
PIB	producto interior bruto
PID	proporcional integral derivativo
PM <sub>2.5</sub>	materia particulada con un diámetro aerodinámico menor o igual que 2,5 micrómetros nominales
POP	contaminantes orgánicos persistentes
PP	polipropileno
ppb	partes por billón
ppm	partes por millón (en peso)
preproducto	una pieza de trabajo que no es el producto final pero que se trata y reviste de forma separada. En este documento, por ejemplo, las hojas planas pueden ser revestidas o impresas antes del moldeado y añadir las piezas finales para producir una lata
PS	poliestireno
PTFE	politetrafluoroetileno
PU o PUR	poliuretano
PVA (o PVAC)	acetato de polivinilo
PVB	butirato de polivinilo
PVC	cloruro de polivinilo
PVdF (o PVF <sub>2</sub> )	difluoruro de polivinilideno
PVF	fluoruro de polivinilo
PYME	pequeña y mediana empresa
Q	
R	
RA	tasa de evaporación
RAINS	Modelo de Información y Simulación de la Contaminación del Aire Regional para Europa. Véase el anexo 24.1.1 . Cuando se habla de RAINS en este documento, se refiere a la versión RAINS CP_CLE_Aug04(Nov04). Para revisar los datos utilizados en el modelo RAINS-COV: <a href="http://www.iasa.ac.at/web-apps/tap/RainsWeb/">http://www.iasa.ac.at/web-apps/tap/RainsWeb/</a>
REACH	el Nuevo marco regulador propuesto por la Comisión Europea para el registro, evaluación y autorización de productos químicos. Véase: <a href="http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_intro.htm">http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_intro.htm</a>
RH	humedad relativa
ROI	retorno de la inversión
rto, RTO	oxidación térmica regenerativa
S	
SB	de base disolvente
SBR	copolímero butadieno estireno
SBS	estireno-butadieno-estireno (copolímero en bloque)
SCR	reducción catalítica selectiva
SED	Directiva sobre emisiones de disolventes [123, CE, 1999]
SGA	sistema de gestión ambiental
SIS	estireno-isopreno-estireno (copolímero en bloque)
SNCR	reducción no catalítica selectiva
SOMO 35	término estadístico: suma de medias por encima de 35
SS	sólidos secos (contenido). La masa de material que permanece después del secado mediante el método de comprobación estándar
STP	temperatura y presión estándar
T	
TB	tonelaje bruto
TBT	Tributil estaño
TCF	totalmente libre de color
TDS	sólidos disueltos totales



TÉRMINO	SIGNIFICADO
Técnica de « final de línea (end of pipe)»	una técnica que reduce las emisiones y consumos finales mediante procesos adicionales pero que no altera el funcionamiento fundamental del proceso principal. Sinónimos: «técnica secundaria», «técnica de reducción». Antónimos: «técnica integrada en el proceso», «técnica primaria» (una técnica que de alguna forma cambia la forma en la que funciona el proceso principal, reduciendo así las emisiones y consumos de las materias primas)
TGIC	triglicidil isocianurato: sustancia mutágena utilizada en revestimientos en polvo
titular	cualquier persona física o jurídica que dirija o controle la instalación o, cuando así sea previsto por la legislación nacional, a quien se haya delegado poder económico decisivo sobre el funcionamiento técnico de la instalación
TLV	valor límite umbral. Son valores guía (no estándares) preparados por la Conferencia Americana de Higienistas Gubernamentales (ACGIH) para ayudar a los higienistas industriales a tomar decisiones relacionadas con niveles seguros de exposición a diferentes peligros que se encuentran en el lugar de trabajo. Un TLV® refleja el nivel de exposición que el trabajador típico puede experimentar sin un riesgo razonable de enfermedad o daño. Los TLV® no son estimaciones cuantitativas del riesgo a distintos niveles de exposición o por diferentes rutas de exposición.
TPB	trifenil bismuto
TPM	gestión total de la producción
TRB	toneladas de registro bruto
U	
UE	Unión Europea
UF	ultrafiltración
UF	urea-formaldehído
UP	poliéster insaturado
UV	ultravioleta
V	
VCA	agentes de limpieza vegetales
VHR	relación de riesgo por vapor
ELV	valores límite de emisión. La masa, expresada en términos de determinados parámetros específicos, la concentración o el nivel de una emisión, que no deben superarse durante uno o más periodos de tiempo.
vp o VP	presión de vapor
W	
WGT	tratamiento de gases residuales
white spirit	CAS N°: 8052-41-3. También conocido como mineral spirits, nafta de alto punto de ignición, fracciones destiladas de petróleo, disolvente Stoddard, destilados de petróleo. Utilizado como diluyente de pintura, desengrasante y agente de limpieza. Es una mezcla de hidrocarburos saturados alifáticos y alicíclicos C7 – C12 con un contenido de entre el 15 y el 20 % (en peso) de hidrocarburos aromáticos C7 – C12 y un rango de ebullición de 130 – 230 °C. Los hidrocarburos C9 – C11 (alifáticos, alicíclicos y aromáticos) son los más abundantes y constituyen el 80 % (en peso) del total. El punto de inflamación (fp) y el punto de ebullición (inicial, bp) según el grado: grado bajo: fp 21 - 30 °C, bp 130 - 144 °C grado medio: fp 31 - 54 °C, bp 145 - 174 °C grado alto: fp ≥55 °C, bp 175 - 200 °C [188, OMS IPCS, 1996]
WW	bobina de alambre
WWF	Fondo Mundial para la Naturaleza
EDAR	estación depuradora de aguas residuales
X	
Y	
Z	

## 2. Unidades, medidas y símbolos comunes

TÉRMINO	SIGNIFICADO
atm	atmósfera normal (1 atm = 101 325 N/m <sup>2</sup> )
bar	bar (1,013 bar = 1 atm)
millardo	mil millones (10 <sup>9</sup> )
°C	grado Celsius
cm	centímetro
d	día
g	gramo
GJ	gigajulio
h	hora
J	Julio
K	kelvin (0 °C = 273,15 K)
kcal	kilocaloría (1 kcal = 4,19 kJ)
kg	kilogramo (1 kg = 1000 g)
kJ	kilojulio (1 kJ = 0,24 kcal)
kPa	kilopascal
kt	kilotonelada
kWh	kilovatio-hora (1 kWh = 3600 kJ = 3,6 MJ)
l	litro
m	metro
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
mg	miligramo (1 mg = 10 <sup>-3</sup> gram)
MJ	megajulio (1 MJ = 1000 kJ = 10 <sup>6</sup> joule)
mm	milímetro (1 mm = 10 <sup>-3</sup> m)
m/min	metros por minuto
Mt	megatonelada (1 Mt = 10 <sup>6</sup> toneladas)
Mt/a	megatoneladas por año
mV	milivoltios
MW <sub>e</sub>	megavatios eléctricos (energía)
MW <sub>th</sub>	megavatios térmicos (energía)
ng	nanogramo (1 ng = 10 <sup>-9</sup> gramos)
Nm <sup>3</sup>	metro cúbico normal (101 325 kPa, 273 K)
Pa	pascal
ppb	partes por billón
ppm	partes por millón (en peso)
ppmv	partes por millón (en volumen)
s	segundo
t	tonelada métrica (1000 kg o 10 <sup>6</sup> gramos)
t/d	toneladas por día
billón	millón de millones (10 <sup>12</sup> )
t/a/d	tonelada(s) por año
V	voltio
v/v	volumen/volumen, normalmente expresado como porcentaje y es igual que % en volumen
% en volumen	porcentaje en volumen
W	vatio (1 W = 1 J/s)
w/w	peso/peso, normalmente expresado como porcentaje y es igual que % en peso
% en peso	porcentaje en peso
a	año
μ	
μm	micrómetro (1 μm = 10 <sup>-6</sup> m)
μS	micro Siemens

## 3. Lista de elementos químicos

NOMBRE	SÍMBOLO	NOMBRE	SÍMBOLO
actinio	Ac	lutecio	Lu
aluminio	Al	magnesio	Mg
americio	Am	manganeso	Mn
antimonio	Sb	mendelevio	Md
argón	Ar	mercurio	Hg
arsénico	As	molibdeno	Mo
astato	At	neodimio	Nd
azufre	S	neón	Ne
bario	Ba	neptunio	Np
berkelio	Bk	níquel	Ni
berilio	Be	niobio	Nb
bismuto	Bi	nitrógeno	N
boro	B	nobelio	No
bromo	Br	oro	Au
cadmio	Cd	osmio	Os
calcio	Ca	oxígeno	O
californio	Cf	paladio	Pd
carbono	C	plata	Ag
cerio	Ce	platino	Pt
cesio	Cs	plomo	Pb
cloro	Cl	plutonio	Pu
cromo	Cr	polonio	Po
cobalto	Co	potasio	K
cobre	Cu	praseodimio	Pr
curio	Cm	prometio	Pm
disproso	Dy	protactinio	Pa
einsteinio	Es	radio	Ra
erbio	Er	radón	Rn
escandio	Sc	renio	Re
estaño	Sn	rodio	Rh
estroncio	Sr	rubidio	Rb
europio	Eu	rutenio	Ru
fermio	Fm	rutherfordio	Rf
flúor	F	samario	Sm
fósforo	P	selenio	Se
francio	Fr	silicio	Si
gadolinio	Gd	sodio	Na
galio	Ga	talio	Tl
germanio	Ge	tántalo	Ta
hafnio	Hf	tecnecio	Tc
helio	He	teluro	Te
holmio	Ho	terbio	Tb
hidrógeno	H	titanio	Ti
hierro	Fe	torio	Th
indio	In	tulio	Tm
iridio	Ir	uranio	U
iterbio	Yb	vanadio	V
itrio	Y	wolframio	W
kriptón	Kr	xenón	Xe
lantano	La	yodo	I
laurencio	Lr	zinc	Zn
litio	Li	zirconio	Zr

## 4. Prefijos de unidades del sistema internacional

Símbolo	Prefijo	Término	Número
Y	yotta	$10^{24}$	1 000 000 000 000 000 000 000 000
Z	zeta	$10^{21}$	1 000 000 000 000 000 000 000
E	exa	$10^{18}$	1 000 000 000 000 000 000
P	peta	$10^{15}$	1 000 000 000 000 000
T	tera	$10^{12}$	1 000 000 000 000
G	giga	$10^9$	1 000 000 000
M	mega	$10^6$	1 000 000
k	kilo	$10^3$	1000
h	hecto	$10^2$	100
da	deca	$10^1$	10
-----	-----	1 unidad	1
d	deci	$10^{-1}$	0,1
c	centi	$10^{-2}$	0,01
m	mili	$10^{-3}$	0,001
μ	micro	$10^{-6}$	0,000 001
n	nano	$10^{-9}$	0,000 000 001
p	pico	$10^{-12}$	0,000 000 000 001
f	femto	$10^{-15}$	0,000 000 000 000 001
a	atto	$10^{-18}$	0,000 000 000 000 000 001
z	zepto	$10^{-21}$	0,000 000 000 000 000 000 001
y	yocto	$10^{-24}$	0,000 000 000 000 000 000 000 001



## 24 ANEXOS

### 24.1 Modelos para calcular la relación coste-beneficio

#### 24.1.1 Modelo y hojas de resumen del EGTEI

**Descripción:** El EGTEI pretende valorar los costes de las técnicas de reducción de emisiones y proporcionar datos para determinar los costes totales de un sector de actividad dado, dependiendo de diferentes supuestos de reducción de emisiones basados en tasas de penetración dependientes de la tecnología. El acercamiento EGTEI implica:

- mejorar la representación de los costes de la tecnología de control de la contaminación para un sector dado;
- reducir las incertidumbres trabajando en cooperación con los participantes principales de la industria;
- verificar la trazabilidad de los datos utilizados;
- garantizar la compatibilidad con el modelo de Información y Simulación de Contaminación del Aire Regional (RAINS), y facilitar la comprensión de los datos agregados utilizados en dicho modelo.

En el marco del EGTEI se ha elaborado una base de datos de los costes de la reducción de emisiones. En esta base de datos se han desarrollado una serie de documentos de antecedentes para unas 50 actividades del sector que se han condensado en una herramienta informática llamada ECODAT. Cada sector está representado por uno o más ejemplos de instalaciones (según el tamaño operativo), caracterizadas por conjuntos de diferentes parámetros: capacidad, horas de funcionamiento anuales, proceso de producción, tecnología de combustión utilizada, consumo de combustible, datos de producción, caudales de emisión, vida de la planta, etc. ECODAT ha sido diseñada para recoger datos específicos de cada país.

El EGTEI proporciona costes de explotación predeterminados sobre la base de parámetros medios europeos, pero permite que los expertos nacionales puedan introducir los costes específicos de un país determinado. Para garantizar la transparencia, el método utilizado para valorar los costes y los diferentes parámetros puede encontrarse en los documentos de antecedentes.

La representación del sector y la definición de costes han sido desarrolladas en estrecha colaboración con expertos nacionales y de la industria. Con el fin de facilitar el trabajo de los expertos nacionales, ha sido necesario encontrar un equilibrio entre la descripción más precisa de un sector determinado y la necesidad de minimizar los datos estadísticos que es necesario recoger para la valoración de los costes.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Las hojas de resumen del EGTEI se elaboran principalmente para ayudar a los expertos a recoger datos sobre las emisiones de COV para RAINS. Sin embargo, dichas hojas contienen información útil para ayudar a la consideración de las MTD (ver aplicabilidad más adelante).

**Efectos cruzados:** Ninguno.

**Información operativa:** Véanse las hojas de resumen individuales para obtener la información operativa para cada tipo de industria.

**Aplicabilidad:** El EGTEI también proporciona hojas de resumen. En ellas se incluye un resumen de las industrias consideradas, los ejemplos de instalaciones considerados, las medidas de reducción primarias (de proceso) y secundarias (de final de línea (end of pipe)) viables para cada nivel de la planta de ejemplo y para obtener valores de emisión predeterminados, eficiencias de reducción y costes de inversión con costes de explotación fijos y variables para

cada combinación de opciones. Todo ello se resume en el ámbito europeo y puede considerarse a la hora de evaluar las MTD de la industria.

Existen hojas de resumen para todas las actividades incluidas en la SED y, por tanto, en este documento (véase la Tabla 24.1). Los recursos del proyecto limitan el número y complejidad de las técnicas consideradas, pero han sido identificadas las principales opciones. Las hojas sólo se ocupan de la efectividad de costes de las medidas para controlar las emisiones de COVNM.

Las hojas de resumen no tienen en cuenta consideraciones de MTD como efectos cruzados o características técnicas o de otro tipo para instalaciones individuales como los tipos de productos o las limitaciones técnicas.

**Aspectos económicos:** Véanse las hojas de resumen individuales.

**Motivo principal para su aplicación:** Aportar datos para RAINS.

**Ejemplos de instalaciones:** Véanse las hojas de resumen.

**Bibliografía de referencia:** Página web del EGTEI:  
[http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei\\_index.htm](http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm)  
 [132, EGTEI, 2005]

Capítulo del BREF STS	Uso de pintura en el revestimiento de vehículos	URL referente a la hoja de resumen del EGTEI	Código de actividad del anexo II de la SED
2	Industria de impresión		
	Offset rotativa con secado por calor	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/34-Synopsis-sheet-heatset-offset-30-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/34-Synopsis-sheet-heatset-offset-30-09-05.pdf</a>	1
	Huecograbado de publicaciones	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/35-Synopsis-sheet-publication-gravure-30-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/35-Synopsis-sheet-publication-gravure-30-09-05.pdf</a>	2
	Flexografía y huecograbado en embalajes	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/36-Synopsis-sheet-packaging-30-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/36-Synopsis-sheet-packaging-30-09-05.pdf</a>	3
3	Bobinas de alambre	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/23-Synopsis-sheet-winding-wire-29-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/23-Synopsis-sheet-winding-wire-29-09-05.pdf</a>	9
4	Fabricación de abrasivos	Véase: Otras industrias de revestimiento:	8
5	Fabricación de cinta adhesiva (EGTEI: Aplicación de adhesivos en la industria)	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/38-Synopsis-sheet-adhesives-30-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/38-Synopsis-sheet-adhesives-30-09-05.pdf</a>	16
6	Revestimiento de vehículos	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/15-Synopsis-sheet-car-coating-29-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/15-Synopsis-sheet-car-coating-29-09-05.pdf</a>	Anexo IIA.II
7	Revestimiento de camiones y camionetas	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/20-Synopsis-sheet-truck-coating-29-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/20-Synopsis-sheet-truck-coating-29-09-05.pdf</a>	Anexo IIA.II
7	Revestimiento de cabinas de camiones	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/21-Synopsis-sheet-truck-cabin-coating-29-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/21-Synopsis-sheet-truck-cabin-coating-29-09-05.pdf</a>	Anexo IIA.II
8	Revestimiento de autobuses	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/22-Synopsis-sheet-bus-coating-29-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/22-Synopsis-sheet-bus-coating-29-09-05.pdf</a>	Anexo IIA.II
9	Revestimiento de trenes	Véase: Otras industrias de revestimiento	8



Capítulo del BREF STS	Uso de pintura en el revestimiento de vehículos	URL referente a la hoja de resumen del EGTEI	Código de actividad del anexo II de la SED
10	Revestimiento de EAC (equipos para la agricultura y la construcción y equipos similares)	Véase: Otras industrias de revestimiento	8
11	Revestimiento de buques y yates	Véase: Otras industrias de revestimiento	8
12	Revestimiento de aeronaves	Véase: Otras industrias de revestimiento	8
13	Revestimiento de otras superficies metálicas	Véase: Otras industrias de revestimiento	8
14	Revestimiento de bobinas	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/18-Synopsis-sheet-coil-coating-30-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/18-Synopsis-sheet-coil-coating-30-09-05.pdf</a>	7
15	Revestimiento e impresión de envases metálicos	Esta industria no cuenta con una hoja de resumen del EGTEI específica. Se trata en parte (p. ej. envases metálicos rígidos) en la hoja de resumen «Otras industrias de revestimiento». Otras partes de la industria están relacionadas con el embalaje flexible.	3 y 8 (en parte)
16	Revestimiento de otras superficies plásticas	Véase: Otras industrias de revestimiento	8
17	Revestimiento de superficies de madera	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/19-Synopsis-sheet-wood-coating-30-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/19-Synopsis-sheet-wood-coating-30-09-05.pdf</a>	10
18	Conservación de la madera	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/40-Synopsis-sheet-preservation-wood-30-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/40-Synopsis-sheet-preservation-wood-30-09-05.pdf</a>	12
19	Espejos	Véase: Otras industrias de revestimiento	8
General 4 9 10 11 12 13 15 16 19	Otras industrias de revestimiento: Abrasivos Trenes EAC (equipos para la agricultura, la construcción y equipos similares) Buques y yates Aeronaves Otras superficies metálicas Envases metálicos (en parte) Otras superficies de plástico Espejos	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/24-26-Synopsis-sheet-general%20industrial-paint-30-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/24-26-Synopsis-sheet-general%20industrial-paint-30-09-05.pdf</a>	8
20.9	Técnicas de limpieza (para la limpieza superficial de productos)	<a href="http://www.citepa.org/forums/egtei/27-Synopsis-sheet-surface%20cleaning-30-09-05.pdf">http://www.citepa.org/forums/egtei/27-Synopsis-sheet-surface%20cleaning-30-09-05.pdf</a>	4 y 5

Tabla 24.1: Tabla de hojas de resumen del EGTEI relevantes para este documento

### 24.1.2 Modelo de costes ambientales regionales (MKM, MilieuKostenModel)

**Descripción:** En Flandes, Bélgica, se ha desarrollado un modelo de costes ambientales (MilieuKostenModel o MKM) paralelamente al trabajo desarrollado por el EGTEI. Con esta herramienta es posible obtener una visión general de las medidas potenciales de reducción, sus costes y su potencial de reducción de emisiones, así como encontrar las soluciones más baratas o mayor eficiencia en costes.

El MKM tiene en cuenta las interacciones y equilibrios para situaciones complejas mediante la programación entera mezclada. El modelo puede utilizarse para optimizar (p. ej. la solución de menor coste para reducir emisiones o la curva de costes marginales para un contaminante en particular) y para simular (p. ej. el impacto de objetivos ambientales más estrictos sobre la solución de menor coste o cuál es el impacto de la reducción de actividades contaminantes) para uno o más contaminantes al mismo tiempo.

Un informe de antecedentes describe las definiciones utilizadas en el modelo como costes ambientales o eficiencia de costes, así como la metodología para analizar la eficiencia de costes de las medidas de reducción.

El modelo MKM fue diseñado para determinar los costes de las políticas ambientales y para contribuir a una política ambiental más eficiente indicando cómo pueden conseguirse los objetivos de una manera eficiente en costes. Su objetivo era:

- desarrollar una base de datos coherente que incluyera medidas ambientales, su potencial de reducción y sus costes;
- desarrollar una herramienta para asignar los esfuerzos de reducción de emisiones entre diferentes grupos de forma eficiente en costes;
- desarrollar una herramienta que tenga en cuenta varios efectos contaminantes;
- desarrollar una herramienta para analizar la eficiencia en costes de los instrumentos políticos;
- desarrollar un instrumento que pueda relacionarse con otros modelos como modelos ecológicos, modelos económicos (p. ej. RAINS).

Dependiendo de los datos disponibles se identifican las fuentes de emisión de ámbito agregado (p. ej. en de la industria o el sector) o de ámbito individual (p. ej. empresas individuales). El formato de la base de datos permite describir fuentes de emisión como instalaciones individuales, las llamada «instalaciones de referencia». Una «instalación de referencia» es una categoría representativa de instalaciones para la que están disponibles las mismas medidas de reducción de emisiones y para la que una medida de reducción en particular presenta costes y resultados similares. Para cada contaminante, las emisiones están vinculadas a una actividad que es la fuente de la contaminación, por ejemplo, la cantidad de disolvente consumido. Por ello, el MKM puede utilizarse para predecir emisiones sobre la base de la evolución de las actividades o del factor de emisión. También es posible comparar datos con los de otros modelos, por ejemplo, RAINS; y vincular el MKM con, por ejemplo, tablas input-output o modelos de equilibrios generales.

Además de los datos de emisión puede introducirse en la base de datos información para cada instalación (de referencia) sobre consumo de energía, horas de funcionamiento, capacidad, etc..

También pueden introducirse los siguientes datos para cada medida de reducción: costes de inversión, costes operativos, vida, capacidad, eficiencia de reducción.

**Beneficios ambientales obtenidos:** No hay datos disponibles.

**Efectos cruzados:** No hay datos disponibles.

**Información operativa:** No hay datos disponibles.

**Aplicabilidad:** El desarrollo del modelo se centra en un criterio: efectividad en costes. Sin embargo, hay otros criterios que pueden desempeñar un papel importante a la hora de determinar una política ambiental, como efectividad y viabilidad ambiental. Es importante mencionar que el modelo de costes ambientales (MKM) no es una herramienta que permita realizar un análisis de inversión para una empresa específica. El modelo es una herramienta que ayuda al gobierno flamenco en el cálculo de los costes de su política ambiental para diferentes

grupos objetivo. Dicha información puede emplearse, por ejemplo, para asignar los esfuerzos de reducción de emisiones entre diferentes grupos.

Las medidas discutidas en este documento que fueron analizadas con este modelo son, por ejemplo, para el sector de revestimientos:

- técnicas de pintura, es decir pintura convencional (véase el apartado 20.7.2.1), de alto contenido en sólidos (véase el apartado 20.7.2.2), de base acuosa (véase el apartado 20.7.2.3), revestimiento en polvo (véase el apartado 20.7.2.5) y pintura curada por UV (véase el apartado 20.7.2.4);
- técnicas de tratamiento de gases residuales, es decir, adsorción por carbón activo (véase el apartado 20.11.6), oxidación térmica (véase el apartado 20.11.4.2) y tratamiento biológico (biofiltros) (véase el apartado 20.12.5).

En este documento se describen más medidas para reducir las emisiones de COV, pero no todas pueden analizarse utilizando este modelo.

En la base de datos del MKM pueden consultarse las siguientes industrias: revestimiento, impresión, desengrasado, adhesivos y automóviles. La Tabla 24.2 y la Tabla 24.3 muestran un ejemplo de los resultados obtenidos para los sectores de revestimiento.

\*Nota: estos datos han sido suministrados por el MKM y deben observarse las notas al pie.

**Aspectos económicos:** No hay datos disponibles.

**Motivo principal para su aplicación:** No hay datos disponibles.

**Ejemplos de instalaciones:** No hay datos disponibles.

**Bibliografía de referencia:**

Página web del MKM: <http://www.emis.vito.be/index.cfm?PageID=371&T=0&S=0>

Informe de antecedentes: (Meynaerts E., Ochelen S., Vercaemst P., Milieukostenmodel voor Vlaanderen – Achtergronddocument, 2003).

[95, Vito, 2005] [128, TWG, 2005]

Técnica	Costes operativos de pintura en EUR por kg	Coste de energía en EUR por hora	Residuos en EUR/kg	Contenido de COV de la pintura (se supone que en porcentaje en peso)
Convencional	3,11	6,7	0,3	
De alto contenido en sólidos	3,5	6,4	0,3	< 30 %
De base acuosa	8,43	7,21	0,2	7,50 %
Revestimiento en polvo	15,39***	2,9	0	0 %
Pintura con curado por UV	3,78***	3,76	0	3,50 %
	<b>Coste de inversión en miles de EUR por 1000 m<sup>2</sup>/h</b>	<b>Carbón activo en EUR por kg</b>	<b>Coste operativo</b>	<b>Reducción de COV (%)</b>
Carbón activo*	5 – 10	1,2	EUR 0,5 – 2,30 por m <sup>3</sup> /h con conc. inicial de COV de 1 – 10 g/m <sup>3</sup>	85 %
Oxidación térmica**	5 – 40		EUR 0,45 – 4,50 por 1000 m <sup>3</sup> /h (energía extra)	95 – 99 %
				<b>Concentración de emisión de COV</b>
				5 – 100 mg TOC/m <sup>3</sup>
				< 20 – 50 mg TOC/m <sup>3</sup>

\*Opción de reducción cuando las emisiones de COV se encuentran entre 8 y 20 toneladas al año, reducción del 85 %

\*\*Opción de reducción cuando las emisiones de COV se encuentran por encima de 20 toneladas al año, reducción del 95 %

\*\*\*Los apartados 20.7.2.5 y 20.7.2.6 proporcionan costes de 30,01 EUR – 5,38/kg para pinturas con curado por radiación y revestimientos en polvo

**Tabla 24.2: Costes medios y potencial de reducción de COV para todas las medidas analizadas con el modelo [95, Vito, 2005]**

Industria	Número de empleados	Posibles medidas de proceso <sup>1</sup>			Posibles medidas de final de línea (end of pipe)	
		60 % alto contenido en sólidos	40 % de base acuosa	50 % en polvo		
Superficies metálicas	1 - 19	80 % alto contenido en sólidos	40 % de base acuosa	50 % en polvo		
	20 - 199	100 % alto contenido en sólidos	40 % de base acuosa	50 % en polvo	Incinerador	
	200 - 499	80 % alto contenido en sólidos		60 % en polvo	Incinerador*	
				50 % en polvo		
					Carbono activo*	
					Incinerador	
					Incinerador*	
		500 - 999	80 % alto contenido en sólidos		50 % en polvo	Carbono activo*
		1000 - 1000+	80 % alto contenido en sólidos			Incinerador
Envases metálicos - bidones		100 % alto contenido en sólidos	De base acuosa			
	20 - 99				Incinerador*	
	100 - 199				Incinerador*	
Muebles	500 - 999	Optimizar agentes de limpieza				
	10 - 499			80 % en polvo (para los que todavía utilizan revestimientos húmedos)		
Buques	5 - 199		60 % de base acuosa	40 % en polvo	Carbono activo*	
	10 - 499	60 % alto contenido en sólidos				
Trenes	10 - 1000+	70 % alto contenido en sólidos		30 % en polvo	Carbono activo*	
	1 - 49	60 % alto contenido en sólidos		30 % en polvo		
Otras	50 - 99		30 % de base acuosa	30 % en polvo		
	100 - 199	60 % alto contenido en sólidos		30 % en polvo		
	200 - 499	Sin medidas adicionales		30 % en polvo		
	500 - 999				Carbono activo	

Continúa en la página siguiente

Industria	Número de empleados	Posibles medidas de proceso		Posibles medidas de final de línea (end of pipe)
		30 % alto contenido en sólidos	30 % de base acuosa	
MADERA	1 - 9	30 % alto contenido en sólidos	30 % de base acuosa	
	10 - 19	30 % alto contenido en sólidos	30 % de base acuosa	
	20 - 49	30 % alto contenido en sólidos	30 % de base acuosa	Carbón activo* Biofiltro*
			De base acuosa	Pintura con curado por UV Pintura con curado por UV
	50 - 99	30 % alto contenido en sólidos	30 % de base acuosa	10 % UV Carbón activo* Biofiltro*
	100 - 199	30 % alto contenido en sólidos	30 % de base acuosa	10 % UV
	200 - 499	30 % alto contenido en sólidos	30 % de base acuosa	10 % UV Carbón activo* Incinerador*
	1 - 499	30 % alto contenido en sólidos	40 % de base acuosa	10 % UV Incinerador
	5 - 199	30 % alto contenido en sólidos	40 % de base acuosa	10 % UV
	1 - 4	50 % alto contenido en sólidos	30 % de base acuosa	
PLÁSTICOS	5 - 9	50 % alto contenido en sólidos		Incinerador*
	10 - 19	50 % alto contenido en sólidos		Incinerador*
	50 - 99	50 % alto contenido en sólidos	40 % de base acuosa	
	100 - 199		50 % de base acuosa	
	200 - 499	50 % alto contenido en sólidos	40 % de base acuosa	
	500 - 999	50 % alto contenido en sólidos		Pintura con curado por UV Incinerador

1 Los porcentajes de las posibles medidas se relacionan con la captación técnica máxima, no están basados en la relación coste-beneficio

\*No se recogieron datos suficientes en la encuesta para llegar a una conclusión. En estos casos se utilizó una regla general: los incineradores son aplicables técnicamente cuando las emisiones de COV son superiores a 20 t/a y la adsorción por carbón activo y los biofiltros son aplicables técnicamente cuando las emisiones de COV se encuentra entre 8 y 20 t/a. Sin embargo, el apartado 20.11 de este documento muestra que la elección está relacionada con el volumen y la concentración de aire, no con el consumo total.

Las medidas en cursiva se rechazaron y no fueron introducidas en el modelo puesto que tienen costes mayores y menores eficiencias en comparación con otras medidas.

Tabla 24.3: Posibles medidas efectivas en costes para la reducción de las emisiones de COV por industria [95, Vito, 2005]

## 24.2 Cálculo de emisiones de COV y unidades utilizadas

[182, ADEME, 2006] [110, CE, 1996, 123, CE, 1999] [148, TWG, 2006]

Todas las actividades dentro del ámbito de este documento están reguladas por la SED (Directiva del Consejo 1999/13/CE de 11 de marzo de 1999) y la IPPC se aplica a instalaciones más grandes dentro del control de la SED. El prefacio de este documento describe la relación entre las dos directivas. En interés de una mejor regulación y simplificación, este documento (BREF STS) utiliza la determinación de emisiones de COV y los valores utilizados para expresarlas descritos en la SED. Esto es especialmente importante en la expresión de los valores de emisión asociados a MTD, e implica que las instalaciones pueden utilizar el esquema de reducción de la SED cuando ésta no proporcione valores límite de emisión totales para dicha industria.

Existen varias excepciones en la industria para el uso de los valores de la SED que se explican en los diferentes apartados, como por ejemplo:

- impresión en offset por secado al calor, en la que los valores de emisión asociados a MTD se expresan en porcentaje en peso del consumo de tinta. Esto permite medir el efecto de la MTD, mientras que el porcentaje de aporte de disolventes (que utiliza la SED) no lo permite;
- revestimiento de trenes y fabricación de espejos, en los que la información proporcionada y de la que se obtienen las MTD se basan en  $\text{mg COV/m}^2$  pintado;
- revestimiento de bobinas y envases metálicos, en los que el  $\text{m}^2$  se identificó como la medida de producción adecuada;
- conservación de la madera, en la que la información proporcionada y de la que se obtienen las MTD se basó en la reducción porcentual de emisiones de COV sobre la base del aporte de disolventes.

### 24.2.1 Cumplimiento con la Directiva sobre emisiones de disolventes

La SED regula las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) debido al uso de disolventes orgánicos en diferentes tipos de actividades e instalaciones.

De acuerdo con el artículo 5 de la Directiva SED, se ofrecen dos opciones diferentes para demostrar el cumplimiento de los requisitos legales:

«Todas las instalaciones deben cumplir con:

(a) los valores límite de emisión en gases residuales y los valores de emisión fugitivas, o los valores límite de emisión totales y otros requisitos establecidos en el anexo IIA;

o

(d) los requisitos del esquema de reducción especificados en el anexo IIB.»

Para cada una de las opciones existen excepciones específicas en las que el titular debe demostrar que se están utilizando las MTD.

#### 24.2.1.1 Valores límite de emisión (ELV) y emisiones fugitivas (Anexo IIA de la SED)

Cada tipo de industria debe cumplir con los valores proporcionados en las tablas del anexo IIA. Los ELV se expresan en  $\text{mg C/m}^3$  en condiciones estándar, y las emisiones fugitivas en porcentaje de aporte de disolvente. Los valores totales de emisión (cuando se especifiquen) se



expresan en términos específicos de la industria como, por ejemplo, g COV/kg producto (para bobinas de alambre), g COV/m<sup>2</sup> superficie galvanizada para vehículos, etc.

#### 24.2.1.2 Esquema de reducción de emisiones (SED, anexo IIB)

El anexo IIB de la SED establece:

##### **«Principios**

*El objetivo del esquema de reducción es permitir al titular la posibilidad de alcanzar por otros medios reducciones de emisiones equivalentes a las conseguidas si se aplican los valores límite de emisión. Para dicho fin, el titular debe utilizar cualquier esquema de reducción diseñado especialmente para la instalación, siempre que, al final, se consiga una reducción de emisiones equivalente...»*

La implantación y validación de un esquema de reducción de emisiones garantiza, por tanto, que el flujo anual de emisiones de COV no será mayor que el flujo alcanzado cumpliendo los valores límite de emisión para todos los gases residuales y emisiones fugitivas. El interés que para los titulares de las instalaciones tiene un esquema de reducción de emisiones es que les permite pensar en los procesos de forma global y contar con mayor flexibilidad a la hora de hacer elecciones relacionadas con la reducción de emisiones. Se realizarán esfuerzos e inversiones adicionales cuando sean técnica y económicamente más eficaces. Este punto es coherente con el apartado 4 del artículo 9 de la Directiva IPPC:

*«...los valores límite de emisión y los parámetros y requisitos técnicos equivalentes a los que se refiere el párrafo 3 (condiciones de licencia) se basarán en las MTD, sin prescribir el uso de ninguna técnica ni tecnología específica, pero considerando las características técnicas de la instalación, su ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales...»*

El anexo IIB de la SED describe un esquema de reducción en el que puede asumirse un contenido de sólidos constante para revestimientos, barnices, adhesivos o tintas.

Se calcula una emisión objetivo sobre la base del contenido de sólidos y emisiones fugitivas anuales proporcionados en el anexo IIA, que se expresa como porcentaje de las emisiones no reducidas. En la SED, esta emisión no reducida se denomina «emisión de referencia». Cuando no ha tenido lugar ninguna sustitución, las emisiones no reducidas son iguales al aporte de disolvente. En caso de que se hayan aplicado sustituciones u otros controles de emisiones para las fuentes fugitivas, es necesario calcular las emisiones no reducidas. Normalmente, puede utilizarse con este fin el método del anexo IIB de la SED. La emisión de referencia anual se calcula de la siguiente forma (cita literal de la SED):

- a) *Se determina la masa total de sólidos en la cantidad de revestimiento o tinta, pintura o adhesivo consumida en un año. Los sólidos son todos los materiales de los revestimientos, tintas, pinturas o adhesivos que se convierten en sólidos una vez que se han evaporado el agua o los compuestos orgánicos volátiles.*
- b) *Las emisiones anuales de referencia se calculan multiplicando la masa determinada en (a) por el factor correspondiente de los que aparecen en la Tabla 24.4:*

<i>Actividad</i>	<i>Factor de multiplicación</i>
<i>Impresión de huecograbado; impresión flexográfica; laminado como parte de la actividad de impresión; pintura como parte de la actividad de impresión; revestimiento de madera; revestimiento de tejidos, película de tela o papel; revestimiento de adhesivo</i>	4
<i>Revestimiento de bobinas, aplicación de un nuevo acabado de vehículos</i>	3
<i>Revestimiento en contacto alimentario, revestimientos aeroespaciales</i>	2,33
<i>Otros revestimientos e impresión serigráfica rotativa</i>	1,5

**Tabla 24.4: Factores de la SED para determinar los valores anuales de emisión de referencia**

La emisión objetivo puede expresarse como porcentaje en peso (es decir, porcentaje de COV de los sólidos, más habitualmente como kg COV/kg sólidos, según la definición de la SED). Puesto que la SED permite utilizar cualquier esquema de reducción siempre que cumpla con los principios expuestos en el anexo IIB, las emisiones de COV objetivo pueden expresarse como t COV/a (para una instalación específica de producción conocida), kg COV/m<sup>2</sup> revestido, kg COV/elemento de producción producido.

Por ejemplo, en el caso del proceso de impresión flexográfica y de huecograbado de envases, el cálculo es el siguiente:

El contenido medio de disolvente de las tintas, pinturas y adhesivos listos para la prensa en flexografía y huecograbado de embalajes es aproximadamente del 80 %. La materia sólida de estos productos supone el 20 % del peso total y, por tanto,  $\frac{1}{4}$  del peso del disolvente. Las emisiones no reducidas («emisión de referencia») pueden calcularse multiplicando el peso de todos los sólidos, de productos tanto de base acuosa como disolvente, por cuatro.

### 24.2.2 Precisión

La Directiva sobre emisiones de disolventes describe un método, sencillo a primera vista, por el que pueden calcularse las emisiones fugitivas en plantas en las que se incineran los vapores de disolvente recogidos. El principio de este método es que la cantidad de disolvente enviada al incinerador se resta del aporte total de disolvente. La diferencia entre las dos cantidades debe desaparecer; la mayor parte de ella como emisiones fugitivas.

En la práctica, este método puede sufrir una cierta falta de precisión. Por ejemplo, cuando se utiliza el método proporcionado por la Directiva, las emisiones fugitivas, que en realidad suponen alrededor del 15 % del aporte, pueden cuantificarse como cualquier cifra entre 0 y más de 40 %.

Si la diferencia se calcula entre dos números casi iguales como «aporte» y «emisiones capturadas», el resultado, que representaría a las emisiones fugitivas, es relativamente un número pequeño. La inexactitud del pequeño número resultante, sin embargo, es igual a la suma de inexactitudes de los dos números originales más grandes. De esta forma, todas las inexactitudes de los dos números originales se incluyen en las emisiones fugitivas.

El principal problema es la dificultad de cuantificar las emisiones capturadas. Para ello es necesario multiplicar el caudal de aire, la concentración de disolvente y el tiempo. El caudal de aire y la concentración cambian con el tiempo y no pueden medirse de forma precisa. El error en el resultado supera al 20 %.

Algunas opciones para resolver el problema de las inexactitudes son la determinación directa de las emisiones fugitivas (véase el anexo 24.3) o la obtención de las emisiones no reducidas a partir del aporte real de disolvente (véase el anexo 24.4).

El siguiente ejemplo muestra cómo un rango típico de concentración y caudal puede mostrar un rango muy amplio, en el que el máximo es cuatro veces el mínimo, de cantidad de COV emitidos.

Donde O1 es la emisión en gases residuales.

$$O1 = \frac{(\text{concentración } c \text{ en mg C/Nm}^3) \times (\text{volumen } v \text{ m}^3/\text{hr}) \times (\text{horas de funcionamiento en un período de tiempo})}{\text{período de tiempo}}$$

Para una instalación teórica que trabaja 5760 horas por año (24 horas al día, 5 días a la semana, 48 semanas al año), con caudales de gases residuales  $v = 100\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  y en la que la supervisión periódica proporciona valores entre 5 y 20 mg C/Nm<sup>3</sup>, la emisión anual calculada para cada extremo del rango:

$$\text{donde } c = 5 \text{ mg C/Nm}^3, O1 = 2880 \text{ kg (2,88 toneladas)}$$

$$\text{donde } c = 20 \text{ mg C/Nm}^3, O1 = 11\,500 \text{ kg (11,5 toneladas)}$$

Dependiendo del tipo de actividad y de la instalación, la variación entre el determinando más bajo y el más alto puede ser considerable (véase el REF sobre control).

### 24.2.3 Eficiencia de aplicación del revestimiento

Cuando se calculan las emisiones de COV según el esquema de reducción descrito en el anexo IIB de la SED no se consideran las mejoras en la eficiencia de aplicación debido a que el cálculo se basa en la proporción de COV y sólidos: aunque la cantidad de sólidos disminuya, la proporción kg COV:kg sólidos sigue siendo la misma. Este punto debería considerarse al establecer objetivos de emisión y ELV. Otra opción es establecer una emisión total por año o por unidad de producción.

Por ejemplo, en una instalación con un consumo de pintura de 2000 toneladas al año, el consumo de disolvente correspondiente es de 1500 toneladas (75 % de consumo de disolvente, es decir, una proporción de 3 kg COV/kg sólidos). Las pistolas de pulverización tienen una eficiencia de aplicación del 20 %. Según la SED:

$$\text{la emisión de referencia objetivo} = 500 \text{ toneladas} \times 4 = 2000$$

$$\text{las emisiones objetivo} = 0,25 \times \text{emisiones de referencia} = 0,25 \times 2000 = 500 \text{ toneladas de COV.}$$

Pueden conseguirse reducciones en las emisiones mediante una o más de las siguientes técnicas:

- instalar una técnica de final de línea (end of pipe) para reducir las emisiones de COV a 375 toneladas (donde la proporción sigue siendo 3 kg COV:kg sólidos)
- utilizar pinturas de base acuosa (por ejemplo, el uso de 2000 toneladas de pinturas de base acuosa con un consumo de disolventes del 18,75 % resulta en emisiones de COV de 375 toneladas: la proporción es 0,75 kg COV:kg materia seca)
- aplicar pinturas de base disolvente (con una proporción de 3 kg COV:kg materia seca) con una eficiencia mucho mayor aplicar las mismas pinturas de base disolvente con una eficiencia de aplicación del 80 % tiene como resultado un consumo de pinturas de 500 toneladas (en lugar de 2000 toneladas) y, por tanto, emisiones de COV de 375 toneladas.

### 24.3 Medición de emisiones fugitivas, método directo

[51, Aminimal, et al., 2002] [76, TWG, 2004] [148, TWG, 2006]

#### **Etapas 1: Identificar todas las fuentes de emisiones fugitivas de la planta**

Todos los vapores de disolventes que no se dirigen al incinerador escapan a la atmósfera y contribuyen a las emisiones fugitivas. La mayoría de las industrias consideradas en este documento tienen muchas fuentes de emisiones fugitivas. A continuación se presenta un estudio de caso de diez plantas de envases flexibles de Flandes, Bélgica, y los Países Bajos. Sin embargo, los principios descritos en las etapas expuestas a continuación pueden transferirse fácilmente a otras industrias. La mayoría de las plantas tendrán varias fuentes y la mayoría de ellas sólo ocasionarán emisiones pequeñas o extremadamente pequeñas. En la mayor parte de los casos, sólo hay entre una y tres fuentes en una planta que supongan una importante contribución a las emisiones fugitivas. Quizá sea necesario determinar más de un factor de emisión para una fuente con el fin de mejorar la precisión o porque así convenga.

Una planta de envases flexibles tiene muchas fuentes de emisiones fugitivas. La lista que aparece a continuación presenta las fuentes que han sido identificadas hasta ahora, pero la mayoría de las plantas sólo cuentan con algunas de ellas. En algunos casos puede haber más fuentes y quizá sea más adecuada otra clasificación.

Las fuentes de emisiones fugitivas para el embalaje flexible son:

- ventilación de la sala de prensas durante la impresión;
- ventilación de la secadora durante la puesta a punto;
- ventilación de la secadora mientras está en espera;
- salidas de gases locales entre las unidades de prensa;
- departamento de limpieza;
- departamento de mezcla de tintas;
- contenido de disolventes de las tintas, pinturas y adhesivos de base acuosa;
- disolventes utilizados en las máquinas de producción que no están conectadas al incinerador;
- disolventes residuales en productos;
- disolventes vertidos al agua;
- emisiones de disolventes procedentes de las plantas depuradoras;
- pérdidas de vapor de los tanques, etc.

Debe evitarse la duplicación del recuento. Por ejemplo, si la tinta se mezcla junto a la prensa, el disolvente evaporado será eliminado por las salidas de gases locales entre las prensas y la ventilación de la sala y, por tanto, no deben contarse de forma separada.

#### **Etapas 2: Estudiar el sistema de ventilación y garantizar que funciona tal y como se espera**

En las áreas de producción en particular, el diseño del sistema de ventilación determina qué fuentes de emisiones fugitivas están presentes y cómo pueden calcularse o medirse las cantidades emitidas. Los sistemas de ventilación normalmente no funcionan como se supone que deberían hacerlo, bien porque el sistema se construyó de forma diferente a lo que se recuerda o está registrado o porque las configuraciones de control del sistema se han modificado por completo a lo largo del tiempo. Es muy raro encontrar un sistema de ventilación que realmente funciona como se supone que debe hacerlo.

Algunos ejemplos reales que se encontraron en la práctica son:

- el sistema real de conductos era diferente del sistema diseñado. Se han instalado ventiladores y conductos y las modificaciones no han sido documentadas de forma conveniente;

- los controles de presión positiva y negativa no funcionan del modo en que fueron diseñados. Las plantas de impresión que debían trabajar por encima de la presión atmosférica trabajaban realmente a presión subatmosférica, y a la inversa;
- algunos componentes del sistema de ventilación tenían más funciones de las esperadas. También se descubrió que un ventilador para pinturas al agua en una de las unidades de impresión estaba conectada a las salidas de gases locales entre las unidades de prensa;
- existían caudales de aire importantes entre las diferentes partes del edificio.

Mientras el sistema de ventilación no funcione a la perfección, no hay razón para medir o calcular las emisiones fugitivas que tengan alguna influencia en él. Si las configuraciones del sistema de ventilación necesitan un ajuste, el cálculo y las mediciones no resultarán útiles. Por tanto, lo primero es garantizar que existe un conocimiento completo del sistema de ventilación en las zonas de producción. Los conductos y los ventiladores deben compararse con los diseños y debería verificarse el estado de mantenimiento. Un mal mantenimiento y una pobre limpieza pueden reducir el flujo de aire en un 50 %. Constituye una buena práctica corregir cualquier mantenimiento que se encuentre por debajo de los estándares antes de realizar cualquier medición.

Al comparar el diseño con el sistema actual, deben realizarse preguntas como las siguientes:

- ¿han sido reemplazados los filtros y las correas de transmisión de acuerdo con los programas de mantenimiento del proveedor?
- ¿están limpios los intercambiadores de calor y las palas de los ventiladores?
- ¿dónde se encuentran las salidas de gases?
- ¿dónde se encuentran las entradas de aire fresco?
- ¿qué salidas de gases están conectadas al mismo conducto?
- ¿qué ventilador da servicio a cada parte del sistema?
- ¿cuándo se abren o cierran automáticamente las compuertas y las válvulas?
- ¿qué controles automáticos están incorporados?
- ¿qué mediciones se estipulan para ellos?
- ¿cuáles son los caudales teóricos de los ventiladores?
- ¿cómo se supone que funcionan los sistemas de control?
- ¿cuál es la diferencia entre los modos de control de verano e invierno?

En la mayoría de los casos, existe una clara diferencia entre teoría y práctica. Por tanto, debe decidirse qué se necesita realmente y cuáles son las configuraciones de ventilación que deben ajustarse. A continuación debe verificarse si el sistema de ventilación produce realmente los resultados necesarios en las diferentes etapas del proceso de producción (p. ej. puesta a punto, impresión, limpieza, etc.). En la práctica, esto debe ser relativamente fácil. Por ejemplo, la dirección del caudal de aire a través de puertas, ventanas y otras aperturas puede establecerse fácilmente utilizando una tira estrecha y fina de película plástica. Las emisiones fugitivas sólo pueden determinarse una vez que el sistema de ventilación se ha ajustado tal y como exige la dirección de la planta. Obviamente, la dirección también tendrá que garantizar que se mantienen estas mejoras.

### **Etapas 3: Hacer un cálculo verificado para cada fuente en forma de un factor de emisión multiplicado por un parámetro de producción**

Deben calcularse las emisiones de todas las fuentes con emisiones que no sean despreciables. A continuación, debe establecerse el orden de magnitud. Después habrá que decidir si las emisiones son lo suficientemente altas para justificar mediciones adicionales. Obviamente, los cálculos deberían tener una base segura, pero en esta etapa las mediciones deben reducirse al mínimo. El objetivo es utilizar únicamente datos ya disponibles en la planta y datos que puedan medirse con facilidad. A continuación, se presentan ejemplos de información útil que ya está disponible en la planta o que puede medirse con facilidad:

- capacidades del ventilador, según las especificaciones del fabricante;
- información sobre exposición de los trabajadores a los disolventes;
- mediciones de los disolventes residuales en los productos realizadas por los clientes;
- cantidad de disolventes, tintas, pinturas y adhesivos a granel recibidos;
- experimentos sencillos en el departamento de mezcla de tintas;
- sencillas composiciones equilibradas de disolventes para el departamento de limpieza, etc.;
- mediciones de concentración con un PID en las salidas de gases locales;
- verificación de la dirección del caudal de ventilación de la sala de prensas.

El ejemplo de la Tabla 24.5 se refiere a una planta con un aporte anual de 1000 toneladas de disolvente, y muestra con claridad cómo sólo dos de las once fuentes suponen más del 70 % de las emisiones fugitivas.

Fuente	Emisiones en kg	% de aporte	% de emisiones fugitivas
Ventilación de la sala de prensas durante la impresión	9000	0,90	8,0
Ventilación de la secadora durante la puesta a punto	5400	0,54	4,8
Ventilación de la secadora mientras está en espera	22 500	2,25	20,0
Salidas de gases locales entre las unidades de prensa	56 550	5,66	50,3
Departamento de limpieza	8750	0,88	7,8
Departamento de mezcla de tintas	7500	0,75	6,7
Contenido de disolventes de las tintas, etc. de base acuosa	2500	0,25	2,2
Disolventes residuales en productos	200	0,02	0,2
Disolventes vertidos al agua	-	-	-
Emisiones de disolventes procedentes de las plantas depuradoras	-	-	-
Pérdidas de vapor de los tanques, etc.	67	0,01	0,1
<b>Total</b>	<b>112 467</b>	<b>11,26</b>	<b>100,1</b>

**Tabla 24.5: Emisiones relacionadas con fuentes procedentes de una planta que procesa 1000 toneladas de disolventes**

En esta etapa, otra opción sería reducir las emisiones procedentes de las fuentes principales o eliminarlas por completo antes de realizar mediciones adicionales. Por ejemplo, si el incinerador tiene capacidad suficiente, la salida de gases local entre las unidades de prensa o la salida de gases del departamento de limpieza podrían conectarse al incinerador. De esta forma se eliminarían por completo estas fuentes de emisiones fugitivas.

#### **Etapa 4: Determinar qué fuentes necesitan mayor precisión**

Los cálculos realizados en la etapa 3 no son demasiado precisos. Sin embargo, indican con claridad que la magnitud de las emisiones fugitivas es muy diferente entre las fuentes. Las pérdidas de vapor de los tanques son muy pequeñas, mientras que las salidas de gases locales entre las unidades de prensa son especialmente importantes.

Ahora debe determinarse la exactitud de las emisiones fugitivas totales calculadas, y deben seleccionarse los parámetros de emisión que necesitan una mayor precisión. Esto se realiza mediante el método del peor de los casos: se calcula el error máximo posible para cada fuente, y se calcula la potencial emisión fugitiva máxima resultante de la fuente en cuestión. El total de todas estas emisiones potenciales máximas es el «peor de los casos».



La mayor parte de los cálculos de emisiones realizados en la etapa 3 se realizaron multiplicando dos o más cifras imprecisas. Por ejemplo, un caudal de aire teórico puede haberse multiplicado por una medición de concentración indicativa y un número estimado de horas de funcionamiento. En ese caso, la inexactitud de cada uno de los parámetros debe estimarse de forma separada, y esta información se utiliza para calcular las emisiones potenciales máximas de cada fuente, como si el error potencial más grande posible realmente se produjera. El resultado es la máxima emisión posible de la fuente en cuestión.

Las emisiones máximas posibles de todas las fuentes se añaden para calcular las emisiones fugitivas totales máximas, como si los cálculos iniciales de emisiones para cada una de las fuentes hubieran sido demasiado bajos. Este es un acercamiento muy conservador. Es igualmente posible que los cálculos de emisión no fueran demasiado bajos, sino demasiado altos. En ese caso, las emisiones fugitivas reales serían más bajas que las estimaciones. En realidad, se producirán errores en ambos casos y las emisiones reales estarán más cerca de la estimación inicial que lo que se habría supuesto sobre la base del cálculo de las emisiones potenciales máximas.

El ejemplo de la Tabla 24.6 muestra la estimación del error máximo para cada fuente. Adviértase, sin embargo, que una gran parte de la inexactitud se debe a la cantidad de información limitada sobre caudales de ventilación y concentraciones de disolventes.

Fuente	Emisiones fugitivas como % del aporte	Factor de error máx.	% de aporte máx.
Ventilación de la sala de prensas durante la impresión	0,90	2,25	2,03
Ventilación de la secadora durante la puesta a punto	0,54	1,50	0,81
Ventilación de la secadora mientras está en espera	2,25	2,00	4,50
Salidas de gases locales entre las unidades de prensa	5,66	2,25	12,72
Departamento de limpieza	0,88	2,00	1,75
Departamento de mezcla de tintas	0,75	1,50	1,13
Contenido de disolventes de las tintas, etc. de base acuosa	0,25	1,25	0,31
Disolventes residuales en productos	0,02	1,25	0,03
Pérdidas de vapor de los tanques, etc.	0,01	1,00	0,01
<b>Total</b>	<b>11,26</b>		<b>23,29</b>

**Tabla 24.6: Ejemplo de un posible resultado del cálculo de inexactitudes**

Las cifras del peor de los casos obtenidas de esta forma pueden todavía ascender al doble de la estimación original. Algunas fuentes serán tan pequeñas que no afectarán al resultado, independientemente de la precisión con la que hayan sido medidas. En este ejemplo, estas fuentes son:

- contenido de disolventes de las tintas, pinturas y adhesivos de base acuosa;
- disolventes residuales en productos;
- pérdidas de vapor de los tanques.

No tiene sentido investigar estas fuentes con mayor profundidad. Dos de las fuentes de la lista son claramente mucho más importantes que las demás:

- salidas de gases locales entre las unidades de prensa;
- ventilación de la secadora mientras está en espera.



Estas fuentes necesitan más investigación pues juntas suponen más del 70 % de las emisiones fugitivas.

Nota: esto es sólo un ejemplo. En la práctica, otra fuentes pueden ser las que presenten emisiones altas o bajas.

### Etapa 5: Mejorar los cálculos inexactos para grandes fuentes

El alcance, profundidad y detalle de posteriores investigaciones dependerá de los objetivos. En la mayoría de los casos, tendrá que reducirse la inexactitud de sólo dos o tres fuentes para obtener una importante mejora de los resultados del método del peor de los casos.

La investigación posterior debe ajustarse a las especificaciones de la planta bajo estudio. Como se ha mencionado anteriormente: una posterior investigación sólo es necesaria para fuentes de emisiones fugitivas que sean relativamente grandes e imprecisas.

Esta etapa (etapa 5) describe cómo puede reducirse la imprecisión de la mayoría de los cálculos iniciales. En los casos en los que se multiplican el caudal de aire y la concentración de disolventes, una opción clara de mejora de los cálculos es medir realmente la concentración, algo que puede hacerse fácilmente utilizando muestreadores pasivos. Cuando las pérdidas de disolventes de una fuente puedan determinarse con escalas, podría aumentarse el número de ponderaciones para mejorar la precisión. Como ejemplo, la Tabla 24.7 presenta los resultados de la mejora de precisión.

Fuente	Emisiones en kg	% de aporte	% de emisiones fugitivas
Ventilación de la sala de prensas durante la impresión	9000	0,90	8,0
Departamento de limpieza	8750	0,88	7,8
Departamento de mezcla de tintas	7500	0,75	6,7
Contenido de disolventes de las tintas, etc. de base acuosa	2500	0,25	2,2
Disolventes residuales en productos	200	0,02	0,2
Disolventes vertidos al agua	-	-	-
Emisiones de disolventes procedentes de las plantas depuradoras	-	-	-
Pérdidas de vapor de los tanques, etc.	67	0,01	0,1
<b>Subtotal no investigado posteriormente</b>	<b>28 017</b>	<b>2,81</b>	<b>21,1</b>
Ventilación de la secadora durante la puesta a punto	8000	0,80	6,0
Ventilación de la secadora mientras está en espera	24 750	2,48	18,6
Salidas de gases locales entre las unidades de prensa	72 200	7,22	54,3
<b>Subtotal de fuentes investigadas en profundidad</b>	<b>104 950</b>	<b>10,50</b>	<b>78,9</b>
<b>Emisiones fugitivas totales</b>	<b>132 967</b>	<b>13,31</b>	<b>100</b>
<b>Resultado anterior (antes de la investigación adicional)</b>	<b>112 467</b>	<b>11,25</b>	
*Nota: El subtotal no investigado posteriormente expresado en porcentaje de emisiones fugitivas debería ser el 25 %.			

Tabla 24.7: Ejemplo que muestra los resultados de la mejora de precisión

En este ejemplo, la investigación adicional ha aumentado en gran medida la precisión de tres de las once fuentes. El peor de los casos sólo difiere ahora en un pequeño porcentaje del cálculo real. Como ejemplo, a continuación se presentan los resultados de los nuevos cálculos de precisión.

Ejemplo: Precisión mejorada, mostrada en la Tabla 24.8 que aparece a continuación.

Fuente y notas	% de aporte estimado	Factor de error residual máx.	% máx de cálculo mejorado de aporte
Ventilación de la secadora durante la puesta a punto	0,80	1,20	0,96
Ventilación de la secadora mientras está en espera	2,48	1,20	2,97
Salidas de gases locales entre las unidades de prensa	7,22	1,20	8,66
Otras fuentes (no modificado)	2,80		5,24
<b>Total</b>	<b>13,30</b>		<b>17,83</b>
<b>Resultado anterior</b>	<b>11,25</b>		<b>23,28</b>

**Tabla 24.8: Ejemplo que muestra los resultados de la mejora de precisión**

Adviértase que aquí sólo se calculan los errores potenciales de las emisiones aumentadas. Sin embargo, también son probables los errores que resultan de las emisiones reducidas.

Si las emisiones fugitivas deben determinarse aún con mayor precisión, podría considerarse una posterior investigación de otras fuentes. En este ejemplo, el departamento de limpieza y ventilación de la sala de prensas son candidatos potenciales. Un tercio de la diferencia que aún queda entre el cálculo real y el peor de los casos (4,5 %) en este ejemplo está asociado al departamento de limpieza y un quinto a la ventilación de la sala.

#### **Etapas 6: Establecer un sistema de registros del que puedan obtenerse fácilmente los parámetros de producción anuales**

La simplicidad empieza con la elección de los parámetros adecuados. Siempre que sea posible, deberían basarse en información que ya ha sido recogida. Sin embargo, debería determinarse si las cifras obtenidas de los registros reflejan exactamente el parámetro con el que está relacionado el factor de emisión, por lo que es preciso actuar con cautela. Ejemplos de discrepancias potenciales entre los registros existentes y los parámetros necesarios:

- puede haber horas de espera y otras paradas registradas en el departamento de producción durante la puesta a punto o durante la impresión. Para calcular las emisiones fugitivas sólo importan los períodos en los que las unidades de impresión contienen tinta pero no están produciendo realmente;
- puede que las horas de producción (necesarias para calcular las emisiones de las salidas de gases entre las unidades de prensa) no incluyan, según los registros de producción, las horas de espera y otras paradas durante la impresión. Sin embargo, para realizar los cálculos, debe establecerse el período completo durante el que la unidad contiene tinta;
- si parte de la tinta no se mezcla en el departamento de mezcla de tintas, sino que se mezcla en la prensa, las pérdidas de disolvente resultantes irán a la ventilación de la sala de prensas y las salidas de gases locales. Esto puede llevar a una duplicación del recuento.

#### **Etapas 7: Calcular las emisiones anuales de cada fuente multiplicando los parámetros de producción y los factores de emisión relacionados**

Esta etapa no necesita más explicaciones.

#### **Etapas 8: Incluir los resultados en el plan anual de gestión de disolventes y comparar las emisiones fugitivas con el valor límite**

Esta etapa no necesita más explicaciones.

## **Etapa 9: Determinar nuevos factores de emisión si se produce un cambio importante en el equipo, las operaciones o la ventilación**

Si se producen cambios significativos en la planta, deben determinarse nuevos factores de emisión. Un cambio importante puede ser una modificación del sistema de ventilación en las zonas de producción, la compra de máquinas nuevas, la venta de máquinas viejas, una modificación significativa en la gama de productos o cambios en los métodos operativos.

Determinar los factores de emisión no es, en la práctica, una actividad excepcional. Una vez que la planta se acostumbre a tratar las emisiones fugitivas, aumentará también la concienciación sobre estas emisiones. A su vez, esto implicará mejoras en los registros, la repetición y revisión de las mediciones y un deseo de mejorar la precisión de los factores de emisión menos importantes. Además, se identificarán otras opciones para reducir las emisiones fugitivas, lo que también resultará en nuevos factores de emisión.

### **24.3.1 Aplicaciones al sector de estampado**

**Descripción:** Este método, que está basado en medidas directas de emisiones fugitivas, ha sido probado en dos plantas de envases flexibles, una gran planta de huecograbado y una planta flexográfica de mediano tamaño, todas de la región de Flandes. La eficacia de captura es el porcentaje de los disolventes que se evaporan junto con los gases residuales, mientras que el remanente se desprende como emisiones fugitivas.

#### **Introducción y terminología del método alternativo (directo)**

Fuentes de emisiones fugitivas: Las emisiones fugitivas en una planta de estampado tienen muy diversas causas, y surgen durante el estampado, la limpieza, el mezclado de tintas, la transferencia de disolventes, etc. Cada una de estas actividades es una «fuente» de emisiones fugitivas, siendo posible atribuir las emisiones fugitivas de una planta a unas 10 o 20 «fuentes» diferentes.

Factor de emisión: Mientras mayor sea la frecuencia con que se realice una actividad o el tiempo que ésta dure, mayores serán las emisiones fugitivas que genere. Así, el mezclado de 20 tambores de tinta producirá el doble de emisiones fugitivas que el mezclar 10 tambores; y un estampado que dure cuatro horas, más emisiones fugitivas que otro que dure dos horas.

Es posible establecer un factor de emisión para cada fuente; dicho factor indicará la cantidad de emisiones fugitivas correspondientes a cada vez o cada hora durante la cual se realiza dicha actividad.

Los factores de emisión sólo tienen que determinarse una vez en cada caso, y son específicos para cada maquinaria y cada método de trabajo. Si la máquina y el método de trabajo no cambian, los factores de emisión se mantienen idénticos.

Parámetro de producción: Para calcular la emisión, hay que multiplicar el factor de emisión por un parámetro de producción, el cual es una medida de la actividad de la fuente específica de emisiones fugitivas. Mientras mayor sea este parámetro de producción, mayores serán las emisiones fugitivas.

Ejemplos: Para operaciones de limpieza, puede usarse como parámetro el número de veces que se utiliza la unidad de limpieza, y para el mezclado de tintas, el volumen de tinta que se destina a la mezcla.

Es importante llevar un registro eficiente para poder calcular los parámetros de producción.

Brevemente expresado, el método consiste en lo siguiente:

- estimar o medir los factores de emisión relevantes y establecer un sistema de registro para los parámetros de producción anuales. Esto sólo es necesario hacerlo una vez.
- el cálculo de las emisiones fugitivas tiene que efectuarse cada año. Para ello, se multiplican los parámetros de producción correspondientes al año en cuestión por los factores de emisión.

Obviamente, la parte más difícil es determinar los factores de emisión; esto se hace en dos o más pasos. El primer paso es efectuar una estimación bien fundamentada, que debe hacerse con cada fuente distinta de emisiones fugitivas. Con la mayoría de ellas, que muestran niveles de emisión muy bajos, no hará falta nada más. El segundo paso sólo hay que efectuarlo con un pequeño número de las fuentes de emisión, las que presentan las mayores emisiones, en las que se tomarán medidas de más precisión.

### **Precisión**

Los parámetros de producción pueden determinarse con precisión. Preferiblemente, estos parámetros son cifras que ya forman parte de los registros de producción, o que de todos modos tienen que recogerse para otros aspectos del plan de gestión del disolvente.

Ejemplos de tales parámetros son el número de horas de operación del equipo de producción, el número de órdenes procesadas en cada máquina, el volumen de la tinta comprada, y el número de toneladas de tinta mezclada. Los parámetros son siempre medidas de actividad: mientras más alto el parámetro, mayores deben ser las emisiones fugitivas correspondientes.

Los factores de emisión dan la medida de las emisiones por unidad de actividad. Por ejemplo, la pérdida de disolvente por kilo de tinta mezclada, o la pérdida de disolvente a través del tubo de escape local entre las unidades de prensa por cada hora de operación.

El nivel de precisión de los factores de emisión es variable, siendo más preciso mientras más cuidadosas sean las mediciones y más detallada la investigación realizada; pero no es necesario que todas las fuentes de emisiones fugitivas tengan el mismo nivel de precisión.

Por otra parte, es posible aumentar la precisión si se emplea más de un factor de emisión para una actividad dada. Así, en vez de usar un factor de emisión para todas las operaciones de mezclado de tinta, podría distinguirse entre el mezclado de cargas de tinta grandes y pequeñas, o entre días calurosos y fríos, o entre el mezclado a mano y a máquina. En otras palabras, podrían determinarse desde uno hasta cinco factores diferentes, siendo mayor la precisión en este último caso.

Hay que tener en cuenta, no obstante, que determinar más de un factor de emisión por actividad o aumentar su precisión conllevan un aumento de la cantidad de trabajo. No resulta productivo dedicar demasiado tiempo a una fuente de emisión menor, que contribuye escasamente a las emisiones fugitivas. Por lo tanto, lo recomendable es empezar estimando el orden de magnitud de las emisiones de cada fuente, para luego establecer cuáles de ellas requieren mayor precisión en la determinación de los factores de emisión.

La precisión requerida para cada fuente dependerá de dos consideraciones distintas:

1. la magnitud del total de las emisiones fugitivas: si el total de las emisiones fugitivas es considerablemente inferior al valor límite, puede permitirse un mayor error potencial.

**Ejemplo:** Para un valor límite del 20 % (de la Directiva sobre Emisiones de Disolventes, SED), una emisión comprendida entre «5 y 10 %» sería aceptable, mientras que una emisión entre «15 y 30 %» no lo sería. En este último caso, es necesario aumentar la precisión.

1. la contribución de la fuente al total de las emisiones: si hay que mejorar la precisión de la cifra total, hay que dirigirse a las fuentes de emisión relativamente grandes y de baja precisión.

**Ejemplo:** Dado un valor límite de 20 % y una emisión real entre un 15 y un 30 %, con una contribución de la sección de mezclado de tinta entre 1 y 2 %, y una contribución del tubo de escape local entre las unidades de prensa entre 10 y 20 %, es obvio que sería conveniente mejorar la precisión de la segunda fuente.

**Beneficios ambientales obtenidos:** Se mejora considerablemente la precisión en el control de las emisiones fugitivas. Los conocimientos adquiridos respecto al origen y la causa de las emisiones fugitivas contribuyen a la reducción de estas emisiones.

**Efectos interrelacionados:** No se han aportado datos.

**Información operativa:** El método ha sido probado en plantas de estampado de envases flexibles.

**Aplicabilidad:** En plantas de envases flexibles, con aplicación de técnica de disminución destructiva.

**Aspectos económicos:** No se han aportado datos.

**Motivo principal para su aplicación:** No se han aportado datos.

**Ejemplos de instalaciones:** No se han aportado datos.

**Bibliografía de referencia:** [76, TWG, 2004]

## 24.4 Casos comunes de balance de masa

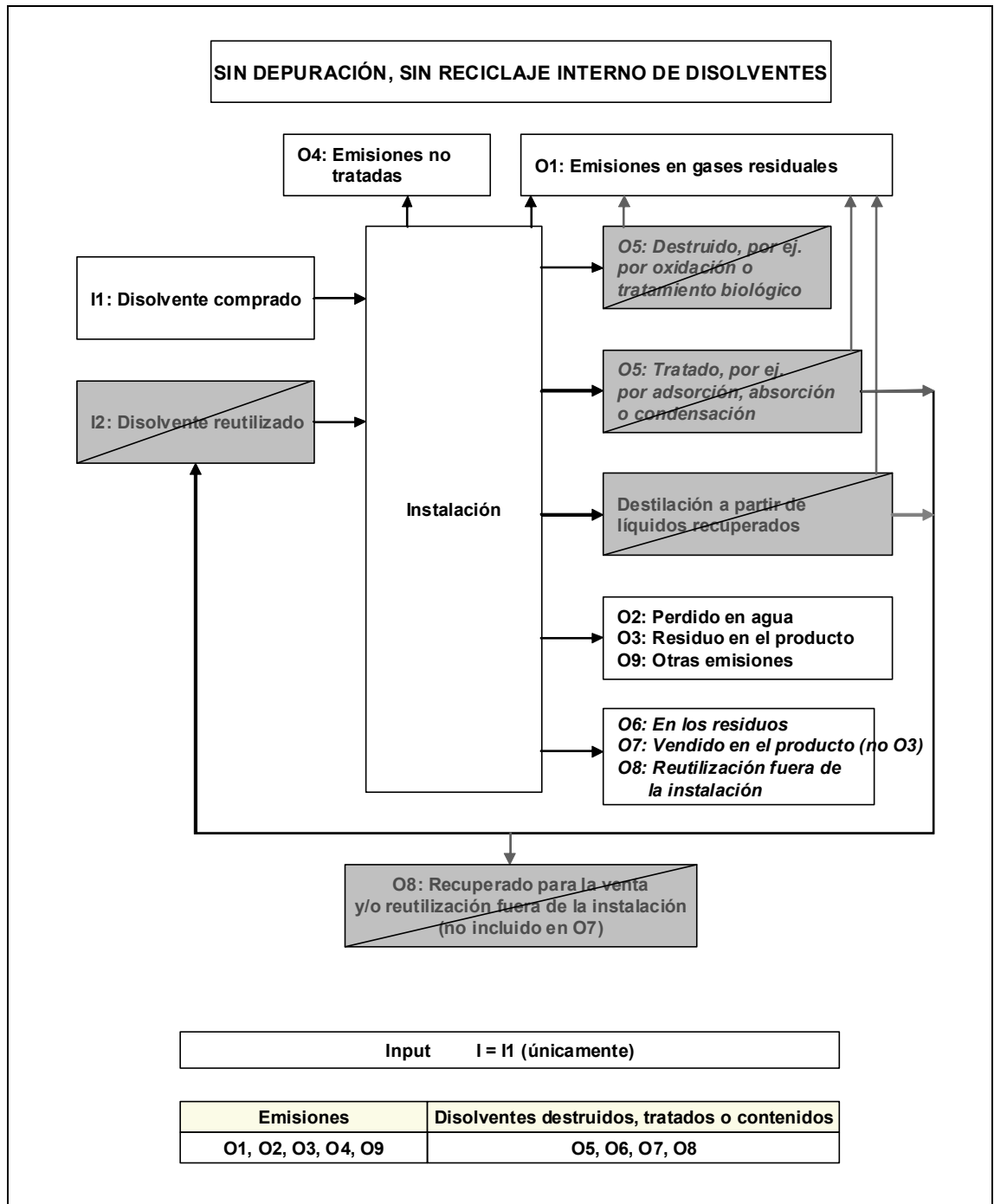


Figura 24.1: Sin depuración a final de línea (end of pipe), y sin reciclaje interno

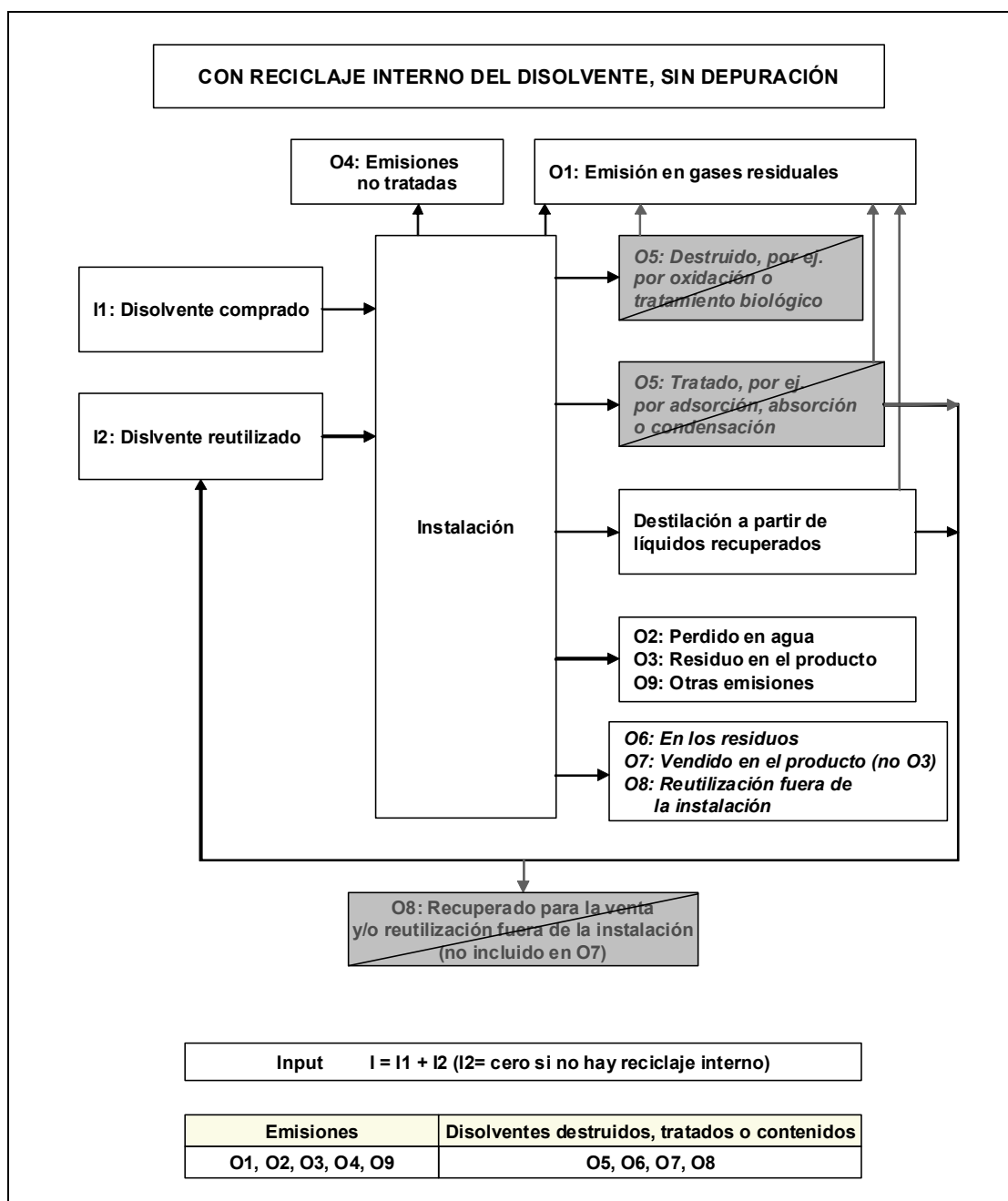


Figura 24.2: Sin depuración a final de línea (end of pipe), pero con recuperación interna del disolvente y reutilización



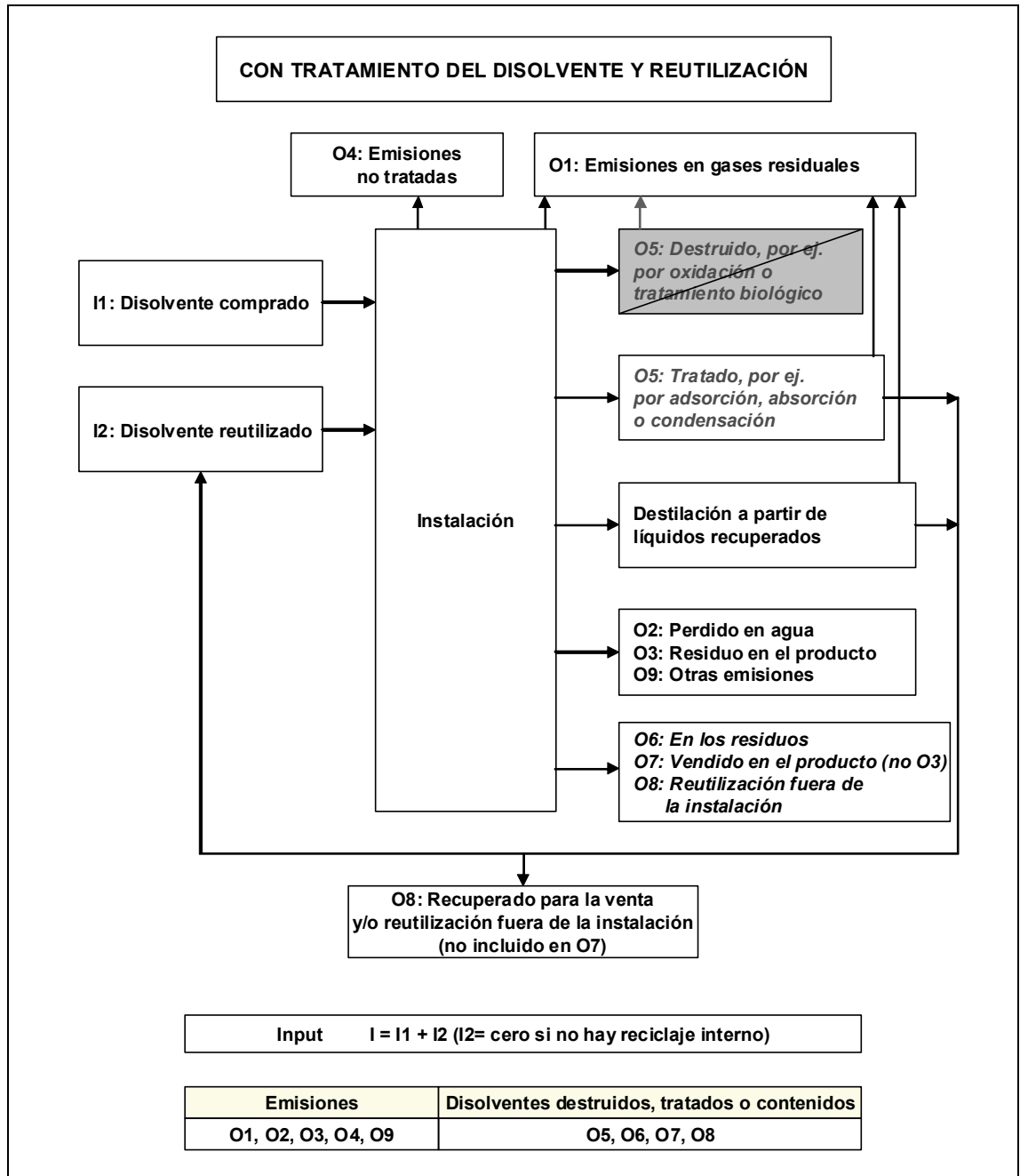


Figura 24.3: Con recuperación del disolvente y reutilización (interna y externa)

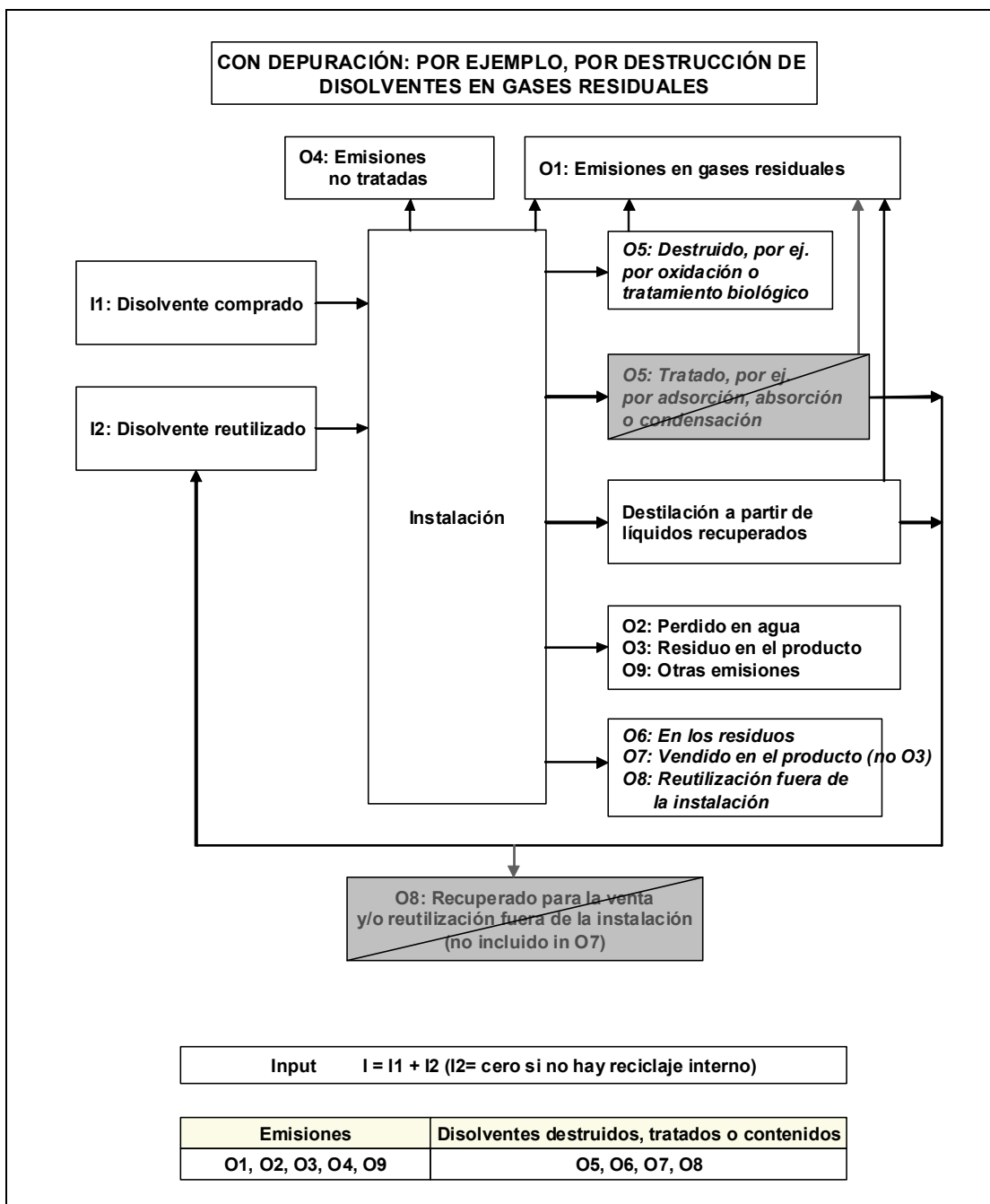


Figura 24.4: Depuración destructiva a final de línea (end of pipe)

## 24.5 Determinación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en talleres de pintura de vehículos

[159, ACEA, 2006]

### 24.5.1 Principios básicos/generales

1. Los valores límite de las sustancias orgánicas ( $LV_{VOC}$ ) emitidas en los talleres de pintura de vehículos se definen como el total de las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles ( $M_{VOC}$ ) producidas por la instalación en relación a la superficie de los vehículos pintados ( $A_{veh}$ ):

$$LV_{VOC} = \frac{m_{VOC}}{A_{veh}} \quad \left[ \frac{\text{g VOC}}{\text{m}^2} \right]$$

La determinación de estos valores involucra la determinación simultánea del flujo de masa generado por el taller y el área de superficie de los vehículos a pintar (ver apartado 2.2).

2. La determinación de las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles o COV (VOC, en la fórmula) generadas por el taller, efectuada mediante mediciones continuas a final de línea (end of pipe) no es lo bastante precisa, confiable o sólida para un control regular, ya que no logra dar cuenta de emisiones fugitivas que pueden ser potencialmente significativas, y proporciona una pobre relación coste-beneficio en consideración a los elevados costes operativos y de capital (ver apartado 24.5.2.1 y 24.5.2.2). Esta técnica no se considera una buena práctica.
3. Para un control regular de las emisiones de COV, debe emplearse un método de balance de masa basado en el plan de la Directiva sobre Emisiones de Disolventes (SED) 1999/13/EC. La precisión requerida en la determinación de los distintos flujos de masa deberá ser conforme a su contribución relativa al resultado general: ver apartado 2.1.2 (para la explicación de los símbolos correspondientes al plan SED, véase la Figura 24.5):
  - Los datos de entrada (input) para los COV (I1) deben determinarse con la mayor precisión posible. Esto puede hacerse de alguna de las siguientes maneras:
    - midiendo directamente el consumo de todos los componentes que contengan disolvente (pintura, diluyentes, etc.)
    - calculando el input de disolvente a partir de las bases de datos de los suministros.

Si se realiza un reciclaje interno del disolvente, deberá determinarse I2.
  - La cantidad de los COV destruidos (O5) puede calcularse midiendo los flujos de masa de entrada y salida de la unidad de tratamiento de gases residuales. A partir de estas mediciones, también:
    - se deduce la eficiencia de la combustión en dependencia de la temperatura
    - se determina el factor de arrastre  $f_c$ . Este coeficiente describe la cantidad de COV que se libera en la cabina de pulverización y es transferida al horno de secado con su unidad de tratamiento de gases residuales.
    - estas mediciones deben realizarse una vez por cada cabina de pulverización o sistema de tratamiento de gases residuales (WGT) del horno. La eficiencia de combustión y el coeficiente de arrastre deberán recalcularse solamente si se cambian el proceso de aplicación, el diseño de la cabina o el sistema de extracción y combustión de gases residuales.

- El rendimiento de la unidad de tratamiento de gases residuales puede ser monitorizado mediante la medición continua de la temperatura de combustión. Esta medida permite también verificar la eficiencia del WGT.
- Para factores de arrastre  $f_c$  dados, puede controlarse la cantidad de COV destruidos mediante los datos de consumo de la cabina de pulverización.

$$O5 = (I1 + I2) \times f_c - O1.1$$

- Cualquier otro flujo de masa será demasiado pequeño o despreciable. Una sola medición o estimación de estos valores será suficiente, y sólo deberá repetirse tras un cambio de proceso o de diseño.

Las emisiones totales al aire (E) pueden calcularse mediante:

$$E = F + O1$$

donde las emisiones fugitivas son

$$F = I1 + I2 - O1 - O5 - O6 - O7 - O8$$

$$E = I1 + I2 - O5 - O6 - O7 - O8$$

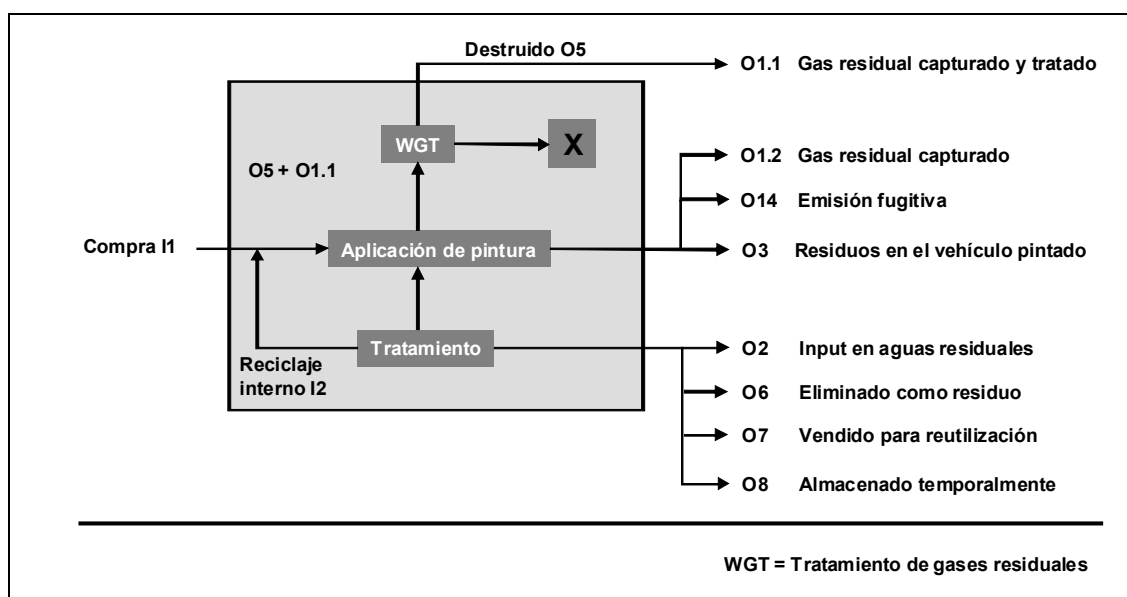


Figura 24.5: Flujos de masa básicos de entrada/salida de disolventes en el taller de pintura

4. Se calcula el área superficial  $A_t$  del cuerpo de cada vehículo de tipo  $t$  mediante:

$$A_t = \frac{2 \times m_t}{b_t \times d_t} \quad [m^2]$$

siendo

$m_t$  = peso total del cuerpo en blanco  
 $b_t$  = grosor promedio de la lámina de metal  
 $d_t$  = densidad de la lámina de metal

Pueden aplicarse también otros métodos alternativos (por ej., usando datos CAD).

5. El total del área de superficie  $A_{veh}$  se obtiene del número  $n$  de automóviles que son transferidos desde el taller de pintura a la sección final de montaje. Esto se halla en concordancia con la definición de «producto» que se da en la SED.

$$A_{veh} = \sum_{t=1}^j A_t \times n_t \quad [m^2]$$

Es necesario determinar el número de vehículos de cada tipo  $t$ .

6. Debido a las variaciones del proceso en cuanto a tiempo y restricciones de producción (cambios de color y de vehículo, limpieza, frenos...) la escala temporal del control deberá ser lo suficientemente larga. Sólo podrán obtenerse valores representativos de los cálculos de balance de masa si se emplean períodos con un promedio de al menos un mes de duración. De conformidad con la SED, anexo III, sobre los planes de gestión de disolventes, los valores límite de las emisiones de COV generadas por los talleres de pintura deberán ser valores medios anuales.

## 24.5.2 Explicación

### 24.5.2.1 Control de los flujos de masa de las emisiones de COV

#### 24.5.2.1.1 Mediciones a final de línea (end of pipe)

##### a. Número y localización de los puntos de prueba

Una medición correcta debe hacerse a lo largo de secciones de medida carentes de obstáculos, lo que sólo es posible normalmente en conductos elevados; cualquier otra configuración requerirá una serie de medidas en diversos puntos de prueba de la sección transversal del conducto, para registrar las fluctuaciones de flujo y concentración.

Las mediciones del flujo efluente de la cabina deberán hacerse en cada conducto saliente de la cabina. Algunos talleres tienen más de 50 conductos. Cuando hay ductos centrales para los gases residuales, éstos suelen ser de diámetros muy grandes, y presenta muchos puntos de obstrucción por causa de otras tuberías y dispositivos. En tales casos, la instalación de puntos de medición en los lugares adecuados resulta difícil e incluso imposible, especialmente tratándose de talleres ya existentes. Casi siempre será necesario instalar múltiples puntos de medición (véase arriba).

Los gases residuales provenientes de los hornos de secado suelen tratarse con alguna técnica de disminución. Las emisiones de las unidades de tratamiento de gases residuales (WGT) deben medirse en la corriente de aire caliente y limpio.

Dependiendo del diseño técnico de la instalación, las emisiones fugitivas pueden ser significativas y deberán ser evaluadas de modo que cumplan los requisitos de la SED. Por definición, el control a final de línea (end of pipe) no cubre estas fuentes. El control directo de las emisiones fugitivas no será posible o resultará extremadamente costoso en instalaciones complejas como fábricas de vehículos.

**Conclusión:** Para recoger los datos concernientes a las emisiones mediante mediciones a final de línea (end of pipe), deben instalarse muchos puntos de muestreo. Las emisiones fugitivas no pueden ser medidas directamente de manera fiable.

## b. Principio de medición

El método de detección por ionización de llama (FID) suele emplearse para hacer mediciones tanto continuas como discontinuas. Para ello, se suministra al equipo un pequeño volumen del gas residual en forma continua.

Los compuestos orgánicos se queman en una llama de hidrógeno y aire; con lo cual se produce la ionización de los compuestos orgánicos, generando una corriente eléctrica la cual es medida y es proporcional al flujo de masa de los compuestos orgánicos presentes en la muestra.

La indicación de salida del detector dependerá de la naturaleza química de los compuestos, pero también de la geometría del detector y de las condiciones de operación del quemador. Es necesario hacer una calibración regular de todo el sistema. La función de calibración es una relación entre la intensidad de la señal del detector y la concentración de propano en el gas de referencia. Los resultados se dan en ppm o ppb equivalente a CH<sub>4</sub>.

Por principio, el método determina de manera continua un valor índice que responde principalmente al número de enlaces C-H existentes en el volumen de la muestra del gas. El factor de respuesta no es constante para todos los compuestos orgánicos, sino que es una propiedad única para cada sustancia. En consecuencia, sólo podrán proporcionarse valores de concentración en g COV/m<sup>3</sup> que sean significativos después de que una segunda calibración haya establecido la correlación entre la señal del detector (dada en ppm CH<sub>4</sub>) y la concentración de compuestos orgánicos en la muestra.

El proceso de calibración deberá repetirse a intervalos regulares.

Los compuestos menos volátiles pueden condensarse en la línea de muestreo o en los sistemas del analizador; por lo que es necesario calentar las partes relevantes del sistema a una temperatura no inferior a 150 °C. Esta es una precaución fundamental en el análisis de los gases residuales de los hornos de secado / curado.

**Conclusión:** *Los requerimientos analíticos son muy exigentes y técnicamente difíciles para las situaciones que se describen en el apartado 0(a). Es necesario efectuar la calibración repetidas veces para ajustar la señal del detector a la concentración real de los COV existentes en el gas efluente.*

## c. Representatividad de los detectores FID en línea

Aunque este método es de fácil elección y aplicación tratándose de un solo compuesto orgánico, cuando se trata de pintar automóviles se torna extremadamente difícil y delicado. Los sistemas de pintura para automóviles envuelven formulaciones muy complejas con muchas sustancias orgánicas volátiles, pudiendo encontrarse con frecuencia más de 20, y muchas veces hasta 50 compuestos orgánicos volátiles en el aire efluente. Por añadidura, la composición no es constante a lo largo del tiempo, y depende de:

- la mezcla de colores en la cabina de aplicación (cada color difiere en la composición de su disolvente)
- la cantidad de disolvente empleada en la limpieza (cambio de color, etc.)
- la cinética del proceso de evaporación de la superficie del vehículo
- la reevaporación del disolvente del agua en el sistema de lavado por efecto Venturi.

**Conclusión:** *Es prácticamente imposible calibrar un sistema de control de FID en línea de tal modo que la indicación del detector proporcione los valores reales de la concentración de los COV.*

## d. Coste

Los gastos operativos de las mediciones continuas son muy elevados. Habría que equipar cada conducto de escape con un analizador FID, por lo general con múltiples puntos de muestreo y,

por lo tanto, un sofisticado sistema de control y registro de muestras. Debido a las dimensiones del taller de pintura, deberán instalarse líneas calientes de muestreo de hasta 20 m de largo por cada punto de muestreo, y cada analizador FID deberá alimentarse con gas hidrógeno, aire sintético y gas de calibración. Además de la medición de COV, deberán determinarse la concentración de O<sub>2</sub>, la temperatura, humedad y velocidad del gas. El equipo requerirá también un mantenimiento diario para evitar el bloqueo de los tubos de entrada de aire por partículas de pintura. A fines de la calibración, deberán tomarse medidas discontinuas para asegurar el cumplimiento mediante métodos de referencia aceptados por parte de organismos expertos y autorizados, generalmente instituciones externas independientes.

**Conclusión:** *El coste del control de las emisiones de COV mediante el método de aplicación a final de línea(end of pipe) resulta extremadamente elevado.*

**e. Conclusión general:**

El inconveniente principal de la control de las emisiones COV mediante el método de aplicación a final de línea (end of pipe) es que sólo pueden medirse las emisiones de los conductos de escape. El gasto es extremadamente alto para este tipo de industria; y las emisiones difusas no pueden medirse directamente por procedimientos razonables. Este tipo de control de las emisiones sólo debe aplicarse cuando sea necesario controlar unas condiciones especiales de operación en una instalación, que no puedan resolverse mediante cálculos, o cuando haya otras razones que justifiquen un intenso control. En la industria de pintura de automóviles, tales condiciones no se presentan.

**24.5.2.1.2 Cálculo del balance de masa del disolvente**

**Principios básicos**

La Directiva sobre Emisiones de Disolventes 1999/13/EC (SED) establece un método general para el control de emisiones de disolventes mediante el balance de masa del disolvente (plan de gestión del disolvente). Este método puede aplicarse también a los talleres de pintura de vehículos, con unos ligeros ajustes.

En la Figura 24.5 se muestra el esquema general del balance de masa del disolvente. La numeración de los flujos de entrada y salida proviene de la SED, y se ha ampliado a fin de diferenciar entre los gases residuales provenientes de las cabinas de pintura (O1.2) y los hornos de secado / curado con tratamiento de gases residuales (O1.1).



No.	Flujo de masa	Relevancia	Comentario
I1	Input de disolventes orgánicos	Alta	= <b>100 % (en general)</b> COV en pinturas, diluyentes y enjuagues de pistola pulverizadora, además de materiales de limpieza generales
I2	Input de disolventes orgánicos provenientes de reciclaje interno	No	= <b>0 % (en general)</b> En algunos casos, los disolventes son reutilizados después de su purificación interna. Si el disolvente es reciclado por operarios externos, deberá registrarse bajo I1
O1	Emisiones en gases residuales	Alta	= <b>60 – 95 %</b> Emisiones provenientes de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• cabinas de aplicación (O1.2) sin tratamiento</li> <li>• emisiones residuales posteriores al tratamiento de gases residuales (O1.1) (usualmente gas residual de los hornos de secado / curado, a veces de las cabinas de pintura)</li> </ul>
O2	Disolventes arrastrados con las aguas residuales	Baja	≤ <b>5 %</b> Depende de la cantidad de aguas residuales y la solubilidad de los COV en agua
O3	Residuos de disolvente en la superficie pintada de los vehículos	No	= <b>0 %</b>
O4	Emisiones fugitivas	No	≅ <b>0 %</b> Como las emisiones fugitivas no pueden ser controladas, este flujo de masa se considera parte de O1.2
O5	Disolventes capturados y destruidos en los sistemas de tratamiento de gases residuales	Alta	= <b>10 – 40 %</b> Generalmente incineración térmica del gas residual proveniente del horno de secado; a veces también del gas residual de la cabina.
O6	Salida de disolvente como residuo	Sí	= <b>5 – 10 %</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• como mezcla de pintura y diluyente</li> <li>• como residuo en lodos de pintura</li> </ul>
O7	Vendido como producto	No	= <b>0 %</b>
O8	Disolventes recuperados para su reutilización o almacenados temporalmente	Baja	≈ <b>0% (generalmente)</b> (Disolventes y pinturas incluidos como input pero no usados durante el período considerado)
O9	Cualquier otra salida	No	= <b>0 %</b>

**Tabla 24.9: Flujos de entrada y salida en talleres de pintura de vehículos (según SED 1999/13/EC)**

Las emisiones totales al aire (E) para los talleres de pintura pueden calcularse mediante el método indirecto de la SED (1999/13/EC)

$$E = F + O1$$

siendo

$$F = I1 + I2 - O1 - O5 - O6 - O7 - O8 \text{ (emisiones fugitivas)}$$

$$E = I1 + I2 - O5 - O6 - O7 - O8$$

Bajo condiciones normales de operación, esta ecuación puede simplificarse:

$$E = I1 - O5 - O6$$

La ventaja del método indirecto es que no es necesaria el control de O1 (emisiones en los gases residuales) y O4 (emisiones fugitivas). Dado que O1 es el mayor de todos los flujos de salida, cualquier incertidumbre en la medida de O1 tiene una gran repercusión en la precisión general del control. En general, el método directo sólo es aplicable si es posible excluir con toda seguridad las emisiones fugitivas (O4).

**Conclusión:** *El método de balance de masa es el más apropiado para el control de las emisiones de COV al aire. Este método da cuenta de cualesquiera emisiones fugitivas, tal como lo exige la SED. Las costosas y poco fiables mediciones directas a final de línea(end of pipe) se sustituyen por un conjunto de mediciones y cálculos sobre los flujos de masa residuales. El resultado, obtenido a menor coste, es completo, sólido y suficientemente preciso.*

#### 24.5.2.1.3 Métodos para la determinación de los flujos de masa específicos

##### I1 Entrada (input) de disolvente

(a) Medición directa del consumo de todos los componentes que contengan disolvente (diluyentes de pintura, etc.)

(b) Cálculo del input de disolvente a partir de las bases de datos de los suministros. Es necesario identificar y considerar la cantidad de material rechazado.

Para el método (a), deberán instalarse dispositivos de control para controlar el nivel de los tanques de almacenamiento, y se recomienda el procesamiento de datos en línea de las señales. Los datos de consumo pueden integrarse a los sistemas IT de gestión de la producción existentes, y mantenerse disponibles para actividades de optimización del rendimiento. Para el método (b), pueden utilizarse las bases de datos financieros.

En ambos casos, es crucial tener conocimiento del contenido de disolvente en las pinturas y demás materiales, lo que deberá requerírsele al proveedor.

##### O2 Disolvente arrastrado con las aguas residuales

En el depósito de agua del lavador Venturi no sólo se disuelven las partículas de pintura sino también los compuestos orgánicos volátiles. Las aguas residuales salen de este sistema con concentraciones de disolvente que pueden llegar hasta el equilibrio de solubilidad. El plan de gestión de disolventes de la SED 1999/13/EC supone que este disolvente proviene en su totalidad del sistema de canalización del alcantarillado o de la instalación de tratamiento de aguas residuales. Dado que el flujo O2 es relativamente bajo en comparación con O1 u O5, puede tratársele como una constante o como función del volumen de aguas residuales.

##### O5 Disolvente capturado y destruido mediante el tratamiento de gases residuales

El flujo de masa O5 es el residuo del disolvente emitido al aire por cualquier medio de tratamiento de gases residuales (O1.1, COV en el gas capturado y tratado) y el input del disolvente dentro del flujo de gas crudo (O5<sub>in</sub>) que se introduce al equipo.

$$O5 = O5_{in} - O1.1$$

Los compuestos orgánicos volátiles presentes en los gases de las instalaciones de tratamiento de gases residuales (O1.1) pueden medirse por métodos continuos o discontinuos. De acuerdo con la SED 1999/13/EC, el valor límite de estas emisiones debe considerarse de 50 mg C<sub>tot</sub>/m<sup>3</sup> después de pasar por las instalaciones de tratamiento de aire<sup>13</sup>.

La eficiencia de los sistemas de tratamiento de aire se mide controlando la temperatura. La temperatura de combustión, que garantiza el cumplimiento de los valores límite bajo todas las condiciones de operación, se determina por mediciones de calibración.

<sup>13</sup> Un valor límite de 50 mg C<sub>tot</sub>/m<sup>3</sup> corresponde aproximadamente a 70 mg COV/m<sup>3</sup>.

El flujo de masa de los COV desde cada zona de aplicación hasta el equipo de disminución de las emisiones es proporcional al consumo del disolvente en el proceso de pintura en la cabina. Por lo tanto (si  $I_2 \equiv 0$ )

$$O_{5in} = I_1 * f_c$$

El factor de arrastre  $f_c$  es la relación entre el consumo del disolvente en la zona de aplicación y el input de COV en el equipo de tratamiento de gases residuales del horno de secado. Este valor es constante dentro del margen de consumo de disolvente para un proceso dado de aplicación de pintura y una geometría de cabina dada. Dicho factor debe recalcularse solamente si se cambia el proceso de aplicación, la tecnología de los materiales o el diseño de la cabina (o el sistema de extracción, etc.).

#### **O6: Disolventes orgánicos eliminados como residuos**

El flujo de masa mayor de esta categoría lo constituyen los disolventes capturados por separado en los procesos de depuración y limpieza (cambios de color, purga del sistema de tuberías, limpieza general). El control se realiza por la medición del volumen de flujo en las entradas del tanque o por los datos de los documentos de transporte. En general, los disolventes recuperados contienen cantidades considerables de pintura, por lo que será necesario determinar su concentración de COV.

Junto con los disolventes también se arrastran lodos de pintura; por lo que puede ser necesario además determinar y verificar las concentraciones de COV en los lodos de pintura.

***Conclusión:** La mayoría de los datos de flujo de masas que es necesario determinar son constantes o dependen del consumo del material y otros parámetros de fácil accesibilidad.*

### **24.5.2.2 Determinación del rendimiento total del área de superficie**

#### **24.5.2.2.1 Área superficial de los vehículos**

De acuerdo con la SED 99/13/EC, el área superficial se define de la siguiente manera: «el área superficial calculada a partir del área total de revestimiento electroforético, y el área superficial de las partes que pudieran añadirse en fases sucesivas del proceso de revestimiento las cuales usaran el mismo revestimiento utilizado en el producto, o el área superficial total del producto sometido a revestimiento en la instalación.»

La superficie del área de revestimiento electroforético (e-coat) se calcula mediante la fórmula:

$$A_t = \frac{2 \times m_t}{b_t \times d_t} \quad [m^2]$$

donde

$m_t$  = peso total del cuerpo en blanco  
 $b_t$  = grosor promedio de la lámina metálica  
 $d_t$  = densidad de la lámina metálica

Este método se aplicará igualmente a otras partes sometidas a revestimiento. Pueden aplicarse también otros métodos alternativos (por ej., usando datos CAD).

El índice t indica que diferentes tipos de cuerpos tienen diferentes áreas superficiales:

$$A_{veh} = \sum_{t=1}^j A_t \times n_t \quad [m^2]$$

**Conclusión:** Es muy importante determinar correctamente el área de e-coat para cada modelo de automóvil. El procedimiento deberá documentarse, y los operarios deben saber que todos los datos relevantes pueden ser verificados por los organismos competentes.

#### 24.5.2.2.2 Número de vehículos por período de tiempo

El método de balance de masa —en el que se basa el control de emisiones COV de la industria automovilística, siguiendo los delineamientos de la Directiva sobre Emisiones de Disolventes 99/13/CE— requiere que se haga el cálculo del área total de los cuerpos a ser pintados. El número de vehículos que se tomará en cuenta es el número de los automóviles sometidos a revestimiento en el taller de pintura y entregados a la línea final de montaje (como «producto» del proceso de pintura).

De este modo, los vehículos que deban ser pintados por segunda vez (repintados) no se contarán dos veces, y las emisiones adicionales de disolventes causadas por la repintura se asignarán al número original de vehículos. Del mismo modo, los cuerpos que sean descartados no se cuentan.

**Conclusión:** Los datos de producción automovilística anteriormente descritos se obtienen de los sistemas de control de producción, por lo que para el cumplimiento de los requisitos de control de emisiones no es necesario incurrir en gastos adicionales.

#### 24.5.2.3 Escala de tiempo para la representatividad del balance de masa

##### 24.5.2.3.1 Valores límite basados en períodos de corta duración

Hay que tener presente que, tanto por razones técnicas como de orden práctico, siempre hay un lapso de tiempo entre la medición o el cálculo de las emisiones de disolventes y la determinación del número de vehículos, como prerrequisitos para calcular el área superficial de referencia. Por lo tanto, no podrá controlarse adecuadamente un valor límite con un bajo período de tiempo.

Todos los talleres de pintura disponen de sistemas Venturi para eliminar las partículas de pintura del aire efluente. Los disolventes se disuelven en el agua (en especial con las pinturas al agua) y son bombeados repetidamente a través del sistema. Estos disolventes disueltos producen emisiones COV residuales aunque no se pinte ningún vehículo y sólo el aire limpio del sistema de tratamiento de la cabina fluye por el sistema Venturi.

Además, hay largos períodos en los que se producen emisiones pero sólo se pinta un número limitado de vehículos, o a veces ninguno; esto se debe a intervalos en la producción, la limpieza periódica de las cabinas y el equipo de aplicación, o al reinicio de la producción después de los fines de semana. En estas circunstancias, el valor de emisión, definido como la relación entre la emisión y el área superficial, alcanza niveles muy elevados o incluso infinitos, aun cuando la cantidad absoluta de emisiones de disolventes se mantenga baja.

Debido a ello, la definición del valor límite de emisión como una media horaria, diaria o por turno, producirá resultados con fuertes fluctuaciones. Es decir, los valores formales de emisión excederán con frecuencia los valores límite, aun cuando el flujo de masa de disolvente en términos de la cantidad de gramos sea muy pequeño (mientras el valor de  $m^2$  sea bajo, o cero). Así, pues, el cálculo de los datos de emisión de disolventes en  $g/m^2$  para escalas de tiempo inferiores a un mes podría no proporcionar valores representativos.

**Conclusión:** Los valores límite de las emisiones, basados en períodos de corta duración no pueden ser controlados adecuadamente. Dado que los valores de emisión son la relación entre

*el flujo de masas de COV y la tasa de producción, podrían registrarse grandes fluctuaciones que no proporcionarán información significativa sobre el impacto ambiental.*

#### **24.5.2.3.2 Valor límite basado en el valor medio anual**

El período de referencia de un año corresponde muy bien con el carácter de este valor límite, como parámetro definitorio de la calidad ambiental del proceso de pintura. De hecho, el balance de disolventes que se contempla en la Directiva sobre Emisiones de Disolventes requiere el establecimiento de los datos sobre una base media anual. Se promediarán todas las situaciones típicas de producción para controlar el rendimiento general del taller de pintura.

No hay razones toxicológicas para limitar, y controlar, fluctuaciones breves de tiempo en las emisiones de COV.

***Conclusión:** Es apropiado utilizar la media anual como período de referencia para el límite de las emisiones de los talleres de pintura de vehículos.*

## **24.6 Algunos valores límites indicados por la Directiva sobre Emisiones de Disolventes**

Debido a la complejidad de la Directiva sobre Emisiones de Disolventes [123, EC, 1999], y considerando que las actividades de dicha Directiva se aplican a las industrias contempladas en el presente documento de referencia, se dan a continuación ciertos datos concernientes a algunas de dichas industrias:

### **SED, actividad 7: Recubrimiento de bobinas**

Valores límite establecidos por la SED:

- reducción de las emisiones COV a 50 mg C/m<sup>3</sup> para las emisiones de gases residuales, o 150 mg C/m<sup>3</sup> cuando los disolventes se recuperen a partir de los gases residuales, y:
  - para nuevas plantas: 5 % para emisiones difusas,
  - para plantas existentes: 10 % para emisiones difusas,
- si se sigue el plan de reducción, disminuir las emisiones generales:
  - para nuevas plantas: a 0,3 kg de COV por kg de consumo de no volátiles,
  - para plantas existentes: a 0,45 kg de COV por kg de sólidos.

### **SED, actividad 8: Otros recubrimientos, incluyendo metal, plástico, telas, etc.**

Valores límite establecidos por la SED:

- reducción de las emisiones COV a 50 mg C/m<sup>3</sup> para el secado y 75 mg C/m<sup>3</sup> en los gases residuales para la aplicación de recubrimientos y al 20 % del consumo de disolvente para emisiones difusas, o
- si se sigue el plan de reducción, disminuir las emisiones generales a 0,375 kg de COV por kg de consumo de no volátiles.

### **Envases metálicos (además de la actividad 8):**

En la SED se describen dos modos de actuación para el cumplimiento de la directiva: valores límite de emisión y planes de reducción de disolvente. En los procesos de producción de latas por estiramiento y planchado (DWI) pueden usarse materiales de reemplazo sustitutivos que permitan cumplir con los planes de reducción de disolventes [76, TWG, 2004].

Valores límite establecidos por la SED:

- reducción de las emisiones COV a 50 mg C/m<sup>3</sup> para el secado y 75 mg C/m<sup>3</sup> para la aplicación de revestimientos en los gases residuales y al 20 % del consumo de disolvente para emisiones difusas, o
- si se sigue el plan de reducción:
  - para aplicaciones fuera de la industria alimentaria, disminuir las emisiones generales a 0,375 kg de COV por kg de consumo de no volátiles,
  - para recubrimientos que estén en contacto con alimentos, disminuir las emisiones generales a 1,165 kg de COV/kg de sólidos.

#### **SED, actividad 10: Recubrimiento de maderas**

Valores límite establecidos por la SED:

- reducción de las emisiones COV a 50 mg C/m<sup>3</sup> para el secado y 75 mg C/m<sup>3</sup> para la aplicación de revestimientos en los gases residuales y al 20 % del consumo de disolvente para emisiones difusas, o
- si se sigue el plan de reducción, disminuir las emisiones generales a 1,0 kg de COV por kg de consumo de no volátiles.

#### **SED, actividad 12: Conservación de maderas**

Valores límite establecidos por la SED:

- reducción de las emisiones COV a 100 mg C/m<sup>3</sup> en los gases residuales (no con creosota) y a 45 % del consumo de disolvente para emisiones difusas, o
- 11 kg/m<sup>3</sup> para el total de emisiones COV,
- si se sigue el plan de reducción, disminuir las emisiones generales a 0,75 kg de COV por kg de consumo de no volátiles.

## **24.7 Cálculo del POCP efectivo (Potencial de Creación Fotoquímica de Ozono)**

Ver sección 20.10.2

**Referencias:** Swan Eco-label (ecoetiqueta Swan: etiquetado de productos automotrices y navieros, [www.Svanen.nu](http://www.Svanen.nu)), [169, Lemoine, 2006] [170, Tempny y Lemoine, 2006].

El concepto del POCP (o el de otras escalas de reactividad, como la MIR) se basa en la premisa de que el 100 % del disolvente se evapora directamente al ser expuesto al aire; lo que no sucede con una variedad de sustancias químicas, dado que la tasa de evaporación difiere entre diferentes sustancias. Para poder evaluar adecuadamente la creación de ozono generada por la cantidad de una sustancia que termina en la atmósfera (dentro de un lapso de tiempo razonable), es necesario evaluar el POCP de dicha sustancia en relación a su tasa de evaporación (RA) relativa. La RA se basa en la presión de vapor de la sustancia y su difusión en el aire, y se calcula dividiendo la tasa de evaporación de la sustancia en cuestión por la tasa de evaporación de una sustancia de referencia. Como sustancia de referencia se emplea el acetato de butilo.

Dicho cálculo es largo, y en el caso de varias sustancias presentes en una mezcla en condiciones diversas, puede resultar tedioso (véase a continuación).

Una alternativa aproximada es utilizar la presión de vapor multiplicada por el POCP (u otra escala de reactividad). Para diferenciar este valor del potencial efectivo de creación de ozono (APOCP<sub>e</sub>, véase a continuación), lo llamaremos POFP, producto de formación fotoquímica de ozono, siendo OFP el potencial fotoquímico de formación de ozono, usualmente denominado POCP:

$$\text{POFP} = (\text{presión del vapor}) \times (\text{OFP})$$

y

$$\sum_1^n [\text{POFP}_{\text{total}}]_{\text{total}} = \sum [\text{POFP}_1]_1 + [\text{POFP}_2]_2 + \dots + [\text{POFP}_n]_n$$

donde:

$[\text{POFP}_1]_1$  es la concentración (o masa, o porcentaje) de la sustancia 1 con una tasa de formación fotoquímica de ozono  $1 = \text{concentración}_1 \times (\text{presión de vapor})_1 \times (\text{OFP})_1$ , etc.  
 $[\text{POFP}_{\text{total}}]_{\text{total}}$  es el total del producto de formación fotoquímica de ozono para n sustancias en una mezcla dada (o una sola sustancia cuando  $n = 1$ ),

donde la concentración se expresa como % en peso, y  $\text{POFP}_{\text{total}}$  debe multiplicarse por 100. Para lograr una escala de comparación adecuada, es mejor expresar los parámetros como:

- presión de vapor (VP) en kPa (con un rango aproximado de 0,001 a 50 kPa). Las VP para más de un disolvente deben estar todas expresadas a una misma temperatura
- concentración como porcentaje (rango: 0 – 100)
- si POCP es la unidad, úsease una escala de etileno = 100, con rango aprox. de 10 a 140.

Ejemplos de cálculos:

Formulación 1				
	* Xi (%)	VP (KPa)**	POCP	valor POFP
Xileno	40	0,87	110	3828
$[\text{POFP}_{\text{total}}]_{\text{total}}$				3828
* (Xi) concentración de la sustancia en la formulación ** a 20 °C				

**Tabla 24.10: Ejemplo 1 de cálculo del POCP efectivo**

Formulación 2				
	* Xi (%)	VP (KPa)**	POCP	valor POFP
acetato de n-butilo	20	1,529	27	826
Alcohol blanco desaromatizado	20	0,46	41	377
$[\text{POFP}_{\text{total}}]_{\text{total}}$				1203
* (Xi) concentración de la sustancia en la formulación ** a 20 °C				

**Tabla 24.11: Ejemplo 2 de cálculo del POCP efectivo**

### Cálculo de la tasa de evaporación relativa (RA) y APOCP<sub>e</sub>

(de la ecoetiqueta Swan: etiquetado de productos automotrices y navieros):

La tasa de evaporación (F) de una sustancia puede calcularse según la primera ley de Fick:

$$F = D \times (dC/dZ) \text{ (I)}$$

donde:

- D es la constante de difusión de la sustancia en el aire
- $dC/dZ$  es el gradiente de concentración en un área donde la sustancia existe libremente en el aire, y puede calcularse usando la ley general de los gases, así:



$$dC/dZ = (P \times Mw)/(RT \times 10^6) \text{ (II)}$$

donde:

- $R = 8,32 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $T = \text{temperatura absoluta}$
- $dZ = 1 \text{ cm}$

Si la constante de difusión se da en  $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ,  $F$  puede expresarse como  $\text{g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

$$RA_i = F_i/F_{\text{acetato de butilo}}$$

De acuerdo con las ecuaciones I y II, el acetato de butilo tiene una tasa de evaporación ( $F$ ) de  $4 \times 10^{-6} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Sustancia	RA
2-propilenglicol-1-metil éter	0,84
Isopropanol	2,5
Acetato de butilo (referencia)	1,0

**Tabla 24.12: Ejemplos de tasas de evaporación relativa (RA) para una selección de COV**

La multiplicación del potencial absoluto de creación de ozono de una sustancia por su tasa de evaporación relativa (RA) proporciona una medida del potencial efectivo de creación de ozono,  $APOCP_e$ :

$$APOCP_{e,i} = APOCP_i \times RA_i$$

Ejemplo de cálculo: Determinación del  $APOCP_{e,\text{isopropanol}}$  en el ambiente A

$$APOCP_{e,\text{isopropanol}} = 0,06 \times 2,5 = 0,15$$

Sustancia	A	B	C	D	E
2-propilenglicol-1-metil éter	0,08	0,18	0,12	0,18	0,52
Isopropanol	0,15	0,38	0,25	0,4	1,2
COV de referencia	0,11	0,27	0,17	0,27	0,84

**Tabla 24.13: Ejemplos de  $APOCP_e$  para una selección de COV y un COV de referencia en los cinco ambientes diferentes A, B, C, D y E.**

El valor del  $APOCP$  es el mismo que el del  $POCP$  del cálculo anterior.

## 24.8 Costes sociales marginales del cambio climático

Un informe reciente [116, AEA, et al., 2005] examina las posiciones actuales acerca de los costes sociales del cambio climático expresados en EUR/t CO<sub>2</sub>; y se cita un análisis reciente que arroja una media de 25 EUR /t CO<sub>2</sub> con un percentil 95 de 96/t CO<sub>2</sub>. Otros analistas dan cifras comprendidas entre < 12 y < 20 EUR/t CO<sub>2</sub>. El informe muestra que estas cifras se basan en datos para efectos de mercado, que ignoran otras implicaciones sociales de mayor alcance así como los efectos catastróficos que pueden tener los incrementos elevados de temperatura sobre el clima, los cuales son más difíciles de definir y estimar.

Los diferentes escenarios de estabilización tienen diferentes costos:

- baja tasa de incremento de la temperatura climática: < 15 EUR/t CO<sub>2</sub>
- alta tasa de incremento de la temperatura climática: 30 – 140 EUR/t CO<sub>2</sub>.

Por su parte, el informe [116, AEA, et al., 2005] proporciona las siguientes cifras y rangos de valores estimados para 2002:

- un límite inferior de 15 EUR /t CO<sub>2</sub>,
- una estimación central ilustrativa entre 20 – 25 EUR/t CO<sub>2</sub>, ascendiendo a 30 EUR/t CO<sub>2</sub> para 2020,
- una estimación central superior de 80 EUR/t CO<sub>2</sub>.

Basándose en estos informes, se ha inferido una estimación central de trabajo de 30 EUR/t CO<sub>2</sub> en el presente documento, a fin de establecer la comparación con los daños marginales de COV por tonelada de emisión, según la evaluación de costes y beneficios del programa CAFE (Clean Air For Europe – Aire limpio para Europa) (ver ECM REF [97, EIPPCB, 2005]).

Ésta es un área de gran interés político y constante desarrollo económico. Véase, por ejemplo, la Stern Review of Environmental Economics, [176, Stern, 2006]. En tal sentido, podría haber la tendencia a incluir las implicaciones sociales de mayor alcance y los efectos catastróficos asociados con el cambio climático, pero no con otras fuentes de impacto ambiental (como las asociadas con los COV, cuyos costes sociales marginales incluyen consideraciones sobre impactos ambientales clave, principalmente sobre la salud). Tales factores aumentan significativamente los costes sociales por t CO<sub>2</sub>.

## 24.9 Eficiencia de eliminación de las técnicas de tratamiento de gases residuales

[148, TWG, 2006] [183, Verspoor y TWG, 2006]

### Técnicas a final de línea (end of pipe): Descripciones y consideraciones de aplicabilidad

Las descripciones y consideraciones de aplicabilidad que se dan a continuación se presentan sólo como una visión de conjunto. Para obtener información adicional, véanse los apartados relevantes del capítulo 20 del presente documento. La información proporcionada en este anexo no sirve por sí sola como base para seleccionar la técnica de disminución más adecuada.

Técnica de final de línea (end of pipe) y descripción	Condiciones de aplicabilidad	Aplicabilidad:
<p><b>Oxidación térmica</b> Calentamiento de los gases residuales mediante la combustión de gas natural. No hay intención de recuperar calor para reducir el consumo energético.</p>	<p>La técnica de oxidación más simple con la menor inversión de capital. Operación autotérmica sólo con niveles de concentración por encima del 25 % LEL. Consumo eléctrico mínimo para el ventilador principal. Máximo consumo relativo de gas. Como la técnica más simple, ofrece el menor mantenimiento relativo y el menor tiempo de inactividad. Rápida puesta en marcha (0.5 – 1 h), pero requiere una temperatura de operación estable. Los polvos no orgánicos deben ser eliminados (<math>a &lt; 3 \text{ mg/m}^3</math>) antes de llegar a la unidad de oxidación, aunque esta técnica tolera los polvos mejor que otras.</p>	<p>Para uso intermitente (algunos días a la semana; con flujos de aire muy variables; sistema de un solo turno, etc.). Cuando los costes de capital tienen mucha más relevancia que los costes operativos, o en combinación con otras tecnologías de depuración para unidades multifuncionales o para volúmenes de aire <math>&lt; 2000 \text{ m}^3/\text{h}</math>. Para rangos de concentración entre 5 y 16 <math>\text{g/m}^3</math>, altas temperaturas de entrada del gas residual y cuando las concentraciones del disolvente y el flujo de gas son relativamente constantes. También es posible la operación a niveles de concentración por encima de LEL.</p>
<p><b>Oxidación recuperativa</b> Similar a la oxidación térmica, pero con un intercambiador de calor que precalienta los gases residuales entrantes con el calor de los gases de escape. Reduce el consumo de gas, pero el intercambiador de calor requiere una inversión mayor.</p>	<p>Con un intercambiador de calor de eficiencia máxima (alrededor del 76 %), son posibles las operaciones autotérmicas con concentraciones del disolvente (acetato de etilo o etanol) de aprox. 10 <math>\text{g/m}^3</math> o más. La concentración autotérmica depende del poder calorífico del disolvente. El consumo de energía eléctrica del ventilador principal es mayor que en el caso de la oxidación térmica. El consumo de gas es menor. Técnica de oxidación simple, pero con una inversión relativamente elevada debido al alto contenido de acero. Puesta en marcha casi inmediata (0,5 – 1 h). La eficiencia de eliminación está restringida por la máxima temperatura de operación, que viene determinada por la integridad mecánica del intercambiador de calor. El intercambiador de calor tiene una vida limitada, y requiere un mantenimiento importante debido a la corrosión y el esfuerzo térmico. Los intercambiadores de calor se bloquean fácilmente por acumulación de polvo en las tuberías, lo que reduce la eficiencia debido a taponamientos parciales, produciendo un incremento de la inversión y de los costes. No obstante, la técnica es más tolerante al polvo que otras, y existen procedimientos para eliminar los bloqueos (soplado de aire, limpieza en cadena, rodaje de bola, etc.).</p>	<p>Para uso intermitente (sistemas de uno o dos turnos), en los casos en que la reducción del consumo de gas compense el coste adicional de capital y de energía eléctrica. Cuando sea posible la operación autotérmica, pero no pueda usarse energía excedente en la instalación como alternativa a la oxidación regenerativa.</p>

Técnica de final de línea (end of pipe) y descripción	Condiciones de aplicabilidad	Aplicabilidad:
<p><b>Oxidación catalítica</b>            Temperaturas de oxidación menores, a unos 280 – 450 °C (en vez de 800 °C). Equipado frecuentemente con intercambiador de calor. Reduce el consumo de gas, pero los catalizadores y el intercambiador de calor requieren una inversión mayor. El catalizador puede requerir mantenimiento y reemplazo ocasional, lo que aumenta los costes operativos y el tiempo de inactividad.</p>	<p>Si está equipado con un intercambiador de calor eficiente (máximo posible alrededor de 87 %), las operaciones autotérmicas pueden efectuarse con concentraciones del disolvente de unos 5 g/m<sup>3</sup> o más (dependiendo del poder calorífico del disolvente). La máxima temperatura posible del catalizador limita la concentración de entrada a unos 8 g/m<sup>3</sup>.</p> <p>El consumo de energía eléctrica del ventilador principal es mayor que en el caso de la oxidación térmica. Con concentraciones de disolvente por debajo del 25 % LEL, el consumo de gas será inferior que con la oxidación recuperativa.</p> <p>El catalizador hace que sea una técnica de oxidación menos simple, pero conserva la inversión relativamente baja.</p> <p>Puesta en marcha casi inmediata (1 h para precalentar el catalizador), pero si se apaga con demasiada frecuencia puede dañarse el soporte del catalizador.</p> <p>El catalizador incrementa la necesidad de mantenimiento y tiempo de inactividad.</p> <p>Algunos disolventes y partículas de polvo pueden degradar el catalizador, forzando el pronto reemplazo de un catalizador costoso. El catalizador y su soporte deben ser adaptados a la composición del gas residual, así como a los requerimientos de temperatura y a la eficiencia de eliminación esperada. Puede ser necesario deshacerse del catalizador usado como residuo peligroso aunque, con frecuencia, el material catalizador puede reciclarse.</p> <p>Muy sensible a la presencia de polvo y gotas en los gases residuales. Sensible a los cambios en la concentración de entrada.</p>	<p>Sólo debe usarse cuando se sepa que ninguno de los disolventes que va a ser oxidado degradará el catalizador, y cuando la temperatura de entrada no sea demasiado alta para el catalizador.</p> <p>Cuando sea posible la operación autotérmica, pero no pueda usarse energía excedente en la instalación como alternativa a la oxidación regenerativa.</p>

Técnica de final de línea (end of pipe) y descripción	Condiciones de aplicabilidad	Aplicabilidad:
<p><b>Oxidación regenerativa: 2 lechos</b> La cámara de oxidación está situada entre dos lechos de cerámica. El gas residual pasa por un lecho antes de entrar a la cámara de oxidación, y sale por el otro. La dirección del flujo del gas residual se alterna cada 1 a 5 minutos. Uno de los lechos precalienta los gases residuales, mientras que el otro acumula el calor del escape.</p> <p>Durante el intercambio, se emiten durante unos segundos los gases residuales cargados de disolvente.</p> <p>Reduce drásticamente el consumo de combustible. Aumenta el requerimiento de energía eléctrica, debido a la mayor resistencia del aire en los lechos de cerámica.</p>	<p>Con una alta eficiencia del intercambiador de calor (máximo posible de 96 %), las operaciones autotérmicas pueden efectuarse a partir de concentraciones del disolvente de 2 g/m<sup>3</sup> o más (dependiendo del poder calorífico del disolvente, por ej., acetato de etilo a 2,2 g/m<sup>3</sup>). No obstante, el precalentamiento después de períodos de parada puede ocasionar un considerable consumo de gas.</p> <p>El consumo de energía eléctrica del ventilador principal es mayor que con otros oxidantes debido a la elevada pérdida de carga en los lechos de cerámica.</p> <p>Si la concentración de disolvente en los gases residuales es mayor que la concentración autotérmica, se produce un exceso de calor que, no obstante, puede ser recuperado.</p> <p>Cuando el excedente de calor no es recuperado en forma permanente y las concentraciones son variables, puede ser necesario reducir la eficiencia del intercambiador de calor para evitar el sobrecalentamiento de los lechos de cerámica a altas concentraciones. Esto produce una concentración autotérmica mayor, y debe añadirse gas natural en los períodos en los que la concentración del disolvente sea baja.</p> <p>Los complicados sensores y las grandes válvulas que se necesitan para cambiar repetidamente la dirección del flujo de aire, involucran un complejo equipo y la necesidad de emplear personal especializado.</p> <p>Conlleva más coste de mantenimiento y tiempo de inactividad que otras técnicas de oxidación. Cada 1-2 años la labor de mantenimiento exige 2 o 3 días de inactividad. Requiere precalentamiento antes de la puesta en marcha, ya que los lechos de cerámica se enfrían durante el tiempo de parada. (Después de 36 horas de parada, se necesitan de 1 a 2 horas de precalentamiento.)</p> <p>La eficiencia de eliminación es algo inferior a la del sistema de 3 lechos (véase a continuación), por las emisiones durante los cambios de dirección del gas residual. Cuando se aplican los límites de emisión a final de línea (end of pipe) expresados en mg C/m<sup>3</sup> promediados para un período breve de tiempo, las emisiones durante los cambios de dirección de la corriente del gas residual pueden ocasionar una concentración de salida que exceda, en promedio, los valores límite si la concentración de entrada es superior a unos 3 g/m<sup>3</sup>.</p> <p>El regenerador se bloquea rápidamente con el polvo. Es posible operar con una concentración de polvo baja, pero los lechos regenerativos necesitan una estructura distinta: de empaquetadura en forma de panel en vez de soporte, lo que tiene un coste y una eficiencia distintos.</p>	<p>Apropiado específicamente para operaciones continuas o semicontinuas en las que las concentraciones de disolvente en los gases residuales son la mayoría de las veces superiores a la concentración autotérmica, y no varían significativamente</p>

Técnica de final de línea (end of pipe) y descripción	Condiciones de aplicabilidad	Aplicabilidad:
<p><b>Oxidación regenerativa: 3 lechos</b> En principio, igual que el sistema de 2 lechos. El tercer lecho sirve para evitar la emisión de aire cargado de disolvente durante los cambios de dirección del flujo de los gases residuales.</p>	<p>(Relativo al sistema de 2 lechos). La inversión es un 25 % superior a la del sistema de 2 lechos. Menores emisiones. Mayor coste de precalentamiento. Un 10 % de mayor consumo eléctrico, por el ventilador más grande para el purgado. La eficiencia de eliminación es algo superior a la del sistema de 2 lechos, porque se evitan las emisiones durante los cambios de dirección de la corriente del gas residual. Es posible la combustión en línea para eliminar partículas pegajosas.</p>	<p>(Relativo al sistema de 2 lechos) Lo más apropiado para concentraciones entre 1 – 12 g/m<sup>3</sup>, en especial si hay variación en la concentración durante el tiempo de producción. Lo más apropiado en grandes operaciones continuas cuando las concentraciones de disolvente en los gases residuales están muy por encima de la concentración autotérmica. Cuando la reducción de las emisiones resultantes compensa la inversión adicional y los costes operativos.</p>
<p><b>Otras técnicas de oxidación</b> (No incluidas en los cálculos sobre la eficiencia de la eliminación)</p>		
<p><b>Calentador de proceso</b> Los gases residuales a ser tratados se envían a un calentador existente (por ej., una caldera) así como aire de combustión y combustible complementario.</p>	<p>Debe haber un calentador apropiado, en operación y con capacidad para recibir todos los gases residuales en el momento en que se produzcan.</p>	
<p><b>Oxidación térmica sin llama</b> Oxidante de lecho compacto en el que el frente de combustión se mantiene en una posición predeterminada en la empaquetadura de cerámica.</p>	<p>Sistema intermedio entre oxidante térmico y regenerativo. Bajo requerimiento de combustible en funcionamiento mínimo. Temperatura de combustión relativamente baja (800 – 850 °C). Sensible a la presencia de polvos.</p>	
<p><b>Oxidación regenerativa de un solo lecho</b> La dirección del flujo de gas residual se alterna respecto a un solo lecho, en lugar de dos o tres. <b>Adsorción (en un sólido)</b></p>	<p>Sistemas de baja capacidad general.</p>	



<p><b>Adsorción regenerativa con carbón</b>          Los gases residuales a baja temperatura son conducidos por un lecho de carbón activo. El disolvente es adsorbido en el carbón activo. Cuando el carbón se satura, el flujo de gas residual se lleva a un segundo lecho de carbón. Mientras, el lecho saturado es desorbido por calentamiento. El calor libera los disolventes del carbón en concentración tan alta que permite su condensación.</p>	<p>La desorción debe efectuarse en una atmósfera con poco o ningún contenido de oxígeno. Puede usarse vapor, nitrógeno o aire caliente desprovisto de oxígeno. Después de la condensación del disolvente, pueden requerirse técnicas complejas para poder reutilizar los disolventes recuperados; tales técnicas dependerán del disolvente recuperado.          Algunos ejemplos: En el caso de tolueno y xileno, la desorción se realiza con vapor, y la condensación simple es suficiente. En el caso del acetato de etilo, la desorción se realiza con nitrógeno. Se requiere la deshidratación con cribas moleculares y varios pasos de destilación subsiguientes para eliminar los productos y disolventes secundarios como el ácido acético, las trazas de etanol y los disolventes de baja volatilidad.          Dado que las características de adsorción de los disolventes difieren grandemente, el tamaño de los adsorbedores (y, en consecuencia, no sólo la inversión sino también el consumo de energía y de gas inerte) dependerá en gran medida del tipo de disolvente. (Ejemplos: El tolueno y el xileno requieren adsorbedores relativamente «pequeños»; el etanol necesita un adsorbedor un 25 % mayor que el acetato de etilo.)          Algunos disolventes pueden reaccionar con el carbón activo y ocasionar fuegos. Uno de estos es el MEK, pero hay procedimientos para evitar estas reacciones y recuperar el MEK de manera segura.          Algunos disolventes de baja volatilidad pueden adherirse permanentemente al carbón activo y reducir rápidamente su capacidad de adsorción, motivando el pronto reemplazo del carbón activo.          El carbón activo también adsorbe el agua con gran efectividad, por lo que no son adecuadas para este tratamiento las corrientes de gas residual con altos contenidos de humedad.          La inversión y los costes operativos son considerablemente mayores que con la oxidación; lo que es más evidente si las cantidades de disolvente son inferiores a 1000 toneladas anuales.          Hay alternativas que emplean lechos móviles de carbón, pero no son de uso común. El consumo de energía eléctrica del ventilador principal es mayor que con los oxidantes debido a la mayor resistencia de los lechos de carbón activo. Es necesario un alto nivel de desplazamiento con bajas velocidades del aire, para evitar que el carbón activo se vuele.          La complejidad del equipo requiere de personal técnico especializado.          Las operaciones suelen resultar muy fiables, con muy poco tiempo de inactividad. No obstante, el elevado coste en comparación con la oxidación y con el bajo precio de mercado de los disolventes recuperados hace que los disolventes tengan que ser reutilizados en la misma instalación, para hacer de su recuperación una opción viable. El punto de quiebre entre la oxidación y la recuperación dependerá obviamente del precio del disolvente recuperado y de las técnicas necesarias. Para tolueno y xileno, la recuperación puede resultar más barata que la oxidación, a partir de un consumo de disolvente de 100 t/a. Para acetato de etilo, MEK y etanol, el punto de quiebre con la oxidación se calcula aproximadamente a partir de unas 500 a 1000 toneladas anuales. El procedimiento no funciona con altas concentraciones de polvo inorgánico.</p>	<p>Sólo debe considerarse cuando el disolvente recuperado pueda ser reutilizado en la misma instalación, o pueda venderse a un precio de mercado comparable al de un disolvente «fresco». (La venta de disolventes recuperados no produce más del 50 % de su precio original.)          Cuando el único disolvente empleado es de varios cientos de toneladas de tolueno o xileno, esta técnica puede considerarse seriamente; con otros disolventes, será necesario emplear cantidades anuales superiores para que resulte una opción viable.          Especialmente cuando hay mezclas de varios disolventes distintos, a veces hay que resolver numerosas complicaciones para poder usar esta técnica con éxito. No obstante, existen soluciones técnicas para la mayoría de esos problemas prácticos, pero el resultado final puede ser muy complicado y costoso.</p>
--	--	---



<p><b>Adsorción con polímeros</b> Los gases residuales a baja temperatura son conducidos por un lecho móvil de un polímero especial granulado. El disolvente es adsorbido en el polímero; y el polímero saturado es luego desorbido por la acción del calor. El calor libera los disolventes del polímero en concentración tan alta que permite su condensación.</p>	<p>La desorción se efectúa con aire caliente. Para evitar accidentes, las concentraciones se sitúan por encima del límite de explosión superior. Después de la condensación del disolvente, pueden requerirse técnicas complejas para poder reutilizar los disolventes recuperados; tales técnicas dependerán del disolvente recuperado. Dado que las características de adsorción de los disolventes difieren grandemente, la cantidad de polímero necesaria dependerá en gran medida del tipo de disolvente. Como el polímero es la parte más costosa del equipo (de 10 a 20 veces el coste del carbón activo), esta técnica sólo es apropiada para muy pocos disolventes. No obstante, dado que los polímeros no absorben agua, el sistema puede emplearse con gases residuales de alto contenido de humedad; además, tampoco es necesario deshidratar el disolvente recuperado. El equipo es muy sencillo. Es necesario emplear ventiladores de alto desplazamiento con bajas velocidades del aire, para evitar que el polímero se vuele. Las operaciones resultan muy frías, con muy poco tiempo de inactividad. El procedimiento no funciona con altas concentraciones de polvo inorgánico.</p>	<p>No se conocen ejemplos de aplicaciones útiles en las industrias contempladas por el presente documento.</p>
<p><b>Otras técnicas de adsorción</b> (No incluidas en los cálculos sobre la eficiencia de la eliminación)</p>		
<p><b>Lavado con aceite</b> La eficiencia de eliminación de los COV es relativamente baja. Se usa principalmente para eliminar sustancias inorgánicas u olores.</p>		
<p><b>Absorción fría</b> Lavado con un absorbente refrigerado. Combina absorción con condensación.</p>		
<p><b>Lavado con agua</b> Existen varios tipos. Los gases residuales son conducidos a través de una cortina de agua o nebulización. Especialmente apropiado para eliminar gotas y polvos. Es necesario el tratamiento de las aguas residuales.</p>		<p>COV solubles en agua.</p>
<p><b>Condensación</b></p>		
<p><b>Condensación a temperatura ambiente, sin secador de gas inerte</b> (No incluido en los cálculos sobre la eficiencia de la eliminación) Se enfrían los gases residuales a una temperatura por encima del punto de congelación; con lo que se condensan los disolventes de baja volatilidad. No obstante, los disolventes de alta volatilidad no se condensan de manera eficiente.</p>	<p>El equipo es muy sencillo, y poco costoso. No se dispone de información sobre costes operativos.</p>	<p>No se conocen ejemplos de aplicaciones útiles en las industrias contempladas por el presente documento.</p>

<p><b>Condensación con secador de gas inerte</b> En un sistema cerrado de secado con gas inerte (principalmente nitrógeno), la concentración del disolvente puede llegar a alcanzar varios cientos de gramos por m<sup>3</sup>. El gas inerte es conducido a través de un condensador, donde una parte de los disolventes se condensa a temperatura ambiental aproximadamente. El gas inerte con el contenido de disolvente reducido es devuelto al secador. El condensador suele enfriarse con el nitrógeno líquido que se usa también para colmar el sistema de secado.</p>	<p>Estos secadores son obviamente más costosos que los secadores tradicionales. Los costes operativos dependen en gran medida de la cantidad de nitrógeno empleada. El nitrógeno se usa principalmente cuando hay que abrir los secadores, por ejemplo al cambiar de tareas. Cuando se usan mezclas de disolventes, pueden requerirse técnicas complejas para poder reutilizar los disolventes recuperados. Como el secador debe estar muy bien cerrado, la técnica sólo puede usarse para secar sustratos delgados y uniformes, que puedan conducirse por el secador sin fugas importantes ni en la entrada ni en la salida.</p>	<p>La técnica sólo es aplicable si no hay necesidad de abrir el secador durante varios días seguidos.</p>
<p><b>Otras técnicas de condensación</b> (No incluidas en los cálculos sobre la eficiencia de la eliminación)</p>		
<p><b>Condensación por refrigeración:</b> El gas residual se enfría a una temperatura por debajo de 0 °C. Se produce congelación, por lo que es necesario descongelar con regularidad. Para este fin, hay generalmente dos condensadores; un paso de condensación por encima de los 0 °C aguas arriba reduce el contenido de agua del gas residual.</p>	<p>Los costes operativos son elevados, y se incrementan si se necesita una temperatura de condensación más baja.</p>	<p>Principalmente para el reciclaje de disolventes de alto costo. Flujos de aire bajos y de alta concentración.</p>
<p><b>Condensación criogénica:</b> Condensación a muy baja temperatura, usualmente con nitrógeno líquido.</p>		<p>Principalmente para el reciclaje de disolventes de alto costo. Flujos de aire bajos y de alta concentración.</p>
<p><b>Biológico</b> <b>Tratamiento biológico</b> (No incluido en los cálculos sobre la eficiencia de la eliminación) El gas residual se conduce a través de un lecho de materia orgánica en el que los COV son adsorbidos y destruidos (metabolizados) por bacterias.</p>	<p>El equipo es sencillo y poco costoso, pero necesita mucho espacio para tratar flujos de aire grandes. Las bacterias mueren fácilmente al cambiarse la composición del gas residual o por falta de alimentación durante los periodos de descanso. Esto afecta la eficiencia del filtro. No se dispone de información sobre costes operativos.</p>	<p>Corrientes de gas residual con baja concentración. Componentes biodegradables y preferiblemente solubles en agua. Problemas de olores.</p>

**Tabla 24.14: Técnicas de disminución de gases residuales**

### **Eficiencia en la eliminación**

Las tablas 24.16 y 24.17 a continuación proporcionan la eficiencia en la eliminación que tienen las técnicas de oxidación y de recuperación de disolvente con carbón activo. Respecto a otras técnicas, no se dispone de datos suficientes para elaborar tablas similares.

La eficiencia en la eliminación depende de:

- el contenido de carbono de la molécula de disolvente,
- el valor promedio de la concentración de entrada,
- el valor promedio de la concentración de salida,
- la temperatura de operación (ver nota técnica, a continuación).

Las áreas sombreadas de las tablas señalan el rango de eficiencia en la eliminación que puede esperarse tanto de la oxidación como de la recuperación de disolvente.

Las partes inferiores de las áreas corresponden a las concentraciones de entrada más bajas.

Las concentraciones de disolvente que se obtienen en los gases residuales son ligeramente superiores en el caso de la recuperación del disolvente que para la oxidación; es decir, que su eficiencia de eliminación es ligeramente inferior.

### **Eficiencia de la oxidación**

La eficiencia del proceso de oxidación de COV depende de tres parámetros:

- a) Turbulencia: El movimiento completo y el mezclado de los gases residuales en la cámara de combustión.
- b) Tiempo: El tiempo mínimo de permanencia de los gases residuales en la cámara de combustión (típicamente 1 segundo).
- c) Temperatura: La temperatura de operación de la cámara de combustión (típicamente entre 720 y 850 °C).

Los puntos (a) y (b) son parámetros que vienen dados por el diseño del fabricante. El punto (c) (temperatura del quemador) es el único parámetro que puede ser ajustado por el operario. Nótese, sin embargo, que el intento de incrementar la eficiencia de eliminación de los COV elevando las temperaturas de operación, ocasionará una mayor demanda energética, así como mayores niveles de NO<sub>x</sub>.

### **Polvos inorgánicos**

Las técnicas son sensibles a los polvos inorgánicos en grado diverso: algunas en gran medida, mientras que otras lo son menos o pueden ser adaptadas. La presencia de polvos inorgánicos puede afectar a la eficiencia de la técnica empleada así como al rendimiento del gas (mayor resistencia al flujo de aire) y la frecuencia del mantenimiento; por lo que la adaptación para gases residuales con contenido de polvo inorgánico puede repercutir sobre los costes operativos y de capital.

### **Cálculos:**

La eficiencia de la eliminación es el 100 % menos el porcentaje de carbono remanente después de la operación del equipo de disminución. El porcentaje de carbono remanente se calcula dividiendo la concentración de salida promediada a lo largo de 24 horas entre la concentración de entrada promediada durante las 24 horas. Para el cálculo, la concentración de entrada se expresa en g/m<sup>3</sup> de disolvente multiplicado por el porcentaje de contenido de carbono del disolvente; la concentración de salida se expresa en mg de carbono por m<sup>3</sup>.

Las concentraciones de salida promediadas durante 24 horas se basan en la experiencia de instalaciones actualmente sujetas a valores límites de emisión a final de línea (end of pipe). Debe observarse que, para asegurar el cumplimiento de la normativa, el promedio de las

concentraciones de salida durante 24 horas es siempre inferior a dichos valores límite de emisión a final de línea (end of pipe).

Nótese también que la concentración real de las emisiones a fin de línea puede variar ampliamente durante el día, dependiendo de las circunstancias de producción en la instalación.

### Contenido de carbono

El contenido de carbono de un disolvente puede determinarse mediante una fórmula química. Por razones de simplicidad, la tabla 24.15 proporciona cuatro categorías para ser utilizadas en las tablas 24.16 y 24.17.

Grupo de disolvente	Promedio contenido de carbono (%)	Grupos químicos de disolventes
Grupo 1	55,0 %	Alcoholes, glicoles-éteres, glicol, éteres-ésteres,
Grupo 2	65,0 %	Ésteres, éteres, cetonas
Grupo 3	85 %	Hidrocarburos
Grupo 4. Contenido de carbono excepcionalmente bajo en comparación con otros compuestos del grupo	37,5 %	Metanol
	48,6 %	acetato de metilo

**Tabla 24.15: Grupos químicos de disolventes comunes y su contenido de carbono**

### Eficiencia de eliminación y MTD (mejores técnicas disponibles)

Las tablas 24.16 y 24.17 proporcionan información sobre los márgenes de eficiencia en la eliminación que tienen las técnicas de oxidación y de recuperación de disolvente (por adsorción con carbón activo). Estas tablas NO implican que el cumplimiento con cada uno de los valores especificados dentro de los márgenes de variación deba ser considerado MTD.

Los valores de emisión que se obtienen con la aplicación de las MTD se dan en los apartados específicos de la industria que aparecen en el capítulo 21 de este documento. Estos rangos de emisión asociados con las MTD se aplican siempre a los valores totales de las emisiones a final de línea (end of pipe) y las emisiones fugitivas.

Cuando el rango de emisión correspondiente a las MTD es, por ejemplo, del 10 % del consumo de disolvente, y las emisiones fugitivas aportan el 5 % del consumo de disolvente, la eficiencia de eliminación del equipo de disminución debe estar sobre el 95 %.

El equipo de disminución deberá escogerse, obviamente, de tal modo que reduzca las emisiones en cantidad suficiente para estar dentro del rango de emisión señalado por las MTD, y aún quede margen para inevitables emisiones fugitivas.

### Eficiencia de eliminación y valores límite de emisión a final de línea (end of pipe)

La Directiva sobre Emisiones de Disolventes y otras normativas nacionales similares pueden señalar valores límite para las emisiones a final de línea. Tales valores pueden ser diferentes para diferentes industrias. El hecho de que los valores de eficiencia de eliminación estén dentro de los márgenes de las áreas inferiores de las tablas 24.16 y 24.17, no indica necesariamente que se esté cumpliendo con dichos valores límite de emisión. De hecho, el cumplimiento con algunos valores límite de emisión particularmente bajos puede exigir una eficiencia de eliminación mayor que los valores más altos de las tablas; tal puede ser el caso, por ejemplo, con disolventes como los mencionados en el artículo 5.6 de la Directiva sobre Emisiones de Disolventes (agentes cancerígenos, mutagénicos o tóxicos para la reproducción).

Oxidación	Eficiencia en la eliminación	75,0 %	80,0 %	85,0 %	90,0 %	92,5 %	95,0 %	97,5 %	99,0 %	99,5 %	99,9 %
<b>Disolventes Grupo 1</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>										
Concentración de entrada	0,5 – 1,0 g disolvente/m <sup>3</sup>										
	1,0 – 2,0										
	2,0 – 6,0										
	6,0 – 12,0										
<b>Disolventes Grupo 2</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>	75,0 %	80,0 %	85,0 %	90,0 %	92,5 %	95,0 %	97,5 %	99,0 %	99,5 %	99,9 %
Concentración de entrada	0,5 – 1,0 g disolvente/m <sup>3</sup>										
	1,0 – 2,0										
	2,0 – 6,0										
	6,0 – 12,0										
<b>Disolventes Grupo 3</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>	75,0 %	80,0 %	85,0 %	90,0 %	92,5 %	95,0 %	97,5 %	99,0 %	99,5 %	99,9 %
Concentración de entrada	0,5 – 1,0 g disolvente/m <sup>3</sup>										
	1,0 – 2,0										
	2,0 – 6,0										
	6,0 – 12,0										
<b>Metanol</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>	75,0 %	80,0 %	85,0 %	90,0 %	92,5 %	95,0 %	97,5 %	99,0 %	99,5 %	99,9 %
Concentración de entrada	0,5 – 1,0 g disolvente/m <sup>3</sup>										
	1,0 – 2,0										
	2,0 – 6,0										
	6,0 – 12,0										
<b>Acetato de metilo</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>	75,0 %	80,0 %	85,0 %	90,0 %	92,5 %	95,0 %	97,5 %	99,0 %	99,5 %	99,9 %
Concentración de entrada	0,5 – 1,0 g disolvente/m <sup>3</sup>										
	1,0 – 2,0										
	2,0 – 6,0										
	6,0 – 12,0										

Tabla 24.16: Eficiencia de eliminación de las técnicas por oxidación

Recuperación por carbón activo	Eficiencia en la eliminación	75,0 %	80,0 %	85,0 %	90,0 %	92,5 %	95,0 %	97,5 %	99,0 %	99,5 %	99,9 %
<b>Disolventes Grupo 1</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>										
Concentración de entrada	0,5 – 1,0 g disolvente/m <sup>3</sup>										
	1,0 – 2,0										
	2,0 – 6,0										
	6,0 – 12,0										
<b>Recuperación por carbón activo</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>	<b>75,0 %</b>	<b>80,0 %</b>	<b>85,0 %</b>	<b>90,0 %</b>	<b>92,5 %</b>	<b>95,0 %</b>	<b>97,5 %</b>	<b>99,0 %</b>	<b>99,5 %</b>	<b>99,9 %</b>
<b>Disolventes Grupo 2</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>										
Concentración de entrada	0,5 – 1,0 g disolvente/m <sup>3</sup>										
	1,0 – 2,0										
	2,0 – 6,0										
	6,0 – 12,0										
<b>Recuperación por carbón activo</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>	<b>75,0 %</b>	<b>80,0 %</b>	<b>85,0 %</b>	<b>90,0 %</b>	<b>92,5 %</b>	<b>95,0 %</b>	<b>97,5 %</b>	<b>99,0 %</b>	<b>99,5 %</b>	<b>99,9 %</b>
<b>Disolventes Grupo 3</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>										
Concentración de entrada	0,5 – 1,0 g disolvente/m <sup>3</sup>										
	1,0 – 2,0										
	2,0 – 6,0										
	6,0 – 12,0										
<b>Recuperación por carbón activo</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>	<b>60,0 %</b>	<b>80,0 %</b>	<b>85,0 %</b>	<b>90,0 %</b>	<b>92,5 %</b>	<b>95,0 %</b>	<b>97,5 %</b>	<b>99,0 %</b>	<b>99,5 %</b>	<b>99,9 %</b>
<b>Metanol</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>										
Concentración de entrada	0,5 – 1,0 g disolvente/m <sup>3</sup>										
	1,0 – 2,0										
	2,0 – 6,0										
	6,0 – 12,0										
<b>Recuperación por carbón activo</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>	<b>60,0 %</b>	<b>80,0 %</b>	<b>85,0 %</b>	<b>90,0 %</b>	<b>92,5 %</b>	<b>95,0 %</b>	<b>97,5 %</b>	<b>99,0 %</b>	<b>99,5 %</b>	<b>99,9 %</b>
<b>Acetato de metilo</b>	<b>Eficiencia en la eliminación</b>										
Concentración de entrada	0,5 – 1,0 g disolvente/m <sup>3</sup>										
	1,0 – 2,0										
	2,0 – 6,0										
	6,0 – 12,0										

Tabla 24.17: Eficiencia de eliminación en la recuperación de disolvente por carbón activo