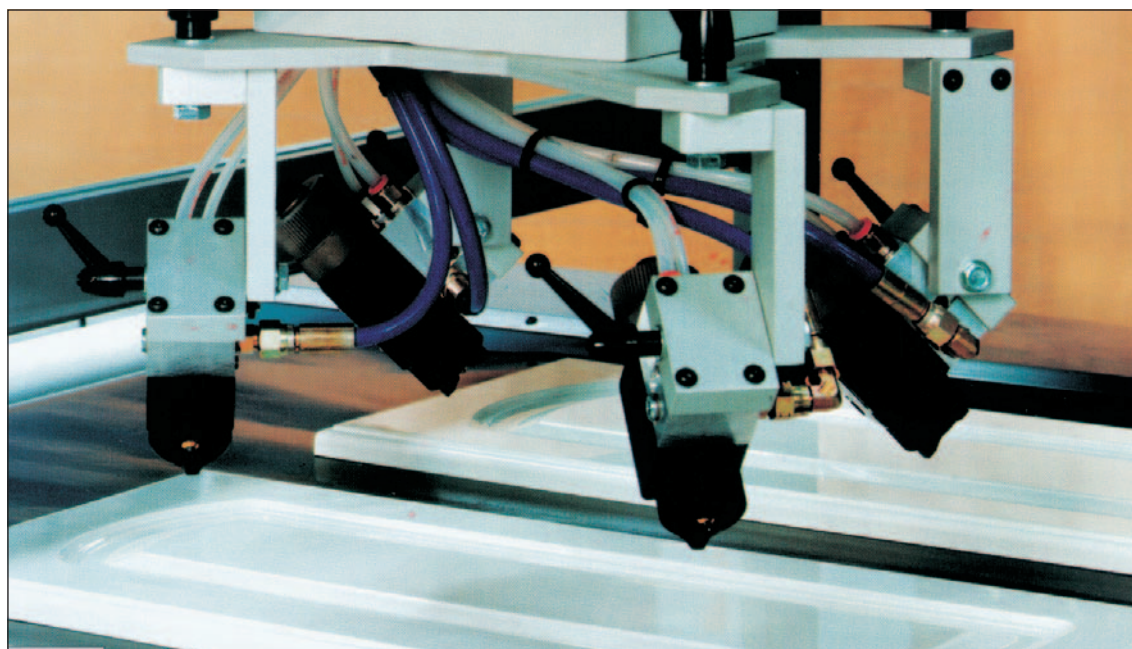


Limitación de emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en el Recubrimiento de la Madera

✍️ **Francisco Pedras Saavedra**
Área de Innovación y Tecnología. CIS-Madera



Fuente: BARBERÁN, S.A.

El 11 de marzo de 1999 se edita la Directiva 13/1999, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones.

Los disolventes orgánicos son empleados asiduamente en el recubrimiento decorativo de la madera: forman parte de la composición química de los productos aplicados, funcionan como diluyentes, y son utilizados en las operaciones de limpieza de los útiles de aplicación.

Responder a las exigencias reglamentarias de emisiones de COV supone un importante reto tecnológico para la industria de la madera. Las alternativas de reducción de los actuales niveles de emisión pasan por adoptar medidas correctoras en la gestión productiva y por la implantación de tecnologías y productos alternativos a los convencionales.

Este artículo pretende reflejar las implicaciones de la normativa en el sector de recubrimiento de la madera, y presentar, de forma resumida, las principales opciones tecnológicas y de gestión susceptibles de ser aplicadas por la industria para alcanzar los niveles de emisión establecidos.

INTRODUCCIÓN

El programa de acción de la Comunidad Europea sobre el medio ambiente preconiza la importancia de la prevención y la reducción de la contaminación atmosférica.

En este sentido, el uso de disolventes orgánicos da lugar a emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV). Estos COV liberados a la atmósfera, contribuyen a la formación del ozono troposférico (ozono en la atmósfera inferior, a nivel del suelo). En grandes cantidades, este ozono empobrece la calidad del aire, resultando nocivo para el medio ambiente y carcinógeno y tóxico para la reproducción y la salud humana. El ozono troposférico es, además, un reconocido gas de efecto invernadero con consecuencias directas sobre el calentamiento del planeta y las perturbaciones climáticas.

Ante esta situación la Comunidad Europea, consciente de la necesidad de realizar una acción preventiva para proteger la salud y el medio ambiente, ha desarrollado una normativa donde se establecen las medidas y limitaciones de las emisiones de COV a aplicar en aquellas actividades donde se superen unos umbrales mínimos de consumo de disolventes.

NORMATIVADEAPLICACIÓN

El 11 de marzo de 1999 se edita en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas la Directiva 13/1999, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones. Dicha normativa tiene como objetivo prevenir y reducir los efectos de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles al medio ambiente, principalmente a la atmósfera, y los riesgos potenciales para la salud humana.

Posteriormente en España, se edita el Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes; que recoge y traspone la normativa comunitaria para su aplicación en el estado español.

PRINCIPALESIMPLICACIONES EN EL SECTOR DE LA MADERA

En el caso del sector de la madera, el ámbito de aplicación de la normativa se refiere a las siguientes actividades:

- **Recubrimiento con adhesivos:** Todo proceso en que se aplique a una superficie un adhesivo
- **Procesos de recubrimientos:** Todo proceso en que se aplique una o varias veces una película continua de recubrimiento sobre superficies de madera.

- **Fabricación de barnices, tintes y adhesivos:** La fabricación de los mencionados productos finales, y de sus productos intermedios cuando se haga en la misma instalación, mediante mezclas de pigmentos, resinas y materiales adhesivos con disolventes orgánicos u otros vehículos, con inclusión de actividades de dispersión y predispersión, ajustes de la viscosidad y del tinte, y operaciones de envasado del producto final en un recipiente.
- **Limpieza de superficies:** Todo proceso (salvo limpieza en seco) donde se utilicen disolventes orgánicos para eliminar la suciedad de las superficies de materiales, incluido el desengrasado.
- **Impregnación de fibras de madera:** Toda actividad que suponga impregnar la madera de conservantes.
- **Laminación de madera y plástico:** Toda actividad de pegado de la madera y plástico para producir laminados.



Además, en la normativa se definen los siguientes conceptos:

- **Compuesto orgánico:** todo compuesto que contenga al menos el elemento carbono y uno o más de los siguientes: hidrógeno, halógenos, oxígeno, azufre, fósforo, silicio o nitrógeno (salvo óxidos de carbono y los carbonatos y bicarbonatos inorgánicos).
- **Disolvente orgánico:** todo compuesto orgánico volátil que se utilice para disolver materias primas, como agente de limpieza, como medio de dispersión, o como agente tensoactivo, plastificante o conservador.

- **Recubrimiento:** todo preparado, incluidos todos los disolventes orgánicos o preparados que contengan disolventes orgánicos necesarios para su debida aplicación, que se utilice para obtener un efecto decorativo, protector o de otro tipo sobre una superficie.
- **Tinta:** todo preparado, incluidos todos los disolventes orgánicos o preparados que contengan disolventes orgánicos necesarios para su debida aplicación, que se utilice en una actividad de imprenta para imprimir texto o imágenes en una superficie.
- **Barniz:** todo recubrimiento transparente.
- **Reutilización de disolventes orgánicos:** toda utilización de disolventes orgánicos recuperados de una instalación con cualquier fin técnico o comercial, incluida su utilización como combustible y excluida su eliminación definitiva como residuos.

En la normativa se considera emisión a todo vertido al medioambiente de compuestos orgánicos volátiles procedentes de una instalación, y diferencia la existencia de:

- **Emisiones fugaces:** toda emisión de compuestos orgánicos volátiles al aire, suelo y agua, así como, los disolventes contenidos en cualesquiera productos. Quedan incluidas las emisiones no capturadas liberadas al ambiente exterior por las ventanas, puertas, respiraderos y aberturas similares.
- **Emisiones de gases residuales:** todo vertido gaseoso final al aire que contenga compuestos orgánicos volátiles u otros contaminantes, procedentes de una chimenea o equipo de disminución de emisión.

La suma de las emisiones fugaces y de los gases residuales constituyen las emisiones totales.

A la hora de establecer los límites de emisión y los plazos de aplicación de las obligaciones y requisitos, la normativa diferencia entre las instalaciones nuevas y las ya existentes, así como pequeñas instalaciones y modificaciones en instalaciones existentes. Para ello define:

- **Instalación:** cualquier unidad técnica fija en donde se desarrolle una o más de las actividades industriales enumeradas en el Real Decreto, así como cualesquiera otras actividades directamente relacionadas con aquéllas que guarden relación de índole técnica con las actividades llevadas a cabo en dicho lugar y puedan tener repercusiones sobre las emisiones y la contaminación.
- **Instalación existente:** aquéllas que a la entrada en vigor del Real Decreto estén en funciona-

miento y cuenten con las autorizaciones, licencias o permisos exigidos por la legislación sectorial aplicable en cada caso o las hayan solicitado, siempre que se pongan en funcionamiento a más tardar un año después de dicha fecha.

- **Pequeña instalación:** toda instalación incluida en la zona de umbrales mínimos establecidos en el anexo II del Real Decreto.

Requisitos

Todas las instalaciones deberán observar el cumplimiento de los valores límites de emisión. Los operadores industriales tienen dos posibilidades para cumplir las reducciones de emisiones exigidas:

- Cumplir los valores límite de emisión en los gases residuales y los valores de emisión fugaz, o bien los valores límite de emisión total, y demás requisitos (indicados en el anexo II de la normativa) establecidos en función del consumo de disolvente y de la actividad que realicen.
- Aplicar un sistema de reducción con el que se obtenga un nivel de emisión equivalente al alcanzado si se aplican los valores límite de emisión.

Obligaciones

En el caso de las instalaciones existentes los titulares deberán adaptarse a lo indicado en el Real Decreto y cumplir las obligaciones y requisitos que en él se establecen relativos a los valores límite de emisión, sistemas de reducción y vertidos de disolventes, antes del día 31 de octubre de 2007. Las instalaciones existentes que apliquen el sistema de reducción de la emisión de disolventes, previsto en el anexo III del Real Decreto, deberán notificarlo al órgano competente antes del 31 de octubre del año 2005.

Supervisión

Las instalaciones con emisiones de COV tienen la obligación de presentar una vez al año a las autoridades competentes los datos necesarios para comprobar el cumplimiento de la normativa.

Los conductos que sean el punto final de vertido y que emitan más de 10 kg/h de carbono orgánico, serán objeto de una supervisión continua para asegurar el cumplimiento de la normativa. En los demás casos, las mediciones serán continuas o periódicas (en las periódicas, al menos, tres lecturas en el ejercicio).

Cumplimiento de los valores límite de emisión

Deberá demostrarse, a satisfacción de la autoridad competente, el cumplimiento de los valores límite de emisión total, gases residuales, valores de emisión fugaz o los requisitos del sistema de reducción.

En el caso de mediciones continuas en las instalaciones se considerará que se cumplen los valores límite de emisión, si ninguna de las medidas obtenidas en 24 horas de funcionamiento supera los valores límite y ninguna de las medidas realizadas en el periodo de 1 hora, supera los valores límite en un factor superior a 1,5.

Umbrales de emisión

En el anexo II de la normativa se indica, para cada una de las actividades, el umbral de consumo de disolvente a partir del cual se deben de aplicar los requerimientos de límite de emisiones.

La norma establece unos valores límite de emisión para cada actividad, definidos como la masa de los compuestos orgánicos volátiles (expresados en parámetros específicos, en la concentración, en el porcentaje de emisión) calculados para condiciones normales de emisión (véase Tabla 1).

En el caso de actividades de recubrimiento de madera, el umbral mínimo de consumo de disolventes es de 15 toneladas al año (calculados a partir de la suma de disolventes de limpieza, más los disolventes utilizados en la formulación de barnices o tintes y cualquier otro disolvente utilizado en el proceso industrial).

Sistemas de reducción

La aplicación de un sistema de reducción tiene como objetivo alcanzar una disminución de las emisiones equivalente a las logradas si se aplican los valores límite de emisión. Así, el operador podrá aplicar cualquier sistema de reducción de emisiones, específicamente concebido para sus instalaciones y peculiaridades de fabricación, siempre y cuando se logre una reducción equivalente de las mismas.

En el diseño del sistema de reducción se tendrá en cuenta:

- Cuando aún se hallen en fase de desarrollo productos alternativos a los productos convencionales con alto contenido en disolventes, el operador dispondrá de un tiempo suplementario para aplicar sus planes de reducción.
- El punto de referencia para las reducciones de emisiones debe corresponder fielmente con las emisiones que se habrían producido en caso de no adoptarse ninguna medida de reducción.

El sistema de reducción debe aplicarse a las instalaciones en que pueda aceptarse y utilizarse un contenido constante de sólidos (todos los materiales presentes en los recubrimientos, tintas, barnices y adhesivos que se solidifican al evaporarse el agua o los compuestos orgánicos volátiles) para definir un punto de referencia en las emisiones.

El operador presentará un plan de reducción basado en el descenso del contenido medio de la entrada de disolventes en su proceso, o logrando una mayor eficacia en el uso de los sólidos. Dicho objetivo se puede lograr aplicando estrategias como: la sustitución de productos convencionales de alto contenido en disolventes por productos de bajo o nulo contenido, el empleo de nuevas tecnologías de aplicación, optimización de los sistemas convencionales, etc.

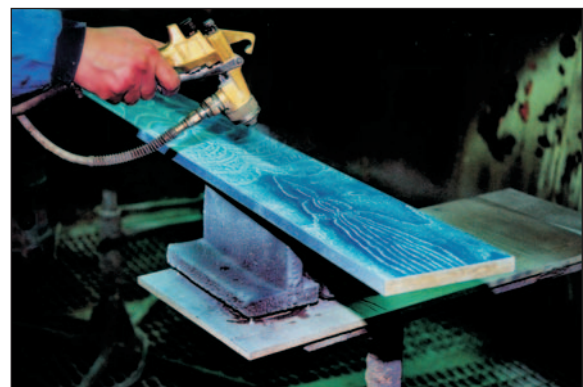
El fin último es lograr una reducción de las emisiones totales procedentes de la instalación en un porcentaje determinado de las emisiones anuales de referencia, denominado emisión objetivo.

El plan de reducción debe realizarse con arreglo al calendario de la tabla 2.

La emisión anual de referencia se calcula de la forma siguiente:

- Se determina la masa total de los sólidos en la cantidad de recubrimiento, tinta, barniz o adhesivo consumida en un año.
- La emisión anual de referencia se calcula multiplicando la masa obtenida en el apartado anterior por un factor establecido por las autoridades en función de la actividad realizada en las instalaciones objeto del plan de reducción. En el caso de la industria de recubrimiento de la madera, el factor de multiplicación se establece con arreglo a lo establecido para los procesos de la tabla 3.
- La emisión objetivo establecida en este sistema de reducción es igual a la emisión anual de referencia multiplicada por un porcentaje igual a:
 - El valor de emisión fugaz + 15 para instalaciones de recubrimientos de madera.
 - El valor de emisión fugaz + 5 para el resto de instalaciones.

Se considera alcanzado el cumplimiento del sistema de reducción si la emisión real de disolvente es inferior o igual a la emisión objetivo.



Actividad (umbral de consumo de disolventes en toneladas/año)	Umbral (umbral de consumo de disolventes en toneladas/año)	Valores límite de emisión de gases residuales (mg C/N m ³)	Valores límite de emisión fugaz (en porcentaje de entrada de disolvente)	Valores límite de emisión total	Disposiciones especiales
Limpieza de superficies (¹) (>1)	1-5 < 5	20 20	15 10		Utilizando compuestos clasificados como carcinógenos, mutágenos o tóxicos para la reproducción
Recubrimiento de madera (>15)	15-25 > 25	100 (¹) 50/75 (²)	25 20		(1) El límite de emisión se aplica a los procesos de recubrimiento y secado llevados a cabo en instalaciones confinadas. (2) El primer valor se aplica a los procesos de secado y el segundo a los de recubrimiento
Impregnación de fibras de madera (>25)				11 kg/m ³	
Laminación de madera y plástico (>5)				30 g/m ²	
Recubrimiento con adhesivos (>5)	15-25 > 25	50 (¹) 50 (¹)	25 20		(1) Si se utilizan técnicas que permiten la reutilización de disolvente recuperado, el límite de emisión será de 150.
Fabricación de preparados de recubrimientos, barnices, tintas y adhesivos (>100)	> 1000	150 150	5 3	5 % de entrada de disolvente 3 % de entrada de disolvente	El límite de emisión fugaz no incluye los disolventes vendidos como parte de un recipiente cerrado

Tabla 1: Valores límite de la emisión para cada actividad, calculados para condiciones normales de emisión.

Emisiones anuales totales permitidas como máximo	Periodo
	Instalaciones existentes
Emisión objetivo x 1,5	Para el 31.10.2005
Emisión objetivo	Para el 31.10.2007

Tabla 2: Calendario del plan de reducción

Proceso	Factor de multiplicación
Impresión por rotograbado; impresión por flexo grafía; laminación como parte de una actividad de impresión; barnizado como parte de una actividad de impresión, recubrimiento de madera; recubrimiento de tejidos; película de fibras o de papel; recubrimiento con adhesivos.	4

Tabla 3: Factor de multiplicación establecido en función del proceso.

Proceso	Gramaje aplicado (g/m ²)	Contenido en sólidos (g/m ²)	Contenido en disolvente (g/m ²)
Aplicar un fondo nitrocelulósico con pistola	110	27,5	82,5
Aplicar un fondo ácido con pistola	110	44	66
Aplicar un fondo base agua con pistola	110	36,3	5,5
Aplicar un tinte en chapa con pistola	44	0,7	43,3
Aplicar un producto de curado UV acrílico con rodillo	6	6	-

Tabla 4: Contenido en sólidos y en disolventes de algunos procesos de aplicación del recubrimiento.

REDUCCION DEL EMPLEO DE DISOLVENTES EN LA INDUSTRIA DE RECUBRIMIENTOS DE MADERA

Los disolventes orgánicos son empleados asiduamente en la industria de recubrimientos decorativos de la madera: forman parte de la composición química de la mayoría de los productos aplicados (barnices, pinturas, lacas, etc.), funcionan como diluyentes reduciendo el coste y la viscosidad del producto, y son ampliamente utilizados para la limpieza de los útiles de aplicación.

La normativa vigente exige una reducción de la emisión de los COV, lo cual implica que las empresas tendran que limitar el consumo de los disolventes orgánicos. La reducción en el consumo de disolvente, además de cumplir la normativa medioambiental y evitar las sanciones establecidas, proporcionará otros beneficios, no menos desdeñables, como: la reducción en los costes de producción por litro de recubrimiento aplicado, un aumento de la competitividad del proceso de fabricación, la disminución en los costes de gestión y eliminación de residuos peligrosos, etc. Además, puede representar una ventaja competitiva en los mercados con una mayor sensibilidad medioambiental.

La reducción del uso de los disolventes orgánicos pasa por establecer un método de trabajo sistemático, donde inicialmente se cuantifique e identifique el consumo de disolventes en la instalación. De esta forma, se obtiene la información necesaria para poder establecer estrategias de actuación posteriores.

La primera acción consiste en la implantación de un inventario de disolventes. En este inventario se registra e identifica el tipo y volumen de los productos de recubrimiento consumidos anualmente (fondo, tinte, barniz, disolvente de limpieza, etc.). Sobre este volumen, se determina la cantidad de disolvente, tanto en estado puro como del que forma parte de la composición química de los productos, obteniendo el consumo total de disolvente de la empresa.

Las múltiples variables que influyen en un proceso de aplicación de recubrimiento (sustrato, producto, tipo de recubrimiento, sistema de aplicación, sistemas de curado, etc.) hacen que algunas veces no sea fácil establecer una estrategia global de disminución del consumo. En estas situaciones, es necesario identificar las tareas donde se consume el disolvente y abordar su reducción donde alcance los valores más elevados.

En la tabla 4 se muestran los contenidos en sólidos y en disolventes de algunos procesos de aplicación de recubrimiento.

Una vez identificado y cuantificado el consumo de disolventes en la explotación, será necesario analizar las distintas vías y estrategias de producción

de la empresa para reducir dicho consumo:

- Optimización de los procesos de trabajo y reducción del consumo de materias primas.
- Sustituir los productos convencionales con un alto contenido en disolventes por productos con bajo contenido.
- Mejora de los métodos de aplicación de productos de recubrimiento.

Optimización de los procesos

La gestión adecuada de los procesos y tareas donde se empleen productos de recubrimiento con disolventes orgánicos ayudará a controlar su consumo y limitar la cantidad de emisiones de COV.

La implantación de un código de buenas prácticas en el manejo y empleo de los disolventes es una estrategia fácilmente abordable por la mayoría de las empresas, proporcionando resultados a corto plazo sin suponer un coste excesivo. Este código de buenas prácticas se sintetiza en los siguientes puntos:

Tamaño de los botes

La mayoría de las empresas adquiere los productos de recubrimiento en botes de 25 litros, debido a la facilidad con que se manejan, y su adecuación para el volumen con que trabajan. La utilización de recipientes con capacidades mayores, comprendidas entre los 200 y 1.000 litros, ayudará a evitar las pérdidas derivadas de la presencia de remanentes de producto, que se producen al acabar los botes de 25 litros, y a minimizar los costes de la gestión de los envases y embalajes de la empresa.

Almacenaje

Es preferible limitar la cantidad de producto almacenado para evitar problemas de espacio, de seguridad y de pérdidas debidas a la evaporación de los disolventes.

También es necesario tener en cuenta, las condiciones de temperatura que se precisan para mantener los productos en condiciones óptimas de aplicación. En general, los productos fríos presentan un aumento de su viscosidad, lo que hace necesario tener que añadir disolvente para adecuarla en el momento de la aplicación. Un acondicionamiento de los productos a una mayor temperatura produce una disminución de su viscosidad, evitando tener que añadir disolventes.

Estas condiciones son más críticas en el caso de los productos en base al agua o en productos con alto contenido en sólidos. En los productos en base agua es necesario evitar la exposición a temperaturas bajas, dado el riesgo de congelación que presentan. En los productos con un alto contenido en sólidos las bajas temperaturas incrementan su viscosidad,



provocando problemas de aplicación y de velocidad de curado.

Una adecuada rotación de stocks, en la cual los contenedores se dispensen en el momento de su utilización, redundará en mantener las condiciones óptimas de aplicación y evitará la caducidad de los productos.

Empleo como diluyentes

Los disolventes son usados ampliamente como diluyentes para reducir la viscosidad de los productos, mejorando su atomización y favoreciendo su aplicación. Esta característica provoca, sobre todo en las aplicaciones con sistemas manuales, que los operadores abusen de su utilización, generando un aumento del consumo de disolvente innecesario.

Para evitar el uso excesivo de los disolventes, es recomendable establecer un manejo adecuado de los productos, donde se eviten las situaciones donde se favorezca el aumento de la viscosidad.

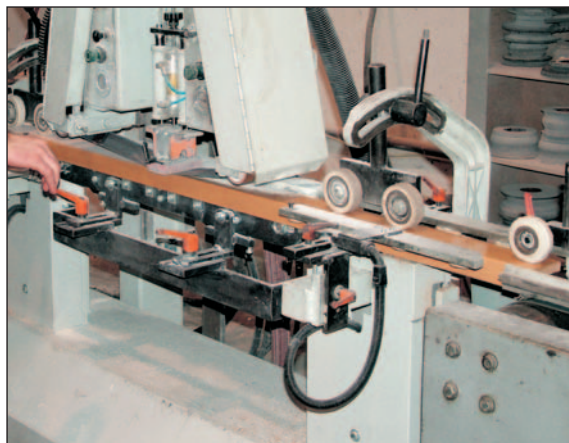
- Mantener cubiertos los botes una vez abiertos evita la evaporación del disolvente y el aumento de viscosidad del producto.
- Los productos se deben almacenar y aplicar en las condiciones de temperatura adecuadas. En este sentido, puede ser recomendable el acondicionamiento del local de aplicación o la utilización de sistemas de calentamiento del producto en el momento de su aplicación.
- La mezcla de sobrantes de producto usado en una jornada de producción con un producto nuevo puede incrementar la viscosidad del producto resultante, teniendo que añadir disolvente para modificarla. Una adecuada programación

del consumo por jornada de trabajo ayudará a reducir la cantidad de sobrantes. En todo caso, no se recomienda sobrepasar las dos horas desde que el producto se ha utilizado para mezclarlo con uno nuevo.

Preparación de la superficie

La obtención de una superficie de aplicación correctamente procesada, reduce la cantidad de producto necesaria para obtener un acabado decorativo satisfactorio.

La aplicación de una secuencia de lijado adecuada, partiendo de lijas de grano basto y terminado con lijas de grano fino, proporciona una superficie con un acabado liso y homogéneo. Prescindir de la secuencia de lijado y emplear directamente lijas de grano fino produce un mal corte y el aplastamiento de las fibras de madera, creando una costra superficial que impide la penetración del recubrimiento y dificulta su adhesión al sustrato.



Limpieza

La utilización de disolventes para la limpieza de los equipos y útiles de aplicación representa un importante porcentaje del consumo total del disolvente que entra en la instalación.

Como recomendaciones:

- En los sistemas de aplicación por rodillo no es necesario realizar una limpieza diaria de las instalaciones, es suficiente realizar una limpieza semanal.
- Si se introducen los disolventes de limpieza en las líneas de conducción de los sistemas de aplicación con pistola, estos deben de recogerse en un recipiente para su posterior reutilización, y no disparar contra las cortinas y filtros destinados al trabajo diario.
- Los disolventes muy sucios (con un contenido de sólidos superior a un 15%) pueden ser empleados en la realización de una prelimpieza inicial de los equipos, disminuyendo así la cantidad de disolvente utilizado.
- Muchos de los disolventes utilizados habitualmente como acetona y tolueno presentan unos puntos de ebullición bajos (56° C en el caso de la acetona) que facilitan su evaporación en condiciones ambientales normales. La utilización de disolventes con un punto de ebullición más alto, como el butil acetato (165° C) evitará las pérdidas por evaporación.
- Reemplazar los solventes utilizados comúnmente por nuevos productos alternativos. Es el caso de los productos de limpieza basados en los residuos producidos durante la fabricación de los zumos de cítricos (D-Limonene), que presentan unos buenos resultados y no requieren tantas medidas de seguridad en su manejo.
- Se debe de implantar un sistema de reutilización y de gestión de los disolventes de limpieza, donde se identifique y almacene el disolvente utilizado para su posterior envío a instalaciones autorizadas donde se realice su limpieza y regeneración.
- Finalmente, la utilización de productos en base al agua no requiere la utilización de disolventes para su limpieza. En este caso, la limpieza se realiza con agua.

La utilización de destiladores para disolventes permite la reutilización del disolvente contaminado. Estos equipos utilizan el principio de la destilación,



mediante la cual se provoca la ebullición del disolvente contaminado. La posterior condensación de los vapores generados proporciona un disolvente regenerado y apto para su utilización.

Productos alternativos

Una de las alternativas para minimizar las emisiones de componentes volátiles incide directamente en el tipo de producto que se aplica y su contenido en disolvente.

La composición química de la mayoría de los productos de acabados (barnices, pinturas, lacas, tintes, etc.) que actualmente consume la industria de transformación de la madera incorpora disolventes orgánicos. Con estos productos no se consigue cumplir con las condiciones establecidas en la normativa de emisión, por lo que la industria de transformación deberá buscar metodologías de trabajo, sistemas y productos alternativos que permitan reducir las emisiones a la atmósfera.

La sustitución de los productos tradicionalmente aplicados (Tabla 5), con altos

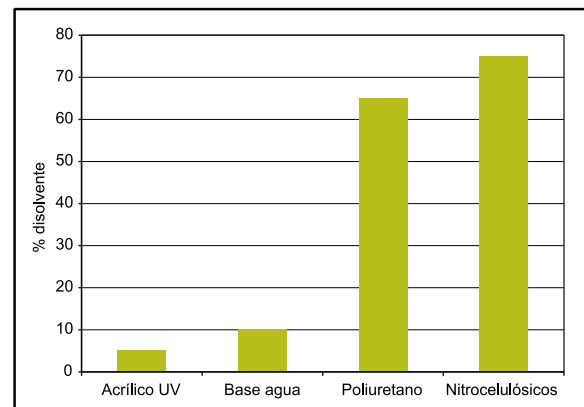


Gráfico 1: Porcentaje de contenido en disolvente de los principales tipos de recubrimiento.

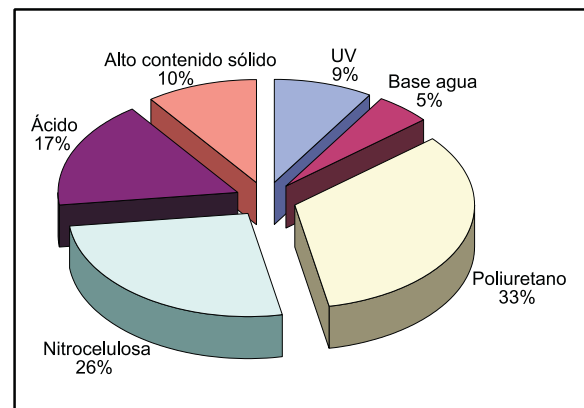


Gráfico 2.: Cuota de mercado de productos de recubrimiento en Europa Occidental.

Tipo de producto	Composición típica			Ventajas	Inconvenientes
	Disolventes (%)	Sólidos (%)	COV (g/l)		
Nitrocelulósicos	75	25	690	Secado rápido. Fácil de aplicar. Excelente acabado. Precio	Elevado contenido en volátiles. Inflamable. Bajas propiedades mecánicas y químicas
Ácido	60	40	570	Excelentes propiedades mecánicas y químicas	Limitado "pot life". Tiempos de secado largos. Inflamable
Poliuretánicos	60-70	30-40	570	Excelente resistencia al agua. Sin olores residuales	Precio. Inflamable. Presencia de isocianatos

Tabla 5: Productos convencionales y su contenido en disolventes orgánicos, características y comportamiento.

Tipo de producto	Composición típica			Ventajas	Inconvenientes
	Disolventes (%)	Sólidos (%)	COV (g/l)		
Productos al agua	0-10	0-30	100	No inflamables. Manipulación sencilla. Fácil limpieza. Disolvente económico	Limpieza sustrato. Secado lento. Bajas resistencias mecánicas. Levantamiento fibra. Precio
Curado UV	0-10	90-100	0-100	No inflamable. Excelentes propiedades mecánicas y químicas. Secado rápido. Buenas propiedades de cubrición	Necesidad de equipo de secado por radiación. Difícil de aplicar en objetos 3D. Precio. Mala adherencia en determinados soportes
Alto contenido en sólidos	0-10	90-100	0-100	Se puede aplicar con equipamiento convencional. Mezcla fácil	No se elimina el solvente completamente. Caducidad

Tabla 6: Principales productos alternativos y su contenido en disolventes orgánicos, características y comportamiento.

Tipo	Tasa transferencia (%)	Ventajas	Inconvenientes
Neumática	30-50	Fáciles de usar. Alta calidad de atomización. Precio y mantenimiento	Baja tasa de transferencia
Airless	55-60	Altos ratios de productividad. Óptima para superficie planas. Baja formación de niebla	Calidad de acabado inferior a neumática. Equipos de alta presión. Atasco de boquillas
Air mix	40-70	Altos ratios de productividad. Excelente para productos con alta viscosidad. Alta calidad de atomización	Equipos de alta presión. Atasco de boquillas. Formación adecuada
HVLP	55-80	Buena tasa de transferencia. Alta calidad de atomización. Buena versatilidad	Problemas de acabado con productos de alto contenido en sólido. Formación adecuada

Tabla 7: Tasas de transferencia de los sistemas de pulverización más utilizados. Ventajas e inconvenientes.

contenidos en disolvente, por productos con un alto contenido en sólidos o con disolventes no orgánicos (productos al agua) o los más novedosos productos en polvo reduce, significativamente en algunos casos, las cantidades de disolventes que entran en la instalación y por tanto las emisiones a la atmósfera.

Los principales productos alternativos y su contenido en disolventes orgánicos, así como algunas de las características y comportamientos se enumeran en la tabla 6.

Actualmente, están experimentando un gran interés los productos en forma de polvo, que funden con el calor y forman una película continua cubriendo el sustrato donde se aplican. Este tipo de producto es muy utilizado en la industria del metal con muy buenos resultados y rendimientos óptimos.

OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE APLICACIÓN

Tasa de transferencia

Otro factor influyente a la hora de controlar los valores de emisión de COV es el método de aplicación de los productos de recubrimiento. En este caso, la característica primordial es la capacidad de los sistemas de aplicación de transferir los productos a la superficie de trabajo, lo que se denomina tasa de transferencia. Este valor nos indica el porcentaje efectivo de producto aplicado en la superficie, sobre la cantidad del producto total aplicado.

Técnicas de aplicación

En la aplicación del material de recubrimiento sobre el sustrato influye la geometría de la pieza a tratar. En una pieza plana (puerta, pavimentos, etc.) el producto se aplica mediante aporte de material por contacto (rodillos) o por gravedad (cortina), en el caso de piezas de geometría compleja y en tres dimensiones (sillas, muebles, mesas, etc.) estos métodos son difícilmente aplicables y es necesario recurrir a métodos de transferencia por medio de pulverización (pistolas).

La aplicación manual de recubrimiento mediante pistola de pulverización es la técnica más utilizada en las pequeñas y medianas empresas, debido a su bajo coste, facilidad de manejo y adaptación a todo tipo de trabajos y productos. Es, sin embargo, una técnica con una baja tasa de transferencia y está muy influenciada por el factor humano obteniendo resultados muy dispares y en general una baja productividad.

Los sistemas de aplicación automatizados reducen ostensiblemente los inconvenientes derivados de la utilización manual, incrementando el control del proceso, la consistencia y calidad de los acabados obtenidos así como la productividad alcanzada.

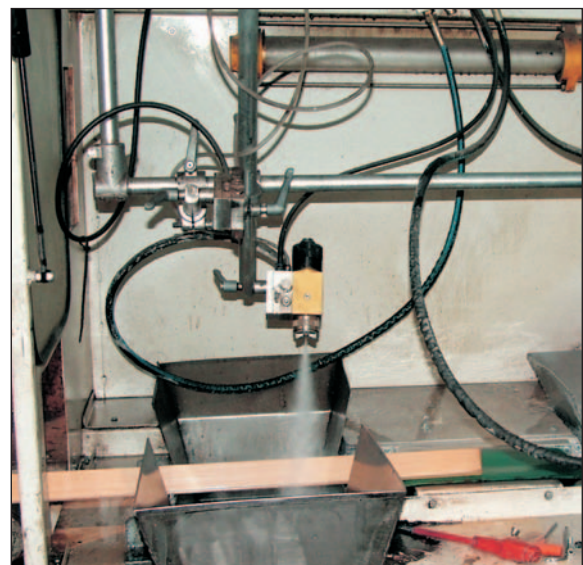


En las aplicaciones automatizadas por rodillo o cortina, además de que los productos que se aplican presentan un bajo contenido en disolventes, la tasa de transferencia llega a alcanzar valores próximos al 100%, con la posibilidad de recuperar el recubrimiento no aplicado.

En los sistemas automáticos con pistola, la utilización de líneas de pulverización se aplica comúnmente en la elaboración de productos planos moldurados, donde el producto circula por una línea móvil pasando por una batería de pistolas fijas que aplican el producto de recubrimiento.

Donde se procesan productos en tres dimensiones, los sistemas robotizados de barnizado son la técnica que mayor versatilidad y mejores resultados ofrece. En este caso, es la pistola de pulverización la que realiza los movimientos necesarios para alcanzar todas las partes del producto.

Estos sistemas de pulverización automáticos se integran, generalmente, en los denominados túneles de



barnizado, donde se reducen considerablemente los tiempos perdidos por manipulación presentes en una aplicación manual.

En estos túneles los productos en tres dimensiones circulan suspendidos de unos ganchos rotativos y conectados a carriles aéreos, pudiendo rotar para facilitar la aplicación del recubrimiento a pistola. Estos productos pueden llegar a circular a una velocidad de hasta 3 metros/minuto alcanzando unos altos niveles de productividad y en un espacio reducido.

Pulverización

Los mayores niveles de emisión de COV se presentan en los sistemas de pulverizado, donde las tasas de transferencia son mucho más bajas y las pérdidas de producto aplicado mayores.

En estos sistemas, la tasa de transferencia viene dada por:

- Tipo de sistema
- Técnica de pulverizado

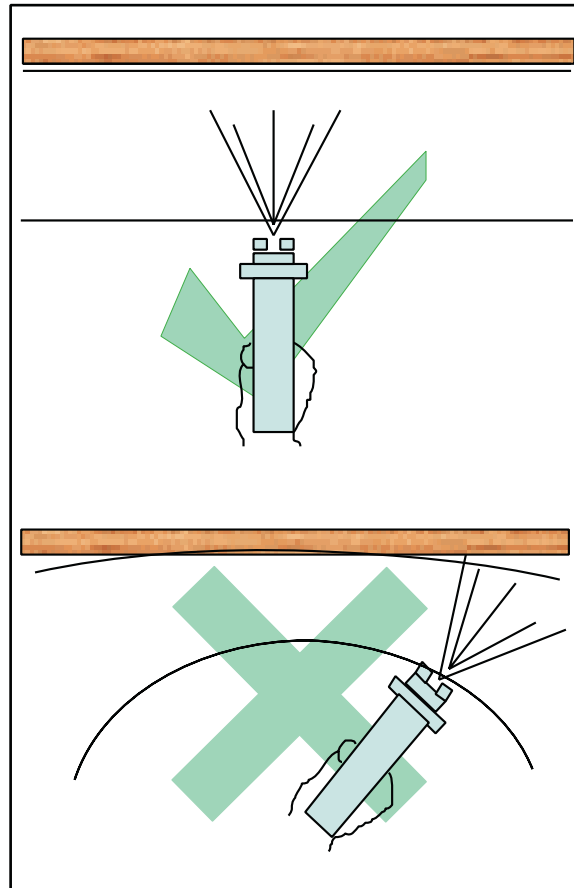
En la tabla 7 se muestran las tasas de transferencia de los sistemas de pulverización más usados, así como unas indicaciones sobre las ventajas y desventajas que presentan.

La sustitución de un sistema convencional de pistola neumática, con una tasa de transferencia del 40%, a un sistema HVLP, con una tasa de transferencia del 70%, disminuye la cantidad de producto consumido para obtener recubrimientos similares. Así, se reduce el disolvente que entra en la instalación de aplicación de forma sustancial, pudiendo reducir el consumo hasta umbrales inferiores a las 15 tn/año establecidos en la normativa de emisiones.

Actualmente, se están desarrollando nuevos métodos de aplicación que mejoran la tasa de transferencia de los sistemas de pulverización convencionales. Es el caso de la instalación de sistemas de calentamiento que aumentan la temperatura de los productos a valores próximos a 40 °C, reduciendo su viscosidad y la necesidad de añadir disolventes. Estas técnicas son particularmente indicadas para su utilización con productos con un alto contenido en sólidos y pueden ser

empleadas con los sistemas de aplicación convencionales.

Otro sistema incipiente en el sector de la madera, ampliamente conocido en el sector del metal, se basa en la creación de un efecto electrostático entre la pieza a tratar y las gotas del producto a aplicar. Es el denominado sistema de pulverización electrostática y consiste en cargar negativamente el producto pulverizado y aplicarlo sobre un sustrato cargado positivamente. El producto pulverizado con carga negativa es atraído hacia la superficie del sustrato cargado positivamente, alcanzando una tasa de transferencia muy alta, al evitar pérdidas de material pulverizado.



Manejo de las pistolas de pulverizado

Los beneficios que proporcionan los sistemas con una alta tasa de transferencia teórica, se reducen significativamente si se usan de forma inadecuada.

Muchas veces se asume que aumentando la presión del aire o del producto aumentaremos el ratio de aplicación y el número de piezas acabadas. Sin embargo, la utilización de presiones superiores a las recomendadas produce un efecto rebote del producto sobre la superficie a tratar, reduciendo la tasa de transferencia,

a la vez que aumenta el coste energético necesario para mantener las altas presiones que se demandan.

Para mantener las condiciones de trabajo dentro de las indicaciones suministradas por el fabricante, y controlar que se cumplan en todo la línea de pulverización, es muy recomendable la colocación de manómetros que indiquen las presiones a que se trabaja en cada punto de la instalación.

Una limpieza regular y la realización de un mantenimiento preventivo son esenciales para asegurar el óptimo funcionamiento y la duración de las instalaciones:

- Chequear las válvulas de presión y las partes eléctricas regularmente.
- Limpiar diariamente las partes de la pistola en contacto con los productos aplicados y en el caso de no utilizarlos por un periodo largo de tiempo protegerlos con una capa de disolvente, para evitar depósitos de producto en las partes más sensibles a la obstrucción.
- Limpiar regularmente los filtros de aire para prevenir el bloqueo del sistema de pulverización.

A la hora de aplicar los productos con pistola es necesario seguir una serie de indicaciones para obtener una tasa de transferencia elevada. Así, mantener el gatillo en funcionamiento cuando se ha terminado o antes de empezar a tratar la superficie, aumenta el consumo de producto de forma innecesaria.

La posición de la pistola debe mantener una distancia constante en todo el recorrido de la pieza, evitando deposiciones irregulares del producto a aplicar.

Sistemas de secado

En el secado de los recubrimientos influye decisivamente la formulación de los productos empleados y las condiciones ambientales en donde se realiza. Un recubrimiento realizado con un producto al agua o con un producto con un alto contenido en sólidos presenta una velocidad de secado menor que empleando un producto convencional con un alto contenido de disolvente.



Un mayor tiempo de secado provoca un aumento de los periodos de almacenado de los productos antes de aplicar una nueva capa de recubrimiento, exponiendo los recubrimientos, todavía húmedos, al polvo y a la suciedad. Además, se incrementan las necesidades de espacio de almacenaje y los problemas derivados de logística y de movilidad de los productos. Estos inconvenientes se agravan en el caso de realizar el secado en condiciones ambientales normales, donde existe el inconveniente de la fluctuación de las condiciones climáticas a lo largo del año, con la consiguiente heterogeneidad en los resultados y la prolongación de los tiempos de secado.

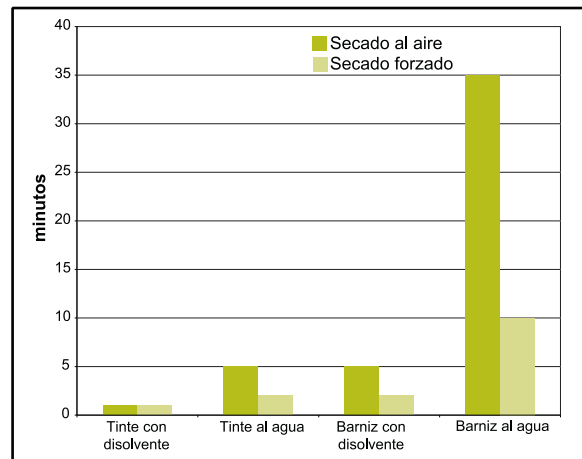


Gráfico 3: Tiempos de secado obtenidos con difentes tecnologías y recubrimientos.

Aplicando sistemas de secado forzado se regulan y controlan las condiciones climáticas a las que se someten los recubrimientos, minimizando las repercusiones de las variaciones climáticas en la calidad obtenida y disminuyendo los tiempos de secado.

El calor aplicado a la película de recubrimiento, puede ser transferido por medio de diferentes sistemas, los más usuales se basan en métodos de:

- **Convección:** Los sistemas de secado aplican aire caliente en contacto con la superficie de los productos de recubrimiento, para aumentar la evaporación del solvente. En este tipo de secaderos es necesario un estricto control en las condiciones de temperatura, con el fin de evitar la presencia de defectos derivados de un secado excesivamente rápido. Unas condiciones de alta temperatura provocan el secado de las capas superficiales del recubrimiento, dando lugar a la formación de un film en capa superficial que impide la evaporación de los líquidos de las capas inferiores, resultando un fraguado deficiente y una baja adhesión del recubrimiento al sustrato.

- **Radiación:** En este caso la energía es generada electromagnéticamente. Cuando la radiación se aplica en la superficie es absorbida y convertida en calor. En este sistema la utilización de la energía es más eficiente presentando una importante reducción de los costes energéticos, además de ser sistemas que requieren poco espacio.

Entre los sistemas de radiación destaca el curado por radiación ultravioleta (UV) donde se emplean productos con muy bajo contenido en disolvente y reactivos a los rayos ultravioletas producidos por lámparas de vapor de mercurio o de galio. Este método permite un endurecimiento rápido de la película de recubrimiento con un bajo coste energético y con una muy baja emisión de COV.

Básicamente, existen tres tipos de productos de recubrimiento de curado UV, que se clasifican en función de la naturaleza de la resina empleada: acrilatos insaturados, poliésteres insaturados y poliésteres acrilato. Además de las resinas, los productos UV contienen un monómero que les proporciona fluidez y fotosensibilizadores que son capaces de descomponerse por la acción de los rayos ultravioleta, provocando la polimerización del producto.

Las principales ventajas de este sistema de curado consisten en: presentar un endurecimiento rápido de las películas de producto (en segundos), proporcionar una dureza muy superior a otro tipo de acabados, alcanzar una alta productividad por metro cua-



drado de superficie tratada, y las emisiones de COV son muy bajas o nulas.

La posibilidad de que las resinas empleadas pueden ser transferidas a un medio acuoso, favoreció un rápido desarrollo de los productos en base agua con curado por radiación UV. El comportamiento de las resinas en el agua es más fluido, lo cual facilita la aplicación por pulverización o cortina, proporciona buenos acabados superficiales y mejora la adhesión al soporte.

El curado con UV se utiliza fundamentalmente, en las aplicaciones de recubrimientos con rodillo sobre superficies planas. Sin embargo, actualmente existe una tendencia a la utilización de este sistema de curado en productos de geometría compleja empleando productos en base agua, aplicados con sistemas de pulverización.

ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE EMISIÓN DE COVs

Responder a las exigencias reglamentarias de emisiones de COV supone un importante reto tecnológico para la industria de recubrimiento de la madera. Las alternativas de reducción de los actuales niveles de emisión pasan por adoptar medidas correctoras en la gestión productiva y por la implantación de tecnologías y productos alternativos a los convencionales. Las posibles opciones para la reducción de emisiones incluyen:

- Modificación de los procesos productivos para aumentar su eficacia y disminuir el consumo de productos de recubrimiento.
- Implantación y formación en los nuevos sistemas de aplicación y revisión de los sistemas de limpieza.
- Sustitución de los actuales productos con altos contenidos en disolventes por productos alternativos en disolvente acuoso, con alto contenido en sólidos, productos para curado ultravioleta o en polvo.
- Instalación de sistemas de eliminación o de tratamiento de las emisiones.

Pero no siempre estas opciones son factibles de realizarse en las instalaciones de recubrimiento, tanto por los costes financieros derivados de las modificaciones necesarias en instalaciones y equipos, como por la propia adecuación de los productos alternativos a los requerimientos de su producción. Así, la instalación de sistemas de curado por ultravioleta resulta una opción muy adecuada para instalaciones donde se recubran objetos planos con un recubrimiento transparente, sin embargo presenta deficiencias importantes en el caso de recubrimiento de objetos de tres dimensiones y con un acabado opaco.

SISTEMA DE REDUCCIÓN

La normativa permite a la empresa de aplicación de recubrimiento presentar un plan de reducción basado en el descenso del contenido medio de la entrada de disolventes en su proceso o logrando una mayor eficacia en el uso de los sólidos. El fin último, es lograr una reducción de las emisiones totales procedentes de la instalación en un porcentaje determinado de las emisiones anuales de referencia, denominado emisión objetivo.

A continuación mostramos un ejemplo práctico de un sistema de reducción de emisiones. Este sistema de reducción se aplica a una empresa de mobiliario con recubrimientos nitrocelulósicos, poliuretánicos y de curado ultravioleta, y además no se realiza reciclado de los disolventes.

En un principio, un inventario del consumo de los productos de recubrimiento y disolventes realizado en la empresa arroja el siguiente computo anual:

Producto	Contenido en sólidos % (información facilitada en la ficha técnica del producto)	Consumo anual productos (T)	Consumo anual de sólidos (T)	Consumo anual de disolventes (T)
Disolventes y diluyentes	0	12	0	12
Poliuretano	35	12	4,2	7,8
Nitrocelulósico	20	8	1,6	6,4
Poliéster UV	95	10	9,5	0,5
Consumo anual:		42	15,3	26,7

La emisión anual de referencia (EAR) se obtiene de la siguiente forma:

1. Se determina la masa total de los sólidos en la cantidad de recubrimiento, tinta o barniz consumida en un año.

En este caso, la cantidad de sólidos consumidos al año alcanza las 15,3 T

2. La masa obtenida en el apartado anterior se multiplica por un factor de mayoración. En el caso de la industria de recubrimiento de la madera, el factor de multiplicación es 4.

En el ejemplo la EAR = 4 x 15,3 T = 61,2 T

La emisión objetivo (EO) establecida en este sistema de reducción es igual a la emisión anual de referencia multiplicada por un porcentaje igual a:

1. El valor de emisión fugaz (EF) + 15 para instalaciones de recubrimientos de madera incluidas en la banda inferior del Umbral de Consumo de Disolvente (15-25 Tn) del anexo II (tabla 1).
2. El valor de emisión fugaz (EF) + 5 para las demás instalaciones.

En este caso, el consumo de disolventes anual (26,7 T) supera el umbral de consumo comprendido entre 15-25 Tn. Por lo tanto, se aplica el porcentaje obtenido de la ecuación 2. Para este Umbral de Consumo de Disolvente, la normativa en su anexo II (tabla 1) indica un valor límite de emisión fugaz (EF) de 20 Tn.

$$EO = EAR \times (EF + 5)/100 = 61,2 \times (20+5)/100 = 15,3 \text{ Tn.}$$

La normativa establece unos plazos para que una instalación existente pueda cumplir las emisiones objetivo:

Plazo	Objetivo	Emisión Objetivo (T)
31/10/2005	EO x 1,5	23,0
31/10/2007	EO	15,3

Los productos alternativos, además de reducir el contenido de emisiones y ayudar a cumplir la normativa, deben de alcanzar prestaciones similares a los que ofrecen los productos con un alto contenido en disolventes y poder mantener las cotas de calidad que exige el mercado. Muchas de las formulaciones ofertadas por los fabricantes de los productos alternativos todavía no alcanzan los resultados de resistencia, apariencia, estética y coste obtenidos con los productos con disolvente orgánico. Estas deficiencias, presentan un importante escollo cuando se compete en sectores de mercado donde existen productos procedentes de países donde la normativa ambiental no es tan estricta, y no restringen el empleo de producto con alta emisiones de COV.

Opciones

La diversidad de empresas existentes y las diferencias productivas, financieras y de mercado, hacen que no exista una opción única para todas las instalaciones, siendo necesario realizar un estudio detallado de cada situación. A modo de resumen, se indican posibles opciones a aplicar y sus principales ventajas e inconvenientes.

Productos con alto contenido en disolvente

Los productos con disolvente orgánico presentan hoy en día, mejores prestaciones, calidad de acabado y resultados estéticos que los productos alternativos. Por eso, muchas empresas pequeñas, con un volumen de consumo de disolventes anual inferior al establecido por la normativa, optarán por seguir aplicando este tipo de producto. En estos casos, es posible reducir las emisiones de COV disminuyendo el consumo de los disolventes en las instalaciones mediante un aumento de la eficiencia de los procesos de aplicación y de limpieza. Otra opción es la utilización de productos con un alto contenido en sólidos (poliuretano, poliésteres, etc.) que ayudarán a disminuir las emisiones de COV y



que no requieren de un cambio sustancial en los sistemas de aplicación.



Productos en base agua

El empleo de productos en base acuosa representa una de las opciones por la que más se está apostando, debido a las ventajas derivadas de la utilización de agua como disolvente. Los productos en base agua presentan contenidos de disolvente orgánico muy bajos, no son inflamables, presentan una baja toxicidad, son productos monocomponentes, fáciles de limpiar y su aplicación no presenta problemas. Sin embargo presentan unas prestaciones, en general, inferiores a los productos convencionales y problemas específicos como: un secado más lento, dificultad para ser aplicados en determinados sustratos y especies de madera, es necesaria la utilización de materiales inoxidables en las líneas de aplicación para evitar corrosiones y, todavía, presenta escasas posibilidades cromáticas.

Los recubrimientos acuosos se presentan como:

- Productos hidrosolubles de secado físico: Demandan unos tiempos de secado más largos que los productos con disolvente orgánico y, en general, proporcionan unas prestaciones técnicas y estéticas inferiores.
- Productos acuosos de polimerización ultravioleta: Secan más rápido y presentan mejores prestaciones que los productos hidrosolubles, pero todavía sin alcanzar las velocidades y resultados obtenidos cuando se utilizan los productos orgánicos para UV.

Hoy en día, los aspectos obtenidos con los productos en base agua no son satisfactorios para los mercados de los países del sur de Europa, donde se emplean especies tropicales o con un poro muy marcado (roble, castaño, etc.) y donde los consumidores prefieren los colores fuertes y con brillo. Por el contrario, los países nórdicos aprecian los acabados con aspecto “lechoso”, sin color o satinados, y los consumidores tienen una mayor sensibilidad medioambiental.

Tecnología de curado ultravioleta

Este tipo de tecnología emplea productos que presentan unas considerables ventajas sobre los productos y técnicas convencionales en cuanto a velocidad de producción e impacto ambiental. Así, presentan unos tiempos de endurecimiento muy cortos, se obtienen recubrimientos de gran calidad con elevadas prestaciones mecánicas y químicas, alta resistencia al amarillamiento, y un contenido de sólidos muy alto con unas bajas emisiones de COV.



En contra, es una tecnología que requiere una fuerte inversión económica, en determinados substratos no ofrecen una buena adherencia, no es adecuado para acabados mate y pigmentado, presenta deficiencias en acabados a poro abierto y, todavía, no es un sistema optimizado para el recubrimiento de productos con formas irregulares y complejas.

Productos en polvo

La tecnología de aplicación de productos en polvo presenta la ventaja de utilizar productos libres de disolvente, con una elevada eficacia y eficiencia en su aplicación y sin problemas de toxicidad e inflamabilidad.

En el sector de la madera maciza todavía es necesario resolver algunos problemas técnicos como el carácter higroscópico de la madera que interfiere con la componente electroestática del producto, y la necesidad de calentar el soporte a temperaturas superiores

a los 100-120° C que hacen que la industria aun no la contemplen como una opción factible a corto plazo. Es en las aplicaciones sobre tableros de fibras donde presenta mejores expectativas, debido a los bajos contenidos de humedad del tablero.

Sistemas de eliminación o de tratamiento

Como última alternativa, se tendrían que aplicar técnicas de eliminación o tratamiento de estas emisiones, con las llamadas “soluciones de final de línea” (tratamientos antes de la emisión de las emisiones). Entre las diferentes alternativas, cabe destacar:

- **Adsorción sobre lecho absorbente:** Se basa en la adsorción que este tipo de compuestos experimenta al pasar a través del carbón activo, eliminándolos e impidiendo su emisión a la atmósfera. Este sistema tiene la ventaja de su fácil instalación en los sistemas de extracción. Su principal inconveniente radica en la saturación del filtro de adsorción siendo necesaria su sustitución periódica para mantener los niveles de efectividad.
- **Procesos térmicos oxidativos:** Se basan en la mineralización completa de los COV's a CO₂ y H₂O. Consiste en la oxidación por incineración en hornos que trabajan a temperaturas superiores a 700 °C. Aunque tienen buenos rendimientos de eliminación, son bastante caros, tanto la instalación como su mantenimiento.
- **Procesos biológicos:** En este caso, son los microorganismos los encargados de biodegradar estos compuestos evitando su emisión a la atmósfera. Consta de un bio-reactor por el que se hacen pasar las emisiones. Los rendimientos de eliminación son bastante buenos pero requieren inversiones elevadas.



CEDRIA®

No deje que el tiempo se refleje en su madera

Acabado y protección para la madera

Calidad garantizada en todos sus productos

Seguridad en la duración de la madera en exteriores

Información técnica completa

Ecología respetuosos al medio ambiente

Al agua

3ABC Lasures

AENOR Registrada EN 14730

ISO 9001

3ABC Lasures. C/ Oeste n.6 F, Pol, Ind. Buvisa 08329 TEIÀ (Barcelona)
Tel. 93 540 60 35 • E-mail: cedria@cedria.com
www.cedria.com

BIBLIOGRAFIA

- ANTONISEE, M.G. 2002. Pinturas en polvo UV para MDF. Barnizado + encolado del mueble 4:8-10.
- DEMARNE, B. 2002. The French Furniture sector and the VOC Directive. Unifa / BD – COST E 18 / 4 avril 2002.
- ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY BEST PRACTICE PROGRAMME. 1998. Good Practice Guide Solvent management in practice: Industry examples. Department of Trade and Industry and Department of the Environment del Reino Unido.
- ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY BEST PRACTICE PROGRAMME. 1998. Good Practice Guide Cost-effective paint and powder coating: Application technology. Department of Trade and Industry and Department of the Environment del Reino Unido.
- ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY BEST PRACTICE PROGRAMME. 1999. Environmental Performance Guide Solvent Use in Wooden Furniture Coating. Department of Trade and Industry and Department of the Environment del Reino Unido.
- ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY BEST PRACTICE PROGRAMME. 1999. Good Practice Guide Reducing solvent use in the furniture industry. Department of Trade and Industry and Department of the Environment del Reino Unido.
- ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY BEST PRACTICE PROGRAMME. 1999. Good Practice Guide Good Housekeeping Measures for Solvents. Department of Trade and Industry and Department of the Environment del Reino Unido.
- ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY BEST PRACTICE PROGRAMME. 1999. Good Practice Guide Reduce Costs by Tracking Solvents. Department of Trade and Industry and Department of the Environment del Reino Unido.
- IGLESIAS, J.M., FORNER, A. 2004. La pulverización electrostática. Barnizado + encolado del mueble 11:34-37.
- LANCHAS, A. 2004. El curado de barnices UV al agua. Barnizado + encolado del mueble 10:8-10.
- ROUX, MARIE-LISE . 2002. Acabados al agua y en polvo: avances significativos. Barnizado + encolado del mueble 4:14-21.
- ROUX, MARIE-LISE. 2004. Réduction des émissions de COV: le secteur de l'ameublement se mobilise. CTBA info 104: 15-20.

PÁGINAS WEB DE REFERENCIA

- www.envirowise.gov.uk/
- fmt.os.kcp.com/databook/
- www.esig.org
- europa.eu.int/comm/environment/air
- www.epa.gov
- www.cage.rti.org

Nota: Agradecemos la colaboración prestada en la realización de este artículo a los técnicos de AIDIMA (Instituto Tecnológico de la Madera, Mueble, Embalaje y Afines), Vicente Pascual Navarro y Francisco Juan Puchades.