



REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS CURADOS CON ULTRAVIOLETA Y HAZ DE ELECTRONES

EPA-456/R-04-003
Julio de 2004

REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS CURADOS CON ULTRAVIOLETA Y HAZ DE ELECTRONES

Preparado por
Clean Air Technology Center (MD-12)
Information Transfer and Program Integration Division
Office of Air Quality Planning and Standards
U.S. Environmental Protection Agency
Research Triangle Park, North Carolina 27711, EE.UU.

RENUNCIA DE RESPONSABILIDAD

Este reporte ha sido revisado por la *Information Transfer and Program Integration Division* (división de transferencia de información e integración de programas) de la *Office of Air Quality Planning and Standards* (oficina de planificación y normas de calidad del aire) de la *U.S. Environmental Protection Agency* (agencia de protección ambiental de EE.UU) y aprobado para su publicación. Esta aprobación no significa que el contenido de este reporte refleje los puntos de vista y las políticas de la *U.S. Environmental Protection Agency*. No debe interpretarse que los nombres comerciales o productos comerciales mencionados constituyan una aprobación o recomendación para el uso. Están disponibles copias de este reporte del *National Technical Information Service* (servicio nacional de información técnica, *U.S. Department of Commerce* (departamento de comercio de EE.UU.), 5285 Port Royal Road, Springfield, Virginia 22161, número de teléfono (800) 553-6847.

PRÓLOGO

El *Clean Air Technology Center (CATC)*, centro de tecnología para el aire limpio) sirve como recurso en todas las áreas de las tecnologías emergentes y existentes de prevención y control de la contaminación del aire, y brinda acceso público a datos e información sobre su uso, eficacia y costo. Asimismo, *CATC* proporcionará asistencia técnica, incluido el acceso a la base de conocimientos de la *EPA*, a agencias del gobierno y a otros terceros, según lo permitan los recursos, relacionada con la factibilidad técnica y económica, operación y mantenimiento de dichas tecnologías.

Acceso público y transferencia de información

Página de bienvenida en *INTERNET* / Red Mundial
<http://www.epa.gov/ttn/catc/>

Comunicaciones

Línea de información de *CATC*: (919) 541-0800 (inglés)
Línea de información de *CATC/CICA*: (919) 541-1800 (español)
FAX: (919) 541-0242
Correo electrónico: catcmail@epamail.epa.gov

Recursos de datos

- ***RACT/BACT/LAER Clearinghouse (RBLC)***
Consultas, visualización y descarga de datos seleccionados sobre
 - Aplicaciones de tecnología específica de origen
 - Requisitos normativos sobre contaminación del aire
- **PRODUCTOS DEL *CATC***
Descarga de reportes técnicos, información sobre costos y software

Programas y centros relacionados

- ***CICA - Centro de Información sobre Contaminación de Aire para la Frontera entre EE.UU. y México***
- ***SBAP - Small Business Assistance Program***, programa de asistencia para empresas pequeñas
- ***International Technology Transfer Center for Global Greenhouse Gases***, centro internacional de transferencia de tecnología para los gases de efecto de invernadero global

RECONOCIMIENTOS

Este boletín técnico fue posible gracias a los esfuerzos diligentes y persistentes de Lyndon Cox, Empleado Ambiental Mayor del *Clean Air Technology Center (CATC)*. Lyndon hizo un trabajo excepcional en identificar fuentes de información, recopilar datos relevantes y redactar este boletín. El *CATC* también agradece los comentarios útiles y oportunos, y la cooperación, de los siguientes revisores expertos:

Dr. Alexander Ross, RADTECH International North America

Paul Almodovar, *Coatings and Consumer Products Group* (grupo de revestimientos y productos del consumidor), *Emission Standards Division* (división de normas sobre emisiones), *Office of Air Quality Planning and Standards* (oficina de planificación y normas de calidad del aire), *Office of Air and Radiation* (oficina de aire y radiación), *U.S. EPA*

Rhea Jones, *Coatings and Consumer Products Group* (grupo de revestimientos y productos del consumidor), *Emission Standards Division* (división de normas sobre emisiones), *Office of Air Quality Planning and Standards* (oficina de planificación y normas de calidad del aire), *Office of Air and Radiation* (oficina de aire y radiación), *U.S. EPA*

Candace Sorrell, *Emissions, Monitoring and Analysis Division* (división de monitoreo y análisis de las emisiones), *Office of Air Quality Planning and Standards* (oficina de planificación y normas de calidad del aire) *Office of Air and Radiation* (oficina de aire y radiación), *U.S. EPA*

Charles Darwin, *Emissions Characterization and Prevention Branch* (rama de caracterización y prevención de las emisiones), *Air Pollution Prevention and Control Division* (división de prevención y control de la contaminación del aire) *National Risk Management Research Laboratory* (laboratorio nacional de investigación sobre administración de riesgos), *Office of Research and Development* (oficina de investigación y desarrollo), *U.S. EPA*

Asimismo, el *CATC* agradece a los individuos, empresas e instituciones que suministraron la información sobre tecnología de curado con **ultravioleta** y **haz de electrones** utilizada para preparar este Boletín Técnico. Los contribuidores se indican en la sección de REFERENCIAS de este boletín.

CONTENIDO

NOTA:

¹ *UV/EB* es *Ultraviolet and Electron Beam* (ultravioleta y haces de electrones)

TEMA	Página
RENUNCIA DE RESPONSABILIDAD	ii
PRÓLOGO	iii
RECONOCIMIENTOS	iv
CONTENIDO.....	v
FIGURAS	viii
TABLAS	ix
SIGLAS UTILIZADAS EN ESTE REPORTE	x
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
PARTE I: CONCEPTOS BÁSICOS	3
¿QUÉ SON LOS MATERIALES CURADOS CON <i>UV/EB</i> ¹ ?	3
Revisión de revestimientos , tintas y adhesivos convencionales.....	4
Revestimientos , tintas y adhesivos curados con <i>UV/EB</i> ¹ vs. convencionales	5
¿DÓNDE SE UTILIZAN LOS MATERIALES CURADOS CON <i>UV/EB</i> ¹ ?	6
¿LAS FORMULACIONES DE <i>UV/EB</i> UTILIZAN RESINAS CONVENCIONALES?	9
¿CÓMO SE CURAN LOS MATERIALES <i>UV/EB</i> ¹ ?	10
¿LOS MATERIALES CURADOS CON <i>UV/EB</i> ¹ NECESITAN EQUIPOS ESPECIALES?	12
Unidades de curado	12
Impresión y revestimiento de rodillos	13
Pintura por pulverización	13
Otras técnicas de aplicación	14
PARTE II: DETALLES	15
ENERGÍA RADIANTE <i>UV/EB</i>¹.....	15
¿CÓMO SE GENERA LA ENERGÍA RADIANTE <i>UV/EB</i>¹ ?	15

CONTENIDO (continuación)

NOTA:

¹ *UV/EB* es *Ultraviolet and Electron Beam* (ultravioleta y haces de electrones)

² *VOC* es *Volatile Organic Compounds* (compuestos orgánicos volátiles)

³ *HAP* es *Hazardous Air Pollutants* (contaminantes del aire peligrosos)

TEMA	Página
Fuentes de <i>UV</i> ¹	15
Fuentes de <i>EB</i> ¹	20
¿QUÉ ES LA RADIACIÓN IONIZANTE <i>UV/EB</i> ¹ ?	23
¿HASTA QUÉ PROFUNDIDAD PENETRA LA RADIACIÓN IONIZANTE?.....	25
Radiación ionizante <i>UV</i> ¹	25
Radiación ionizante <i>EB</i> ¹	25
CURADO CON <i>UV/EB</i>¹	26
¿CÓMO SE FORMAN LOS REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS <i>UV/EB</i> ¹ ?	26
Polimerización con radicales libres	27
Polimerización catiónica	28
Entrecruzamiento	29
¿CÓMO FUNCIONAN LOS FOTOINICIADORES?	30
¿LA TASA DE PRODUCCIÓN DEPENDE DEL GROSOR DEL REVESTIMIENTO?	30
¿POR QUÉ HA HABIDO CRECIMIENTO EN LAS CAPACIDADES 3D ?	31
¿CÓMO SE MIDE EL GRADO DE CURADO?	32
¿HAY ALGUNA OTRA COSA QUE AFECTE AL CURADO?	33
PARTE III: EMISIONES, SALUD Y SEGURIDAD	35
¿QUÉ CONTAMINANTES DEL AIRE SE EMITEN DESDE LOS MATERIALES CURADOS CON <i>UV/EB</i> ¹ ?	35
Emisiones VOC ²	35
Emisiones de partículas finas	36
Emisiones <i>HAP</i> ³	36
Emisiones olorosas	37
Emisiones de ozono y N ₂	37
¿CÓMO SE MIDEN LAS EMISIONES PROVENIENTES DE LOS MATERIALES CURADOS CON <i>UV/EB</i> ¹ ?	37

CONTENIDO (continuación)

NOTA:

¹ *UV/EB* es *Ultraviolet and Electron Beam* (ultravioleta y haces de electrones)

TEMA	Página
¿QUÉ SUCEDE CON RESPECTO A LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES?	38
¿Qué preocupaciones de salud y seguridad presenta la energía radiante UV/EB¹ ?	39
¿Cómo se puede proteger a los trabajadores contra la radiación ionizante UV/EB¹ ?	39
¿Qué preocupaciones de salud y seguridad presentan los componentes peligrosos en los materiales curados con UV/EB¹ ?	41
¿Qué sucede con respecto a la higiene de los trabajadores?	45
CONSIDERACIONES DE COSTO	48
¿LOS MATERIALES CURADOS CON UV/EB¹ SON MÁS COSTOSOS QUE LOS REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS CONVENCIONALES?	48
RESUMEN	51
¿CUÁLES SON LAS VENTAJAS DE USAR REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS CURADOS CON UV/EB¹ ?	451
¿CUÁLES SON LAS DESVENTAJAS DE USAR REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS CURADOS CON UV/EB¹ ?	52
CONCLUSIONES	52
REFERENCIAS	54
GLOSARIO DE TÉRMINOS	58
APÉNDICE A: RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y POR HAZ DE ELECTRONES VS. RADIATIVIDAD	A-1
APÉNDICE B: EJEMPLOS DE USOS DE REVESTIMIENTOS Y TINTAS UV/EB¹	B-1
APÉNDICE C: MÉTODO 24 DE LA EPA: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA VOLÁTIL, CONTENIDO DE AGUA, DENSIDAD, SÓLIDOS VOLUMÉTRICOS Y SÓLIDOS MÁSCOS DE LOS REVESTIMIENTOS DE SUPERFICIE	C-1

CONTENIDO (continuación)

NOTA:

¹ *UV/EB* es *Ultraviolet and Electron Beam* (ultravioleta y haces de electrones)

TEMA	Página
APÉNDICE D: DEFINICIÓN DE <i>VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOC)</i> , COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES	D-1
APÉNDICE E: <i>HAZARDOUS AIR POLLUTANTS (HAP)</i> , CONTAMINANTES DEL AIRE PELIGROSOS	E-1

FIGURAS

1. Dominios generales del espectro electromagnético desde radiación gamma hasta longitudes de onda de televisión y <i>frequency modulated (FM)</i> , frecuencia modulada	5
2. Lámpara de arco de mercurio para generar <i>UV¹</i>	16
3. Bulbo excitado por microondas con generador.....	17
4. Reflectores de luz <i>UV¹</i>	18
5. Espectro de <i>UV¹</i> de una lámpara de vapor de mercurio	19
6. Revestimientos dicroicos	20
7. Diagrama esquemático de un cañón electrónico.....	21
8. Polimerización con radicales libres	28
9. Polimerización catiónica	29
10. Un ejemplo de entrecruzamiento	29
11. Diagrama esquemático de una fibra óptica	31
12. Revestimientos <i>UV¹</i> – Ahora utilizados para envasar chocolates	37
13. Ejemplos de equipos de seguridad.....	46
14. Prensas con unidades de curado con <i>UV¹</i>	49

TABLAS

NOTA:

¹ *UV/EB* es *Ultraviolet and Electron Beam* (ultravioleta y haces de electrones)

1. APLICACIONES DE REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS <i>UV/EB</i>	7
2. MONÓMEROS CURABLES CON RADIACIÓN EN 1991	10
3. FAMILIAS DE MONÓMEROS CURABLES CON RADIACIÓN EN 1999	11
4. LÍMITES DE EXPOSICIÓN ADMISIBLE DE MATERIALES CURABLES POR RADIACIÓN EN 1991	42
5. <i>PERMISSIBLE EXPOSURE LIMITS (PEL)</i> , LÍMITES DE EXPOSICIÓN ADMISIBLE PARA SOLVENTES ORGÁNICOS	43

SIGLAS UTILIZADAS EN ESTE REPORTE

3D	Tridimensional
ACGIH	<i>American Conference of Government Industrial Hygienists</i> (conferencia americana de higienistas industriales del gobierno)
AFP	<i>Association for Finishing Processes</i> (asociación para procesos de acabado (una afiliada de SME))
AIM	<i>Architectural, Industrial and Maintenance</i> (arquitectónico, industrial y Mantenimiento)
ASTM	<i>American Society of Testing Materials</i> (sociedad americana de materiales de pruebas)
C	Centígrado
CAS	Chemical Abstract Service, servicio de resúmenes químicos
CATC	<i>Clean Air Technology Center</i> (centro de tecnología para el aire limpio)
CD	<i>Compact Disk</i> (disco compacto)
CERCLA	<i>Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act</i> (ley completa de respuesta, compensación y responsabilidad ambiental)
CFR	<i>Code of Federal Regulations</i> (código de normas federales)
Cm ²	Centímetros cuadrados
Cm ³	Centímetros cúbicos
DVD	<i>Digital Video Disk</i> (disco de vídeo digital)
EB	<i>Electron Beam</i> (haz de electrones)
EPA	<i>U.S. Environmental Protection Agency</i> (agencia de protección ambiental de EE.UU.)
FDA	<i>U.S. Food and Drug Administration</i> (administración de alimentos y fármacos de EE.UU.)
FM	<i>Frequency Modulated</i> (frecuencia modulada)
fpm	<i>Feet per minute</i> (pies por minuto)
Gy	Gray (unidad de absorción de energía, equivale a un Julio por kilogramo)
HAP	<i>Hazardous Air Pollutants</i> (contaminantes del aire peligrosos)
hr	Hora
HVAC	<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning Equipment</i> (equipo de calefacción, ventilación y aire acondicionado)
IR	Infrarrojo
kg	Kilogramo
LAER	<i>Lowest Achievable Emission Rate</i> (tasa de emisión más baja factible)
LEL	<i>Lower Explosive Limit</i> (límite explosivo inferior)

MBTU	<i>Millions of British Thermal Units</i> (millones de unidades térmicas Británicas)
mm	Milímetros
MSDS	<i>Material Safety Data Sheets</i> (hojas de datos de seguridad de los materiales)
NCS	<i>New Chemical Substance</i> (sustancia química nueva)
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i> (asociación nacional de protección contra incendios)
nm	Nanómetros
NTIS	<i>National Technical Information Service</i> (servicio nacional de información Técnica), <i>U.S. Department of Commerce</i> (departamento de comercio de EE.UU.)
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i> (administración de seguridad y salud ocupacional)
P2	<i>Pollution Prevention</i> (Prevención de la contaminación)
PEL	<i>Permissible Exposure Limit</i> (límite de exposición admisible)
PMN	<i>Premanufacturing Notice</i> (aviso previo a la fabricación)
pulg ²	Pulgadas cuadradas
R	<i>Roentgen</i>
REM	<i>Roentgen</i> (dosis equivalente de radiación ionizante en el hombre)
SAMPE	<i>Society for Advancement of Material and Process Engineering</i> (sociedad por el avance de la ingeniería de materiales y procesos)
SME	<i>Society of Manufacturing Engineers</i> (sociedad de ingenieros de Fabricación)
T _g	<i>Glass Transition Temperature</i> (temperatura de transición vítrea)
TV	Televisión
TWA	<i>Time Weighted Average</i> (promedio considerado en el tiempo)
TSCA	<i>Toxic Substance Control Act</i> (ley de control de sustancias tóxicas)
UV	Ultravioleta
VOC	<i>Volatile Organic Compounds</i> (compuestos orgánicos volátiles)
WEELS	<i>Workplace Environmental Exposure Levels</i> (niveles de exposición ambiental en el lugar de trabajo)
Z	Número atómico

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS CURADOS CON ULTRAVIOLETA Y HACES DE ELECTRONES

INTRODUCCIÓN

El uso de **revestimientos, tintas y adhesivos** curados con ultravioleta and electron beam (**UV/EB, ultravioleta y haces de electrones**) ha aumentado drásticamente a lo largo de la última década. En la actualidad, esta técnica de *Pollution Prevention* (P2, prevención de la contaminación) se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones de **revestimiento**, impresión y productos exclusivos. Este Boletín Técnico del *Clean Air Technology Center (CATC*, centro de tecnología para el aire limpio) proporciona información básica sobre la tecnología **UV/EB** y cómo ésta ha avanzado desde que el *Control Technology Center* (centro de tecnología de control, predecesor del *CATC*) publicó el documento "*Radiation Curable Coatings*" (**revestimientos curables con radiación**) (EPA-600/2-91-035) en 1991.

Números crecientes de instalaciones de **revestimiento** e impresión están usando o considerando la tecnología **UV/EB** porque resulta eficaz y rentable hacerlo. En el documento "*Radiation Curable Coatings*," se daban tres razones para esto: (1) un ahorro de energía del 75 al 90%; (2) un ahorro en el espacio del piso de un 50 a un 75%; y, (3) tasas de producción más altas. Las tres razones siguen siendo válidas y las ventajas podrían ser incluso mayores hoy en día. Las unidades de curado con **UV/EB** son significativamente más compactas y eficientes en cuanto al uso de energía que los sistemas de secado y curado térmico que se emplean con los **revestimientos, tintas y adhesivos** convencionales. Además, el curado con **UV/EB** es extremadamente rápido – es casi instantáneo o dura hasta unos pocos segundos como mucho. Dado que los sistemas **UV/EB** sólo emiten muy pequeñas cantidades de **volatile organic compounds (VOC**, compuestos orgánicos volátiles) (vea el Apéndice D) y virtualmente ninguno de los **hazardous air pollutants (HAP**, contaminantes del aire peligrosos) (vea el Apéndice E), por lo general no requieren equipos adicionales de control de la contaminación y se consideran inocuos para el medio ambiente. De hecho, el *South Coast Air Quality Management District* (distrito de administración de la calidad del aire de la costa sur) en California clasifica a las aplicaciones de **revestimiento** e impresión **UV/EB** como "Tecnología Súper Limpia" y ha eliminado o minimizado los procedimientos de permisos de contaminación del aire para las instalaciones que utilicen esta tecnología.

Los materiales **UV/EB** se curan casi instantáneamente cuando están expuestos a la **energía radiante UV/EB** (es decir, a la **radiación UV/EB**). Los fabricantes de equipos **UV/EB** incluyen blindajes y enclavamientos de seguridad en sus equipos que protegen adecuadamente a los trabajadores contra una exposición a la **energía radiante UV/EB**. Sin embargo, existe mucha confusión con respecto a la seguridad de los trabajadores. El término "**radiación**" se ha aplicado a muchos tipos diferentes de fuentes de energía que individualmente presentan cuestiones de salud y seguridad significativamente diferentes. Por ejemplo, el término se ha aplicado a la **radiación nuclear, radiactividad, radiación solar, radiación UV, radiación EB, radiación por microondas, radiación por lámparas fluorescentes, radiación por monitores de computadoras, radiación por los aparatos de televisión (TV), radiación por difusiones de TV y radio, incluso la iluminación que se irradia de las lámparas incandescentes**. Los atributos unificadores de todas estas fuentes de "**radiación**" es que la energía (de algún tipo) se emite desde una fuente, se propaga radialmente a lo largo de la línea de visión y se absorbe. Sin embargo, los efectos de estas diversas formas de "**radiación**" en los seres humanos son muy diferentes y dependen del tipo y de la fuente de la energía.

Debido al uso excesivo e indebido [del término “**radiación**,” ha causado y continúa causando confusión, por lo que utilizaremos el término “**energía radiante UV/EB**” para describir la “**radiación**” que cura los materiales **UV/EB**. Vea la sección **Energía radiante UV/EB** de este reporte para encontrar información más detallada sobre este tema. Se puede encontrar información adicional en el Apéndice A, **Radiación ultravioleta** y por **haz de electrones vs. radiactividad**.

Cuando nos referimos a los materiales **UV/EB** en este Boletín Técnico, estamos hablando de los **revestimientos**, pinturas, **tintas**, **adhesivos** y otros productos similares curados con **UV/EB**. Utilizamos el nombre del tipo específico de material (por ejemplo, **revestimiento**, **tinta**, etc.) cuando la información se refiere únicamente a dicho material. No se utilizan nombres comerciales porque no son descriptivos de la química de los materiales involucrados y porque podrían ser interpretados erróneamente como una recomendación.

Para comprender plenamente y apreciar la tecnología **UV/EB** y sus ventajas, debemos considerar la química orgánica, física, ingeniería, procesos de fabricación y contabilidad de costos. Este Boletín Técnico trata de reunir la totalidad de estas perspectivas.

ANTECEDENTES

El uso de los **revestimientos** curados con energía radiante tiene sus orígenes en procesos creados por lo menos hace 4,000 años. Los antiguos egipcios usaban un tipo de **revestimiento UV** que se curaba al quedar expuesto a la luz solar al preparar las momias (AFP/SME, 1986).³⁰ Además, los antiguos egipcios usaban un **revestimiento** aceitoso con base de asfalto que se polimerizaba al quedar expuesto a la **radiación** solar como sellador de sus embarcaciones (Decker, 1987).³⁰

En la era moderna, el interés científico en desarrollar sistemas curados con **UV/EB** comenzó en la década de 1940. En ese momento, se otorgó la primera patente para una **tinta** de impresión de estireno de poliéster insaturado que se polimerizaba ante la exposición a radiación **UV**. Uno de los primeros intentos de aplicar sistemas curados con **UV/EB** a la fabricación se hizo a fines de la década de 1960, pero la aplicación comercial exitosa no evolucionó hasta principios de los años 70. Las fuerzas impulsoras, que dieron publicidad detrás del desarrollo de sistemas comercialmente viables, fueron la crisis energética de 1974 y las preocupaciones ambientales crecientes con respecto a las emisiones **VOC** que surgían de los sistemas convencionales de curado térmico. No obstante ello, las motivaciones primarias para el uso de sistemas curados con **UV/EB** fueron, y siguen siendo, un mejor rendimiento del producto y una mayor productividad.

Las aplicaciones iniciales de los sistemas curados con **UV/EB** estaban limitadas a planchas planas, principalmente en las industrias de los productos de madera y de impresión. Los procesos curados con energía radiante de esa época estaban limitados por la necesidad de una fuente de energía en la línea de visión. A partir de 1974, se utilizaron **tintas** y barnices curables con **UV** para decorar las latas de aluminio de las bebidas. Las mejoras en la ingeniería de las plantas, tales como los transportadores giratorios, la multiplicidad de fuentes de **UV** y los ajustes a los equipos de curado, han permitido el surgimiento de las aplicaciones **tridimensionales (3D)** de los materiales curados con **UV/EB**. Además, los adelantos en la ciencia de los **polímeros** han

brindado una gran variedad de materiales curados con **UV/EB** que pueden exhibir características requeridas por las aplicaciones específicas del usuario final.

PARTE I: CONCEPTOS BÁSICOS

Esta sección resume la información básica sobre los materiales **UV/EB**, incluido su uso y aplicación. Se presenta una discusión más completa de las importantes asuntos técnicos, de seguridad y normativas en la sección “PARTE II: DETALLES” de este reporte. Se presentan algunos términos que tal vez usted no conozca. Para ayudarle, se suministra un glosario de términos al final de este reporte. Los términos incluidos en el glosario aparecen en NEGRILLAS dentro del cuerpo del reporte. También se utilizan siglas para muchos términos o nombres complejos. Se suministra una lista de siglas en la parte frontal del este reporte, inmediatamente después del contenido.

¿QUÉ SON LOS MATERIALES CURADOS CON **UV/EB**?

Los materiales **UV** y **EB** se curan (polimerizan) cuando quedan expuestos a la **energía radiante UV** y **EB**, respectivamente. Virtualmente todos los componentes de una formulación **UV/EB** se convierten en una parte sólida de un **revestimiento, tinta o adhesivo** curado. Por lo general, sólo pueden emitirse pequeñas cantidades de **VOC**. Para los materiales **UV/EB**, el curado significa la interacción de moléculas líquidas (**monómeros, oligómeros y fotoiniciadores**) para formar **polímeros**. Este proceso de curado se conoce como **polimerización**. Forma largas cadenas moleculares que son la columna vertebral de carbono para una molécula de **polímero**. Después de la **polimerización**, el material curado con **UV/EB** es un sólido, que consta de pigmentos y moléculas de **polímeros** que podrían enredarse entre sí e interconectarse mediante entrecruzamientos.

Los **revestimientos, tintas y adhesivos** convencionales, transportados por **VOC/solventes** y por el agua, utilizan la energía térmica para evaporar los componentes volátiles (es decir, **solvente orgánico VOC** y/o agua) y para curarse. Como resultado de ello, la mayoría de los volátiles en un **revestimiento, tinta o adhesivo** convencional es emitida a un dispositivo de control o a la atmósfera. Sólo la parte no volátil restante de un material convencional en realidad se cura para formar un **revestimiento, impresión o adhesivo** final que permanece en el **sustrato**. Podría ocurrir algún grado de **polimerización** durante el curado de un material convencional. La cantidad de **polimerización** que ocurre durante el cuadro de un material convencional (en oposición a la **polimerización**/formación de prepolímeros que ocurre durante el proceso de fabricación de la pintura/**tinta/adhesivo**) varía según el tipo de material. Por ejemplo, no ocurre virtualmente ningún tipo de **polimerización** al curar una laca convencional; sin embargo, la **polimerización** sería un proceso crítico al curar un uretano, epoxido o acrílico convencional.

Dado que probablemente esté más familiarizado con los **revestimientos, tintas t adhesivos** convencionales y la manera de usarlos, podría resultar útil comparar los materiales **UV/EB** con los materiales convencionales. Por lo tanto, a continuación revisaremos cómo funcionan los sistemas

convencionales de **revestimientos, tintas y adhesivos** antes de proseguir con los **revestimientos, tintas y adhesivos UV/EB**.

Revisión de revestimientos, tintas y adhesivos convencionales

Los **revestimientos, tintas y adhesivos** convencionales, basados en aceite/**solventes** y transportados por el agua, son sistemas evaporativos. Utilizan **monómeros** apropiados parcialmente prepolimerizados (alquido, acrílico, epoxi, silicona, etc.) y pigmentos dispersos en un **solvente**. Estos prepolímeros deben polimerizarse aún más y entrecruzarse durante el curado para convertirse en sólidos.

Los prepolímeros convencionales se forman por una reacción de condensación química a temperaturas elevadas. Esta reacción ocurre en una planta química o en una instalación de fabricación de **revestimientos, tintas o adhesivos**, y no durante el curado. Inmediatamente antes de que el **prepolímero** se alargue lo suficiente para formar un coágulo, la temperatura se reduce y el prepolímero se dispersa en un **solvente** orgánico o en agua. El **solvente** orgánico por lo general es un **VOC** y con frecuencia es responsable de más de la mitad del volumen del **revestimiento** líquido. El agua es responsable de una fracción similar del volumen de los **revestimientos** en base de agua. Algunos **revestimientos** convencionales incluso contienen **HAP**.

Cuando los materiales convencionales se aplican y el **solvente** orgánico y agua se evapora, las moléculas de **resina** prepolimerizada pueden entrar en contacto entre sí. La solidificación del **revestimiento** ocurre a medida que el prepolímero continúa su proceso de **polimerización** mediante una reacción química. Éste es un proceso relativamente lento porque la temperatura es ahora mucho más baja que el valor que tenía durante la **prepolimerización** y, de hecho, es un proceso que nunca acaba. Tal vez usted podría haber observado que las pinturas convencionales se espesan en almacenamiento (aún sin evaporación), cambian el acabado de su superficie y se encogen al cabo de un período de varios años.

Para el caso de las lacas, el **solvente** puede ser mucho más de la mitad del volumen final del **revestimiento** en el momento de la aplicación. Las lacas simplemente se solidifican al evaporarse el **solvente**. Están mucho más cerca de una polimerización completa durante su fabricación que los demás **revestimientos** convencionales, y no se necesita una posterior **polimerización** cuando son aplicadas. Sin embargo, no existe **entrecruzamiento** y se funden o dañan fácilmente. Se encogen por pérdida de **solvente** y no como consecuencia de una posterior **polimerización**.

Los materiales convencionales deben aplicarse con suficiente flujo de aire (ventilación) para mantener la concentración del **solvente** en aire por debajo de una cuarta parte del *Lower Explosive Limit* (LEL, límite explosivo inferior). Esto es lo que requiere la *National Fire Protection Association (NFPA)*, asociación nacional de protección contra incendios) y la Occupational Safety and Health Administration (OSHA, administración de seguridad y salud ocupacional). Para aplicaciones por pulverización, se requiere un flujo de aire de 100 *feet per minute (fpm)*, pies por minuto) o de 60 *fpm* (para la deposición electrostática) a través del área en la que se generan los vapores. Además de las cuestiones de seguridad relacionadas con explosiones/incendios, también hay cuestiones de efectos en la salud de los seres humanos que respiren los vapores del **solvente**.

Los materiales convencionales utilizan la *infrared radiation (IR, energía radiante infrarroja)* (es decir, el calor) para curarse. La energía **IR** es emitida naturalmente desde todos los elementos. Se trata de una **radiación** electromagnética con una longitud de onda entre 1000 nm y 11,000 nm. La luz

visible es una **radiación** electromagnética con longitudes de onda de 400 nm a 700 nm. Las microondas son **radiación** electromagnética con longitudes de onda en metros (vea la Figura 1). La energía **IR** se detecta como calor radiante y su longitud de onda depende de la temperatura. Se utiliza calor para evaporar el **solvente** orgánico o el agua y para acelerar la **polimerización**.

A temperaturas ambiente, la evaporación y la **polimerización** pueden demorar desde varias horas hasta varios días. Los hornos térmicos pueden reducir el tiempo de evaporación y **polimerización** a unos pocos minutos. Sin embargo, los hornos térmicos son voluminosos, ocupan una cantidad considerable de espacio en el suelo, y consumen cantidades grandes de energía porque deben calentar el flujo del aire a través del horno, además de calentar el **revestimiento, tinta** o **adhesivo** y el sustrato.

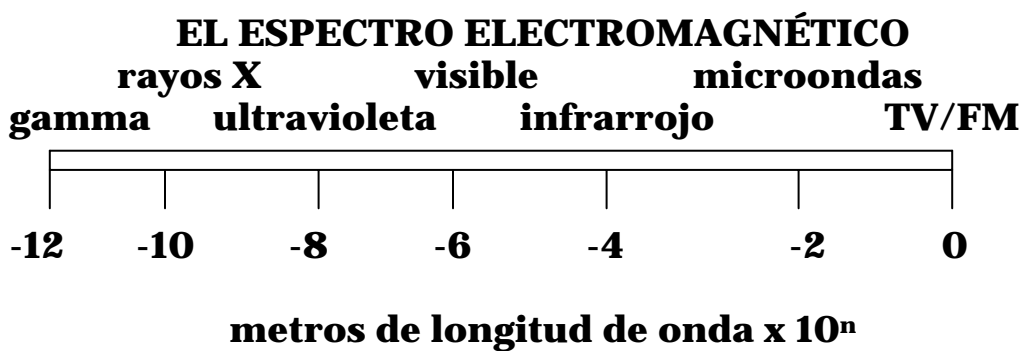


Figura 1: Dominios generales del espectro electromagnético desde **radiación** gamma hasta longitudes de onda de televisión y *frequency modulated (FM*, modulado por frecuencia)

Revestimientos, tintas y adhesivos curados con UV/EB vs. convencionales

Los materiales **UV/EB** constan de pigmentos y los mismos **monómeros** y **oligómeros** que reaccionan para formar **polímeros** en los **revestimientos** convencionales, pero sin estar sujetos a la prepolimerización. Los **oligómeros** se crean uniendo de 3 a 5 moléculas de **monómero**, pero esto no debe confundirse con la prepolimerización. Los grupos acrílicos o los grupos de éteres vinílicos se hacen reaccionar con moléculas de **monómeros** y/u **oligómeros** en un material **UV/EB**, y se convierten en ramas laterales o grupos pendientes de la columna vertebral de carbono. Se los conoce como **grupos funcionales** porque son los más reactivos y, por tanto, requieren menos aumento de energía para polimerizar **monómeros** y **oligómeros**. Asimismo, se utilizan para lograr las propiedades y el **entrecruzamiento** deseados entre las cadenas de **polímeros**.

La **polimerización** es en realidad una reacción en cadena, en la cual se agregan **monómeros** u **oligómeros** a una columna vertebral de átomos de carbono. Cada molécula de **monómero** u **oligómero** se agrega como otro eslabón en la cadena, o como otra vértebra en la columna vertebral de carbono. Una cadena de **polímeros** puede tener una longitud de miles de moléculas **monómeros** u **oligómeros**.

Para los materiales *UV/EB*, la **polimerización** en realidad es iniciada por un compuesto incluido en la formulación, denominado **fotoiniciador**. Un **fotoiniciador** absorbe **energía radiante UV/EB** y forma **radicales libres** o cationes y aniones. Hasta que un **fotoiniciador** reciba **energía radiante UV/EB**, un material curado con *UV/EB* no tiene suficiente energía para iniciar y completar la **polimerización**. Al absorber la energía *UV/EB*, las moléculas de **fotoiniciador** tienen suficiente energía como para separarse en **radicales libres** o en cationes y aniones. Estos **radicales libres** y cationes son lo suficientemente energéticos como para crear un **polímero** a partir de los **monómeros** y **oligómeros**.

Los **radicales libres** producen una reacción muy rápida que ocurre casi inmediatamente y, para todos los fines prácticos, llega a completarse. Esto resulta en un **revestimiento, tinta o adhesivo** acabado (curado) que está casi completamente polimerizado y prácticamente deja de seguir polimerizándose. Sólo las cantidades en traza de **monómeros, oligómeros y fotoiniciadores** permanecen atrapadas dentro del **polímero** después de una reacción por **radicales libres**. Con el tiempo, estas cantidades en traza podrían reaccionar entre sí a medida que se difunden a través del **polímero**. Sin embargo, esto ocurre muy lentamente.

Cuando se forman cationes (**ácidos de Bronsted o Lewis**), generan más iones al romper espontáneamente otras moléculas de **fotoiniciador**. Estos cationes también inician una **polimerización** que puede extenderse, incluso en ausencia de **energía radiante UV/EB**, después de que el material curado con *UV/EB* haya recibido suficiente energía radiante como para iniciar la **polimerización**. Estos **fotoiniciadores catiónicos** causan que la **polimerización** ocurra algo más lentamente; es decir, la **polimerización** ocurre en un lapso de varios segundos. Por otra parte, por ser un proceso químico, la **polimerización catiónica** puede completarse en la oscuridad (sin **energía radiante UV/EB**) una vez que haya comenzado.

En 1991, los materiales *UV/EB* usaban componentes volátiles, pero éstos ya no son necesarios ni se utilizan. Los materiales *UV/EB* raras veces utilizan **solventes**. La única excepción es para reducir la viscosidad y permitir la aplicación de una mano más delgada (lo que sucede habitualmente con los **adhesivos**) o para facilitar el **revestimiento** por pulverización. Incluso cuando se utiliza un **solvente** con un material *UV/EB*, la cantidad de **solvente** y, por tanto, la cantidad de emisiones **VOC** por lo general son mucho menores que lo que sucede los materiales convencionales. En el caso típico en que no se usa un **solvente**, sólo podrían emitirse volátiles de curado entre un 1 a un 10% del peso de la película aplicada. Por lo general, los volátiles de curado son de menos del 5%. En este nivel, las emisiones incontroladas no son peores que aquellas de una operación convencional equipada con una muy buena tecnología de captura y control de las emisiones. Sin embargo, no se necesita ni utiliza ningún tipo de tecnología de control con los materiales *UV/EB*.

¿DÓNDE SE UTILIZAN LOS MATERIALES CURADOS CON UV/EB?

Los **revestimientos, tintas y adhesivos UV/EB** se utilizan en una variedad de aplicaciones tales como **tintas** de impresión, barnices de sobreimpresión, **revestimientos** de desmoldar, imprimadores, pinturas pigmentadas, capas protectoras transparentes, **revestimientos** de adhesión para cinta magnética, adhesión para abrasivos, encapsulados, **adhesivos** sensibles a la presión y **adhesivos** de unión permanente.⁵ La lista de aplicaciones sigue creciendo, por lo que no debe considerarse completa a ninguna lista estática de aplicaciones. No obstante ello, a fin de apreciar el grado al cual se

está aplicando la tecnología *UV/EB*, se suministra una lista de aplicaciones *UV/EB* compilado por *Envirosense*¹⁴ y del RadTech *UV/EB-Curing Primer*²³ en la Tabla 1. También se pueden encontrar ejemplos de aplicaciones de materiales *UV/EB* en el Apéndice B.

TABLA 1: APLICACIONES DE REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS <i>UV/EB</i>	
INDUSTRIA	APLICACIÓN
Revestimientos arquitectónicos / industriales / mantenimiento (AIM) (Revestimientos aplicados para proteger contra un ambiente corrosivo)	estructuras de metal y concreto tuberías tanques equipo de procesamiento
Aeronaves	bases de pintura capas de color capas protectoras
Piezas automotrices	pinturas para el chasis inferior bases de pintura capas de color capas protectoras reacabado
Revestimiento de artículos enrollados	Aplicado a metal en planchas enrolladas utilizado en: industrias de artefactos electrodomésticos industrias de la transporte industrias de la construcción industrias de los recipientes
Dental	Empastes de dientes
Electrónica	fotomáscaras microelectrónicas máscaras para soldadura notaciones en tarjetas de circuitos encapsulación de circuitos o componentes revestimientos de fibras ópticas <i>Compact Disk (CD, discos compactos)</i> discos de vídeo digital (DVD)
Plásticos flexibles	calcomanías laminados decorativos película de encogimiento medios de grabación magnética películas abrasivas películas de desprendimiento

**TABLA 1: APLICACIONES DE REVESTIMIENTOS,
TINTAS Y ADHESIVOS *UV/EB***

INDUSTRIA	APLICACIÓN
Carreteras	capas de pintura usadas para marcar carriles capas de pintura usadas para proporcionar flechas direccionales en los caminos
Cuero	acabados capas protectoras
Maquinaria y equipos	equipo agrícola equipo de construcción maquinaria eléctrica heating, ventilating and air conditioning systems (<i>HVAC</i> , sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado) maquinaria industrial computadoras equipo de oficina
Marina	embarcaciones plataformas fuera costa otras estructuras de acero y aluminio
Recipientes metálicos	latas de bebidas tapas y cierres latas de alimentos
Óptica	lentes para gafas fibras ópticas
Papel y cartón	álbumes de discos cajas plegables envases para jugos revistas libros en rústica formularios comerciales notas bancarias y dinero papel para desprendimiento papel con recubrimiento abrasivo
Plásticos rígidos	recubrimiento para pisos y azulejos vinílicos botellas tarjetas de crédito equipo para deportes equipo médico

TABLA 1: APLICACIONES DE REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS <i>UV/EB</i>	
INDUSTRIA	APLICACIÓN
Textiles	apresto capas de relleno capas protectoras
Alambre	alambre magnético
Muebles de madera	muebles gabinetes de cocina puertas guarniciones molduras
Productos de madera	paneles de aglomerado paneles de madera contrachapada paneles de tablero de partículas pisos de madera dura laminados para puertas

¿LAS FORMULACIONES DE *UV/EB* UTILIZAN RESINAS CONVENCIONALES?

Todos los **revestimientos, tintas y adhesivos** (es decir, transportados por **solvente**, transportados por agua o curados con ***UV/EB***), independientemente del método de curado, utilizan básicamente las mismas **resinas**. No obstante ella, las **resinas** usadas con los materiales curados con ***UV/EB*** han sido modificadas por la inclusión de **grupos funcionales** y **fotoiniciadores** que disparan la **polimerización**. Para los materiales ***UV/EB***, se han obtenido diferentes propiedades de rendimiento al usar acrílicos, metacrilatos, epoxis, poliésteres, polioles, glicoles, siliconas, uretanos, éteres vinílicos, y combinaciones de éstos. Se pueden mezclar entre sí **monómeros** u **oligómeros** estructuralmente diferentes para ajustar las propiedades del **polímero** final. La composición de una formulación por lo general se considera patentada y, por tanto, habitualmente se la conoce mediante un nombre comercial que normalmente no revela su composición. La Tabla 2 muestra **monómeros** y **oligómeros** que estaban disponibles en 1991. Se incluyen **grupos funcionales** de acrílicos o éteres vinílicos en estos **monómeros** para permitirles ser curados mediante **energía radiante *UV/EB***.

La lista de **monómeros** y **oligómeros** ha crecido bastante para 1999. Vea la Tabla 3. Este listado es por tipos genéricos. Las formulaciones reales están compuestas de estos tipos de compuestos en una mezcla patentada. La mezcla será identificada por un nombre comercial que no dará pauta alguna con respecto a sus elementos constituyentes.

Tabla 2. MONÓMERO CURABLES CON RADIACIÓN EN 1991³⁰

SISTEMA	REACTIVIDAD	INHIBICIÓN DEL OXÍGENO	DURABILIDAD	CURABLE CON EB	CURABLE CON UV
Poliéster/ estireno	Baja	Alta	Deficiente	No	Sí
Acrilatos	Alta	Alta	Moderada	Sí	Sí
Tiol-polieno	Alta	Baja	Alta	Sí	Sí
Epoxis catiónicos	Mediana	Baja	Regular	No	Sí

Fuente: Decker, C. "UV-Curing Chemistry: Past, Present, and Future", J. of **Coatings Tech.**, 1987
 Vrancken, A. "Market Trends for Irradiation Curable **Coatings** in Europe", **Radiation Curing V**,
 Association of Finishing Processes of SME, Boston, 1980

¿CÓMO SE CURAN LOS MATERIALES UV/EB?

Los materiales **UV/EB** se curan (cambian de estado líquido a estado sólido) mediante una reacción compuesta por procesos de **polimerización** y **entrecruzamiento**. Los materiales curados con **UV** necesitan la **energía radiante UV** para polimerizar los **monómeros** y **oligómeros** a fin de formar un compuesto sólido. Los materiales curados con **EB** necesitan la **energía radiante EB** para polimerizar los **monómeros** y **oligómeros** a fin de formar un compuesto sólido. Existen muchos mecanismos de **polimerización**; sin embargo, en la actualidad sólo se utilizan dos mecanismos de **polimerización** para curar los materiales **UV/EB**: la **polimerización por radicales libres** y la **polimerización catiónica**. Un material **UV** curado por **radicales libres** debe ser muy delgado, limpio o ambos a fin de permitir que penetren cantidades suficientes de **energía radiante UV** a través de todo el material. Un material **EB** curado por **radicales libres** puede estar relleno y pigmentado, y puede ser más grueso, porque la energía **EB** penetra más que la **UV**. Los **fotoiniciadores catiónicos**, después de la exposición a energía **UV/EB**, espontáneamente forman cationes que activan una posterior **polimerización catiónica**. Una vez iniciada la **polimerización catiónica**, las reacciones **catiónicas** pueden completar la **polimerización** produciendo materiales opacos más gruesos, o incluso la reacción puede finalizarse en la oscuridad (es decir, una vez interrumpida la exposición a la energía radiante).

En la **polimerización por radicales libres**, un **monómero** u **oligómero** se une con un **radical libre** y, en efecto, forma un **radical libre** más grande. Este **radical libre** más grande luego actúa sobre otro **monómero** u **oligómero** y forma una molécula incluso más grande, y así sucesivamente. El proceso es una reacción en cadena (otro término usado por los químicos y físicos para indicar una reacción que continúa), que no tiene fin hasta que se termine una molécula de **polímero**. La terminación ocurre cuando una cadena de **polímero** se une al extremo de otra cadena de **polímero**, un átomo de oxígeno reacciona con el extremo de una cadena o una **polimerización** se ha completado tanto que no hay más reactivos disponibles.

Tabla 3. FAMILIAS DE MONÓMEROS CURABLES CON RADIACIÓN EN 1999

Oligómeros acrílicos alifáticos	Epóxidos cicloalifáticos
Oligómeros acrílicos aromáticos	Metacrilato de ciclohexilo
Monómeros acrílicos epóxicos	Dimetacrilato de etilenglicol
Oligómeros acrílicos epóxicos	Metacrilatos epóxicos
Acrilatos alifáticos epóxicos	Acrilatos epóxicos de semilla de soja
Acrilatos alifáticos de uretano	Metacrilato de glicidilo
Metacrilatos alifáticos de uretano	Dimetacrilato de hexanodiol
Metacrilato de alilo	Acrilato de isodecilo
Acrilatos de oligoéteres modificados con aminas	Acrilato de isooctilo
Acrilatos de poliéteres modificados con aminas	Acrilatos de oligoéteres
Acrilato de ácidos aromáticos	Diacrilato de polibutadieno
Acrilatos aromáticos epóxicos	Monómeros de acrilatos de poliéster
Metacrilatos aromáticos de uretano	Oligómeros de acrilatos de poliésteres
Acrilato de butilenglicol	Dimetacrilato de polietilenglicol
Silanos	Metacrilato de estearilo
Siliconas	Diacetato de trietilenglicol
Acrilato de estearilo	Éteres vinílicos

Nota: Estos **monómeros/oligómeros** fueron catalogados en 1999. Se los puede mezclar para lograr las propiedades deseadas. Se los puede combinar con cualquiera de un número similar de tipos de **fotoiniciadores**. Los **fotoiniciadores** tienden a ser moléculas aromáticas que son más sensibles a UV o EB que los **monómeros** y **oligómeros**.

La **polimerización catiónica** es un proceso iónico que no está inhibido por el oxígeno y, por tanto, puede curarse al aire sin un **recubriente de nitrógeno**. La **polimerización catiónica** continuará después de interrumpirse la exposición a la fuente de **energía radiante UV/EB**. Por lo tanto, las únicas preocupaciones son iniciar la **polimerización catiónica** y almacenar el producto durante unos pocos segundos para permitir que se complete el curado.

Las moléculas de **monómeros** y **oligómeros UV/EB** tienen **grupos funcionales** que se conectan al costado de una cadena de carbono. También se conocen como grupos pendientes. Los grupos pendientes ayudan en reducir la energía que se debe agregar para lograr la polimerización y formar los entrecruzamientos. Los entrecruzamientos interconectan las cadenas de carbono y, como resultado de ello, brindan una mayor resistencia mecánica, resistencia a la abrasión, mayores temperaturas de ablandamiento, y mayor resistencia a los daños.

La **polimerización** y el **entrecruzamiento** son los procesos críticos que tienen lugar al curarse un material **UV/EB**. El curado por **radicales libres** es muy rápido y puede llegar a completarse en un milisegundo o menos. El curado **catiónico** es más lento y podría demorar varios segundos para llegar a completarse. Afortunadamente, los cationes son más estables que los **radicales libres** y perduran mucho más.

Las moléculas de **monómero** y **oligómero** son inicialmente lo suficientemente cortas como para ser móviles y, por lo tanto, se encuentran en estado líquido. A medida que progresa la **polimerización**, las cadenas de **polímero** crecen en longitud, resultan menos móviles y forman un gel. En el estado de gelatina, un **polímero** se solidifica, pero no tiene una resistencia mecánica significativa. A

medida que continúa la **polimerización**, ocurre el **entre-cruzamiento** y el **polímero** adquiere una mayor resistencia mecánica. Un material es completamente curado una vez virtualmente completados los procesos de **polimerización** y **entrecruzamiento**.

¿LOS MATERIALES CURADOS CON UV/EB NECESITAN EQUIPOS ESPECIALES?

En su gran mayoría, el mismo equipo que se emplea para aplicar **revestimientos, tintas y adhesivos** convencionales puede usarse para aplicar materiales curados con **UV/EB**, aunque se podrían ajustar de manera diferente. La única diferencia importante es cómo se curan estos materiales.

Unidades de curado

Las unidades de curado con **UV** contienen una o más lámparas de **UV**, un reflector para cada lámpara, un medio de disipar el calor de las lámparas (que puede ser mediante el flujo de aire de ventilación), y blindaje para proteger a las personas contra exposición a la radiación **UV**. Todos los fabricantes de unidades de curado con **UV** ahora incluyen el blindaje como parte integral de la unidad de curado.

Una unidad de curado con **EB** contiene un generador de **haces de electrones** y blindaje para atenuar los **rayos X** que son generados durante el proceso de curado. Una unidad de curado con **EB** es más pesada y más grande que una unidad de curado con **UV** porque tiene un blindaje más masivo para absorber los **rayos X**. Todos los fabricantes de unidades de curado con **EB** incluyen este tipo de blindaje como parte integral de la unidad de curado.

Para las unidades de curado con **UV/EB**, las tasas de producción se determinan por la composición y el grosor aplicado del material curado con **UV/EB**, la intensidad de la energía radiante en la unidad de curado y la cantidad de radiación absorbida. Los materiales **UV/EB** se curan casi instantáneamente al cabo de unos pocos segundos al estar expuestos a la energía radiante apropiada. En comparación con los secadores térmicos usados con las aplicaciones de **revestimientos, tintas y adhesivos** convencionales, las unidades de curado con **UV/EB** permiten un 75 a un 90% de ahorro en energía, un 50 a un 75% de ahorro en espacio en el suelo, y además tasas de producción más altas.

En contraste, para las aplicaciones de **revestimientos, tintas y adhesivos** convencionales, se utiliza un horno térmico para realizar la vaporización rápida del **solvente** orgánico o agua, y para endurecer/curar el material aplicado lo suficiente como para permitir su manipulación.

El horno se aísla para minimizar las pérdidas de calor (con excepción de la transmisión de calor al flujo de aire que lo atraviesa). El flujo de aire a través de un horno térmico debe garantizar que la concentración del **solvente** orgánico no exceda un cuarto del valor del *Lower Explosive Limit (LEL)*, límite explosivo inferior). Las tasas de producción son determinadas por la composición y el grosor aplicado del material convencional, la longitud de la trayectoria a través del horno térmico, la temperatura y el flujo de aire. La temperatura del horno, el flujo de aire, el tamaño del horno y la tasa de producción son factores interrelacionados en los procesos convencionales. La temperatura debe ser lo suficientemente elevada como para evaporar el **solvente** o el agua y para endurecer el **revestimiento** lo suficiente como para permitir su manipulación, pero sin causar

daños al **sustrato** ni al **revestimiento**. El flujo de aire debe eliminar y diluir los vapores de **solvente** para evitar que ocurran concentraciones excesivas. El tamaño del horno se basa en el tiempo requerido para secar, endurecer y/o curar un **revestimiento**, **tinta** o **adhesivo** convencional a la tasa de producción deseada.

Impresión y revestimiento de rodillos

Si bien las prensas de impresión y los revestidores de rodillos que utilizan materiales **UV/EB** pueden diferir en cuanto a sus detalles, son esencialmente iguales a aquellos que emplean materiales convencionales. Las diferencias se deben principalmente a la ubicación, tamaño y velocidad de la unidad de curado. Para la impresión, las unidades de curado con **UV/EB** con frecuencia se montan en una prensa de impresión después de aplicar cada color. Para el **revestimiento** de rodillos, la unidad de curado con **UV** es una cámara con lámparas **UV** dispuestas a fin de lograr el curado deseado.

Los rodillos y las superficies de transferencia de la impresión para las aplicaciones de materiales **UV/EB** pueden ser idénticas a aquellos usados para **revestimientos**, **tintas** y **adhesivos** convencionales. Sólo ocurren pérdidas de material **UV/EB** cuando se cambian los colores, se emite una neblina o se debe limpiar un rodillo. Si un rodillo y su bandeja están cubiertos para evitar que la **energía radiante UV/EB** llegue a ellos, un **revestimiento UV/EB** no se curará sobre ni dentro de ellos. Como resultado de esto, un rodillo y bandeja usados con materiales **UV/EB** puede dejarse tal cual durante el fin de semana y volver a usarse sin necesidad de limpieza. Esto puede minimizar la pérdida de material **UV/EB**, como resultado de la limpieza, además de evitar el uso de **solventes** de limpieza que podrían ser **VOC**.

Pintura por pulverización

Para el **revestimiento** por pulverización, las mismas pistolas de pintura por pulverización y equipos relacionados utilizados para los **revestimientos** convencionales pueden emplearse para los **revestimientos UV/EB**. Las técnicas para pulverizar las pinturas viscosas **UV/EB** incluyen: aumento de la presión para impulsar la pintura a través de las boquillas de las pistolas aspersoras; dilución con un **solvente** orgánico (**VOC**); dilución con agua; o bien, alguna combinación de pistolas aspersoras calentadas y estas técnicas. La viscosidad en las nuevas pinturas **UV/EB** por pulverización se ha reducido, pero sigue siendo mayor que la que se utiliza típicamente para la pulverización de pinturas convencionales. Los **diluyentes reactivos** (es decir, **diluyentes** que forman parte del **revestimiento** curado) reducen la viscosidad y son menos tóxicos y volátiles de lo que alguna vez fueron. Sin embargo, dado que las pinturas **UV/EB** tienden a ser más viscosas, las pistolas aspersoras calentadas podrían ser necesarias para lograr una viscosidad de la pintura **UV/EB** más cercana a aquella de las pinturas convencionales. Los nuevos **revestimientos UV/EB** reducen significativamente o eliminan la descomposición del **revestimiento**, los vapores y/o los problemas de humos de aerosol experimentados en el pasado al utilizar pistolas calentadas aspersoras. Si se utilizan, los **solventes** orgánicos deben eliminarse por evaporación rápida antes del curado con **UV/EB**, lo cual por lo general aumentan las emisiones **VOC** que tal vez deban ser controladas mediante tecnología adicional de control de las emisiones. El agua puede disminuir exitosamente la viscosidad de algunos **revestimientos** curados con **UV/EB** sin introducir un **VOC**.⁴⁰ Sin embargo, cuando se utiliza un **solvente** orgánico o agua para ajustar la viscosidad, se requerirá tiempo de secado, espacio y energía adicionales.

La misma cabina de pulverización de pintura utilizada para aplicar los **revestimientos** convencionales se puede emplear para las aplicaciones con **UV/EB**. Una cabina de pulverización de pintura donde se aplican **revestimientos** convencionales debe tener un flujo de aire positivo a través de la misma, para evitar la acumulación de combustible o vapores explosivos, y para transportar el **VOC** y el **exceso de pulverización**

lejos de los trabajadores. Dado que las pinturas **UV/EB** contienen poco o ningún **VOC** (a menos que se utilice un **VOC** para ajustar la viscosidad), el **exceso de pulverización** es la preocupación principal en el caso de aplicaciones **UV/EB**. Como resultado de ello, si no hay un **VOC** presente, es posible que se requiera menos flujo de aire. El **exceso de pulverización** en una aplicación **UV/EB** se lleva a un arrestor de **exceso de pulverización** (un tipo de filtro de aire) para proteger a los trabajadores. El **exceso de pulverización** recogido desde un arrestor puede volver a usarse dado que los **revestimientos UV/EB** retienen su fluidez y no se secan. Sin embargo, si se agregó un **solvente** para ajustar la viscosidad, podría requerirse la adición de **solvente** antes de reutilizarse el **exceso de pulverización** capturado.

La **eficiencia de transferencia** para una técnica de aplicación de pulverización en particular es aproximadamente la misma para ambos tipos de **revestimientos**, sean éstos convencionales o **UV/EB**. No obstante ello, la recolección y reutilización del **exceso de pulverización UV/EB** puede mejorar la eficacia global de una operación de **revestimiento**; es decir, la razón de los sólidos del **revestimiento** aplicados sobre un **sustrato** entre la cantidad total de los sólidos del **revestimiento** consumidos mejora, porque la reutilización del **exceso de pulverización** de un **revestimiento UV/EB** reduce el consumo general del **revestimiento**. Por ejemplo, cuando la **eficiencia de transferencia** es de aproximadamente el 50%, la eficacia general de una operación de **revestimiento** podría mejorar en aproximadamente el 95% con los **revestimientos UV/EB** al utilizar un arrestor que captura el 90% del **exceso de pulverización** y reutilizar dicho **exceso de pulverización**. De modo similar, las pistolas aspersoras electrostáticas normalmente tienen una **eficiencia de transferencia** del 90%, pero la eficacia general de una operación de **revestimiento** que usa pistolas aspersoras electrostáticas puede ser de aproximadamente el 99% para los **revestimientos UV/EB** cuando se captura y reutiliza el **exceso de pulverización**.

Otras técnicas de aplicación

Se utilizan elementos giratorios de alta velocidad para aplicar **revestimientos UV/EB** en componentes microelectrónicos. Se aplica un **revestimiento** fotoprotector al centro de un **sustrato**, el cual luego se gira para dejar sólo una delgada capa en el **sustrato**. El **revestimiento UV/EB** fotoprotector puede contener un **solvente** o podría calentarse para reducir la viscosidad, si fuera necesario, para controlar el grosor del **revestimiento**. (Nota: El fotoprotector convencional contiene un **solvente** que se deberá evaporar para lograr esta película delgada.) El **revestimiento UV/EB** luego se cura en áreas selectas por exposición a energía radiante. Las áreas no curadas luego se eliminan por lavado con **solvente** para dejar expuestas las áreas no curadas al grabado químico, a la adulteración para cambiar las propiedades electrónicas, a la oxidación para formar aisladores o a la deposición de metal para formar conductores. El **revestimiento** luego se remueve y se aplica otro **revestimiento** para el próximo paso del proceso.

Se utiliza el **revestimiento** por flujo o cortina con objetos que se mueven a través de una cortina fluvente de **revestimiento** (similar a una cascada). Esta técnica se utiliza ventajosamente con los **revestimientos UV/EB** porque éstos carecen de ingredientes volátiles. Los ingredientes volátiles en los **revestimientos** convencionales requerirían un reemplazo para compensar por la evaporación de la cortina fluvente.

PARTE II: DETALLES

Ahora que tiene un entendimiento básico de los **revestimientos, tintas y adhesivos UV/EB** y cómo éstos difieren de los sistemas convencionales transportados por **solventes** y por agua, probablemente tiene algunas preguntas intuitivas. En esta sección, trataremos de responder a dichas preguntas y suministrar detalles sobre la tecnología **UV/EB** y su aplicación.

ENERGÍA RADIANTE UV/EB

En esta sección, se explica en detalles la **energía radiante UV/EB**. Los temas abarcan las fuentes de **energía radiante UV/EB**, la **radiación ionizante UV/EB** y la penetración de la **radiación UV/EB**. Tal como se indicó con anterioridad, ha existido mucha confusión con respecto al término **radiación** y hemos tratado de usar el término **energía radiante UV/EB** para evitar dicha confusión. Sin embargo, al detenernos en ciertos temas, se utilizará el término **radiación**. Mientras lea estas secciones, tenga en cuenta que la **radiación UV/EB** y la **radiactividad** no son lo mismo, y no deben confundirse entre sí. La única conexión entre la **radiación** y la **radiactividad** es puramente lingüística (es decir, tanto la palabra **radiación** como la palabra **radiactividad** usan la raíz **radi-** para describir la propagación radial de la energía por partículas y **ondas electromagnéticas** desde una fuente). Consulte el Apéndice A, **Radiación ultravioleta y por haz de electrones vs. radiactividad**, para obtener información adicional.

La **energía radiante UV** no penetra la piel, pero puede causar quemaduras de sol y tostado de la capa superior de piel – igual que la luz solar. La **radiación UV** de las unidades de curado puede ser mucho más intensa que aquella que proviene de la luz solar y puede quemar o tostar la piel con mayor rapidez. Cuando las fuentes de **UV** están correctamente blindadas, no ocurrirán la irritación ocular, el tostado de la piel y las quemaduras de sol. **EB** produce **rayos X** al cambiar de velocidad los electrones a alta velocidad y ser absorbidos por el aire, un **revestimiento, tinta o adhesivo EB**, el **substrato** o una parte absorbente una prensa de impresión o aparato de **revestimiento**. Los **rayos X** pueden penetrar y de hecho penetran el tejido humano, pero un blindaje correcto de las unidades de curado con **EB** reduce este peligro a valores menores que los niveles de fondo.

¿CÓMO SE GENERA LA ENERGÍA RADIANTE UV/EB?

Las fuentes de **energía radiante UV** y **EB** son bastante diferentes. Por ello, cada una se explicará independientemente. En términos generales, las fuentes de **energía radiante UV** han evolucionado para la producción continua y discreta de elementos planos (de 2 dimensiones) y tridimensionales (**3D**), pero el **EB** ha continuado siendo principalmente un proceso continuo plano, con sólo unos pocos casos de uso para la producción **3D** discreta.

Fuentes de UV

La **energía radiante UV** con frecuencia se genera mediante arcos eléctricos en lámparas de arcos de vapor de mercurio a mediana presión (de aproximadamente dos atmósferas), tal como se muestra en la Figura 2. Estas lámparas por lo general están fabricadas de cuarzo formado en un

tubo cilíndrico largo, para proporcionar una iluminación uniforme en todo el ancho de la **banda**. Las lámparas también contienen un gas, como argón, que ayuda a ionizar el mercurio. Cuando el arco de arranque está en funcionamiento, el mercurio en la lámpara aún no se ha vaporizado completamente y, durante varios minutos, tanto el espectro como la intensidad de la **radiación** estarán cambiando. Asimismo, las bombillas de arcos de vapor de mercurio tienen una característica de corriente versus voltaje que no es para nada lineal. Como resultado de ello, requieren un lastre o balasto - similar a las lámparas fluorescentes, pero a una potencia más alta. Se ha evaluado el rendimiento de diversos diseños de estos lastres o balastos. No existe verdaderamente una única respuesta para todas las aplicaciones, pero la selección de lastres o balastos se basa en una solución de compromiso entre el costo, tamaño, ruido y potencia.⁴² La longitud del tubo cilíndrico de cuarzo con los electrodos limita el ancho de la **banda** que se puede utilizar. Para el caso de lámparas de arco de mercurio, esto tiene un límite práctico de aproximadamente 5 pies.

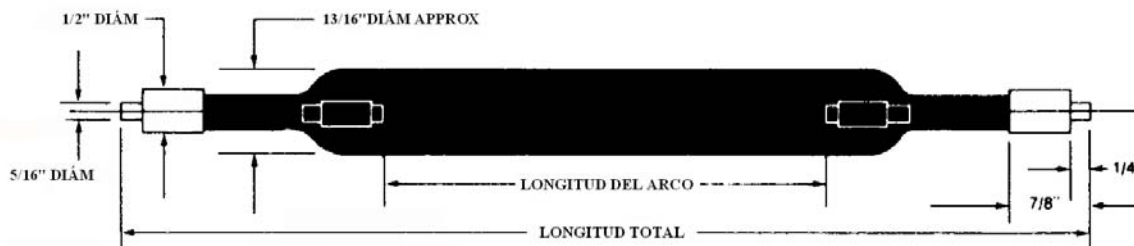


Figura 2: Lámpara de arco de mercurio para generar *UV*

Las bombillas excitadas por microondas, otra fuente de **radiación UV**, se llenan con vapor de mercurio y un gas iniciador fácilmente ionizado, tal como argón o xenón (vea la Figura 3). La luz es producida por un plasma que es generado por la **radiación** de microondas y, como resultado de ello, estas bombillas no tienen electrodos que penetran el envoltente de cuarzo. Dado que se carece de estos electrodos, las lámparas excitadas por microondas no están sujetas a fugas o roturas alrededor de tales electrodos. En consecuencia, las lámparas excitadas por microondas tienden a durar mucho más que las lámparas de arco. Dado que no se requiere espacio para los electrodos, las bombillas excitadas por microondas pueden lograr curados en **bandas** muy anchas (hasta seis metros o 20 pies) y concebiblemente más. Las lámparas excitadas por microondas pueden conformarse para suministrar un curado **3D** más uniforme y no están restringidas a una geometría cilíndrica larga. Por lo tanto, pueden asumir cualquier forma que los diseñadores ópticos tengan en mente y que los fabricantes de lámparas puedan producir. Las lámparas excitadas por microondas pueden usarse de manera intermitente porque ellas arrancan casi inmediatamente. También pueden operarse de manera continua.

Recientemente, se han desarrollado lámparas que operan sin temperaturas elevadas, que se encienden instantáneamente y que producen un espectro lineal en el **UV cercano** que no genera ozono.³²

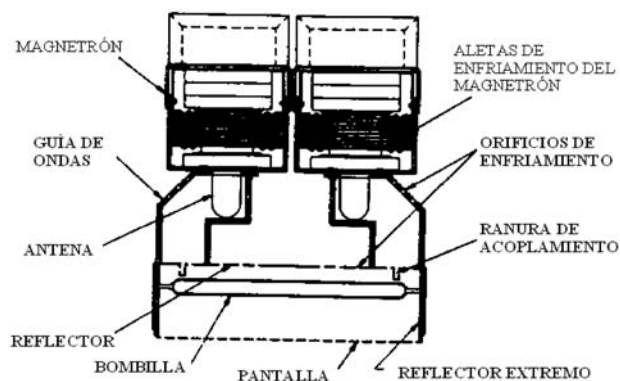


Figura 3: Bombilla excitada por microondas con generador

También hay lámparas de arco de xenón o argón que usan **excímeros** para generar **UV/EB**. Los mismos generan un plasma térmico en gas xenón o argón que luego excita un **excímero**. Parece que los pulsos de radiancia de alta intensidad provenientes de estas lámparas pueden penetrar aún mejor que el brillo uniforme de menor intensidad proveniente de las lámparas de vapor de mercurio. Estas lámparas de arco pueden emitir pulsos repetidamente (estroboscópicos) para brindar un curado esencialmente continuo, o pueden usarse para la **radiación UV** que es requerida sólo intermitentemente a un punto (tal como lo que sucede con fuentes manuales). La frecuencia y el número de centelleos pueden ajustarse para brindar la dosis requerida para el curado. Las fuentes manuales de puntos de **UV** usan mucho menos potencia, emplean un espejo para concentrar la energía y pueden utilizar una varilla o fibra óptica para dirigir la energía. Las fuentes manuales se utilizan para empalmar fibras ópticas, adherir lentes, adherir elementos a tarjetas de circuitos impresos, encapsular componentes electrónicos pequeños o incluso adherir trabajos artísticos. Estas fuentes manuales compactas producen menos calor y consumen menos potencia con mayor penetración de **UV** que las lámparas de arcos de mercurio o las lámparas de vapor de mercurio excitadas por microondas.

La adición de **excímeros** a las lámparas de arco de vapor de mercurio, lámparas excitadas por microondas o lámparas llenas de argón o xenón puede generar más salida radiante en las porciones selectas del **UV cercano** o actínicas del espectro. Por ejemplo, una bombilla rellena de sistemas de Fusión **UV "D"** tiene un **excímero** que puede producir un amplio espectro con una intensidad máxima a 370-380 nm. Los **excímeros** son **dímeros** excitados. Estas moléculas se excitan, separan y recombinan sueltan energía en una banda dada y a veces estrecha de longitudes de onda. Los **excímeros** pueden emitir longitudes de onda más cortas que aquellas de los **fotones** usados para excitarlos. Esto sucede porque más de un **fotón** puede excitar una molécula de **dímero** para causar su separación, pero sólo se emite un **fotón** al recombinarse la molécula. El **excímero** no es consumido en este proceso. En comparación, el fenómeno de la **fluorescencia** siempre produce longitudes de onda más largas que aquellas de un **fotón** absorbido. La **fluorescencia** es causada por una molécula que absorbe un **fotón** y reirradia la energía a una longitud de onda definida más larga.

Cada vez que se utilice vapor de mercurio o **excímeros**, las bombillas que hayan llegado al final de su vida útil deberán desecharse adecuadamente. Esto podría requerir aplastar las lámparas para recuperar el mercurio, reciclar el cuarzo, capturar cualquiera de los **excímeros** que pudieran ser contaminantes peligrosos, y recuperar los electrodos.

Una lámpara con frecuencia es apoyada por un espejo semi-elíptico para concentrar la **radiación** y obtener la intensidad más alta (vea la Figura 4). Una elipse tiene dos focos. Al colocar una fuente en un foco, la imagen de dicha fuente aparece en el otro foco. La **radiación UV** es enfocada para lograr la mayor intensidad posible, porque tanto la longitud de onda como la intensidad tienen un papel en el curado. La intensidad es el flujo de energía o la proporción a la cual se absorben los **fotones**. Más de un **fotón** puede ser absorbido por una molécula y las energías de los fotones absorbidas están disponibles para la ionización. Esto permite también que longitudes de onda más largas cumplan un papel.

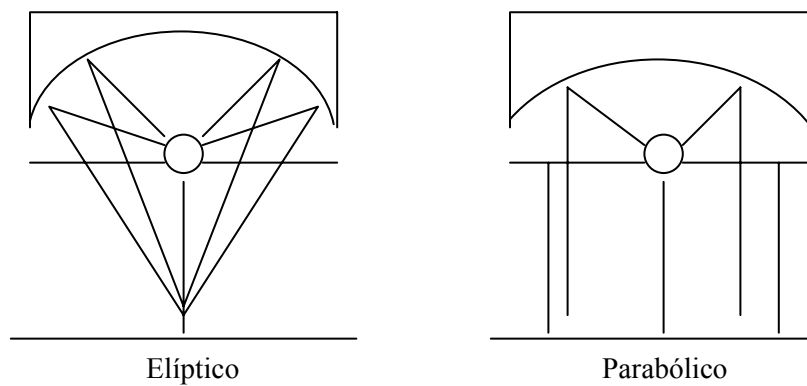


Figura 4: Reflectores de luz **UV**

Las lámparas también pueden tener como fondo reflectores parabólicos. Tal como se muestra en la Figura 4, los reflectores parabólicos sólo tienen un foco que envía la luz desde el foco como rayos paralelos que se alejan del reflector. También se utiliza una gran variedad de reflectores con hoyuelos y superficies de difusión cuando no son necesarios un foco nítido ni una alta intensidad. Se utilizan todos los tipos de reflectores, al menos para diferentes tipos de curados.

Es posible que se requiera más de una lámpara **UV** en una unidad de curado con **UV**. La dosis que reciben los objetos (por ejemplo, la **banda** en la impresión, o los muebles en un curado **3D**) desde las lámparas **UV** se determina por la potencia de las lámparas, la intensidad de la **radiación**, la absorción de la **radiación** por medio de una **tinta, revestimiento o adhesivo**, la absorción del espectro de **energía radiante UV** por el **fotoiniciador** y la velocidad con la que fluyen los objetos a través de la **energía radiante UV** en una unidad de curado. En la impresión y en el **revestimiento de bandas**, la velocidad de la **banda** (la velocidad a la que pasa un **sustrato** a través de una unidad de curado) determina la tasa de producción. Las tasas de producción con curado **UV** han estado en aumento a medida que las lámparas han sido más eficientes y potentes, y los adelantos en la química de los materiales curados con **UV** ha mejorado la **polimerización**.

La fuente de **energía radiante UV** debe seleccionarse para que coincida con los requisitos de absorción del **fotoiniciador** que las lámparas han de activar. La fuente también debe proporcionar **energía**

radiante UV a lo largo de toda la superficie de la película aplicada, dada la configuración del producto. Por lo tanto, la intensidad de la **energía radiante UV** deberá penetrar lo suficiente como para curar una **tinta, revestimiento o adhesivo UV** en todo su volumen; el material **UV** debe curarse con el **fotoiniciador** elegido; y la fuente de **energía radiante UV** debe ser compatible con el **fotoiniciador** y la forma del **substrato**. Para todas las Lámparas **UV**, una gran porción de su espectro (vea la Figura 5) no logra equiparar la absorción del material curado con **UV** o el **fotoiniciador** que se está usando. Las lámparas y los **exímeros** se seleccionan teniendo en cuenta que su salida tenga su valor máximo a la longitud de onda de máxima absorción del **fotoiniciador**. Las lámparas y los **excímeros** deben seleccionarse teniendo en cuenta su salida de un pico de intensidad de energía emitida que absorbe el **fotoiniciador**, porque el **fotoiniciador** se utiliza para lograr sensibilidad y minimizar la dosis de **energía radiante UV** requerida para el curado. Cuando es necesario dirigirse al consumo de energía, el **fotoiniciador** debe ser un tema de interés fundamental.

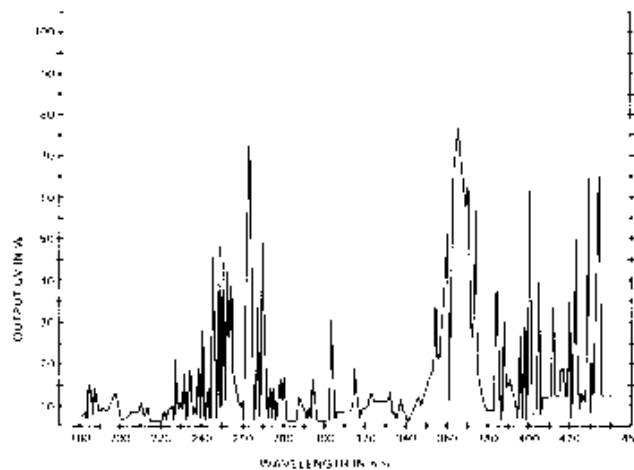


Figura 5: Espectro de **UV** de una lámpara de vapor de mercurio (sin excímero)

Los rayos por lo general se transmiten una distancia corta (hasta 25-50 cm ó 10-20 pulgadas) a través del aire o una atmósfera de nitrógeno para minimizar la formación de ozono. Dado que el aire y el nitrógeno son esencialmente transparentes al **UV**, y que las partículas de aerosol que causarían la dispersión del **UV** son escasas, esta distancia no es crítica. La generación directa de ozono y **NO2** no es un problema si se utilizan un **recubriente de nitrógeno** sin oxígeno, una lámpara sin ozono o un filtro de cuarzo. Las bombillas de mercurio sin ozono se fabrican de un tipo de cuarzo que absorbe fuertemente la energía por debajo de 260 nm de longitud de onda.

Las lámparas de arco de vapor de mercurio pueden demorar varios minutos en calentarse. Por lo general se suministra un obturador para proteger la **banda** y evitar incendios durante el calentamiento. Si no se dispone de un obturador, se mantiene en funcionamiento la línea de impresión y **revestimiento** para evitar que la **banda** se funda o incendie mientras se calientan las lámparas. Un **substrato** o **banda** que pasa a través de una prensa o recubridor durante el calentamiento de la bombilla se convierte en un desecho sólido con **tinta** o **revestimiento UV** sobre el mismo. Esto puede ser un desecho sólido peligroso porque la **tinta** y/o **revestimiento UV** no están curados. Se puede convertir en un desecho sólido no peligroso simplemente

exponiéndolo a una cantidad suficiente de luz solar. Un obturador que permanece cerrado también puede proteger una **banda** estacionaria hasta que se calienten las lámparas de arcos de vapor de mercurio, minimizando así tales desechos.

Tanto las lámparas de arco de vapor de mercurio como las lámparas excitadas por microondas normalmente operan a aproximadamente 800°C. La **energía radiante UV** proveniente de cada una de ellas es proporcional a sus áreas superficiales. Las lámparas de arco de vapor de mercurio tienen más del doble del área superficial para la misma radiancia **UV** y, por tanto, más del doble de la **energía radiante IR** comparadas con las lámparas excitadas por microondas. Como resultado de ello, las lámparas de arco de vapor de mercurio causarán un aumento de temperatura mayor en un **sustrato** para la misma dosis de **UV**.

Para evitar daños de la **tela** por el calor (**energía radiante IR** altamente concentrada) y un peligro de incendio al romperse o detenerse una tela, los dispositivos de curado con **UV** por lo general vienen equipados con uno de los elementos siguientes: (1) agua desionizada en tubos para absorber la **energía radiante IR**; (2) un sistema óptico dicroico (vea la Figura 6) (3) un obturador que se cierra automáticamente al detenerse la **banda**; o (4) una fuente de luz fría. En la opción (1), el agua desionizada fluyente transmite **UV** a la vez que absorbe el **IR**. Un sistema óptico dicroico (2) utiliza los **revestimientos** en el reflector que transmiten **UV** con muchas menos pérdidas de interferencia que lo que sucede con la **energía radiante IR** y, por tanto, reducen la posibilidad de que los **IR** incidentales alcance la **tela**. Un obturador correctamente ventilado (3) absorbe toda la **radiación** mientras la **tela** se mueve con demasiada lentitud. En la opción (4), la fuente de luz carece de cualquier tipo de **IR** que podría inflamar una **tela**.

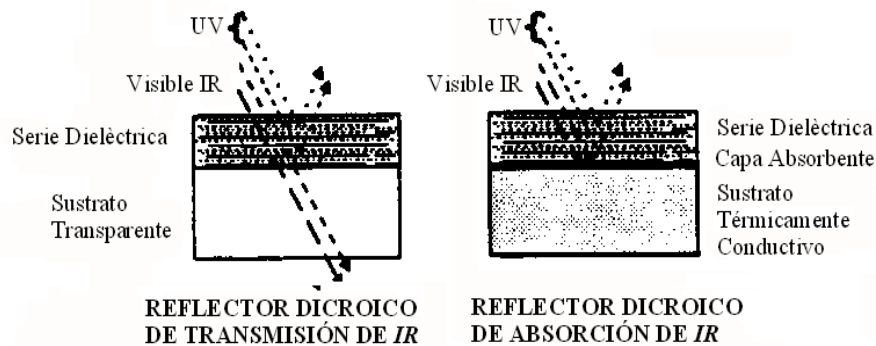


Figura 6: Revestimientos dicroicos

Fuentes de EB

Se utilizan los cañones electrónicos para generar **haces de electrones** de manera similar al tubo de imágenes de **TV**. Estos haces pueden desviarse, tal como sucede como un haz que forma una trama exploradora en una pantalla de **TV** o en el monitor de una computadora. Un haz proveniente de estos cañones electrónicos puede concentrarse magnéticamente para crear un punto pequeño que se mueve rápidamente. Los **haces de electrones** también pueden generarse por los filamentos lineales y cátodos que luego son dirigidos por electrodos electrostáticos para

formar su imagen en un **substrato**, tal como se indica en la Figura 7. Pueden usarse filamentos o cátodos múltiples cuando se requieran corrientes más altas para lograr velocidades de producción más elevadas.

Un **EB** es capaz de curar **tintas** de impresión dentro de una muy corta longitud de la unidad de curado (excluyendo aquellas piezas requeridas para el blindaje y los deflectores), y tiene suficiente capacidad de curado como para permitir altas velocidades de **tela**. Las unidades de curado con **EB** más antiguas con frecuencia tenían más capacidad de producción de la que era necesaria. Debido al costo del blindaje y de la manipulación de altos voltajes, así como de las mejoras en las **tintas**, **revestimientos**, **adhesivos EB** y en los respectivos **fotoiniciadores**, ha habido una tendencia para producir cañones electrónicos más pequeños con menores voltajes. Sin embargo con frecuencia no se necesitan **fotoiniciadores** para los curados **EB**, se les ha usado para curar películas gruesas en objetos **tridimensionales** con un menor voltaje de **EB**.

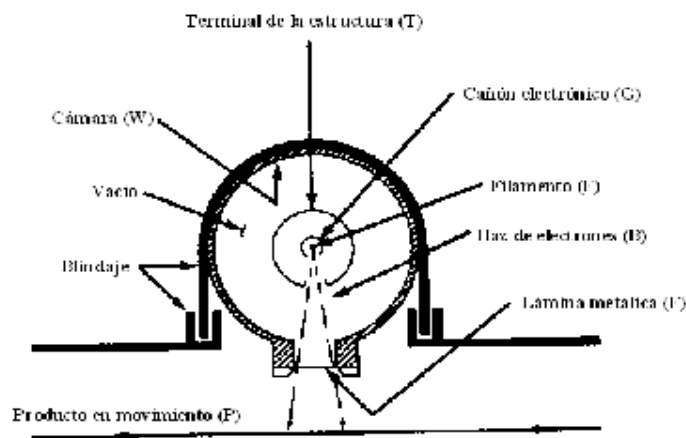


Figura 7: Diagrama esquemático de un cañón electrónico

Las primeras unidades de curado con **EB** usadas con prensas de impresión (y por lo general, conectadas a ellas) eran relativamente grandes en comparación con las unidades de curado con **UV** porque las unidades **EB** tenían que incluir mucho más blindaje (algunas incluso usaban bóvedas de concreto para encerrar una prensa). Estas primeras unidades **EB** tenían una capacidad de producción (curado) mucho mayor que las primeras unidades **UV** y utilizaban hasta 10 **MV** para acelerar los electrones. Los cañones electrónicos más modernos usan aproximadamente 35 **KV** en un paquete de aproximadamente 3 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de largo. Como resultado de esta reducción sustancial de energía, las actuales unidades de curado con **EB** no requieren un blindaje tan masivo. La capacidad de exceso de producción asociada con **EB** en los últimos años se ha reducido, y la capacidad de producción tanto para **EB** como para **EB** está convergiendo a un punto originariamente intermedio entre ambas técnicas. Asimismo, la mayor eficiencia en el uso de potencia **EB** se obtiene al emplear **fotoiniciadores catiónicos** y ha dado como resultado menores fuentes de voltaje.

Los **haces de electrones** son sensibles a la densidad del gas entre una fuente **EB** y un objeto a ser curado. Una unidad **EB** ionizará el oxígeno del aire para crear ozono y óxido de nitrógeno; por lo tanto, se recomienda encarecidamente el uso de un **recubriente de nitrógeno** para evitar la formación de óxido de nitrógeno y ozono.

Se disminuye la velocidad de los electrones mediante múltiples impactos con moléculas de gas que rodean a un **substrato** (presumiblemente nitrógeno, pero lo mismo es cierto para el oxígeno). Esto causa que un **haz de electrones** se degenera en una dispersión múltiple difusa de electrones. Los electrones dispersos son mucho más numerosos que los electrones en el haz original, porque resultan de un efecto de avalancha. La dispersión ocurre porque los núcleos están rodeados por numerosos electrones que tienen la misma masa que los electrones del haz. Para minimizar este problema, se suministra un espacio evacuado sellado desde la fuente de **EB** hasta dentro de una pequeña distancia del **substrato**. Una ventana compuesta por una lámina de titanio forma el sello hermético al aire para mantener un vacío para el espacio evacuado.

Se elige el titanio para la ventana porque: (1) tiene un **número atómico (Z)** bajo y es un metal de densidad baja que se calienta absorbiendo aproximadamente la mitad de los electrones del haz, pero no se calienta lo suficiente como para perder su fuerza; (2) puede fabricarse para formar una lámina que es lo suficientemente delgada como para minimizar las pérdidas de electrones; (3) es lo suficientemente fuerte como para permitir que una lámina delgada soporte la presión atmosférica, incluso cuando haya un **haz de electrones** encendido; y (4) es muy resistente a la corrosión por lo que no se oxidará cuando se le calienta moderadamente. Hasta el momento de poder fabricarse la lámina de titanio (alrededor de 1970), no existía un material de ventana apropiado y, por lo tanto, no era posible lograr un **haz de electrones** energético en el aire. Los electrones se dirigen hacia la ventana laminada porque perderían demasiada energía si atravesaran una pared metálica más gruesa. Incluso perderían demasiada energía si atravesaran suficiente vidrio como para proporcionar un adecuado sello para el vacío.

Cuando la corriente de electrones pasa por la ventana, encuentran sus primeras moléculas de aire o nitrógeno, y se dispersan con bastante intensidad. No obstante ello, una corriente intacta de electrones continúa por varios milímetros (dependiendo de la velocidad inicial). Esta corriente intacta de electrones se hace más y más difusa a medida que aumenta la distancia. Después de sólo unos pocos centímetros, la corriente de electrones se dispersa y difunde. A medida que el **haz de electrones** pierde energía por impactos y captura, genera **rayos X**. Finalmente, sólo permanecen los iones, con irradiación de **rayos X** desde donde antes había estado el **haz de electrones**.

Los **haces de electrones** son sensibles a la densidad del gas que rodea el objeto a ser curado y para ionizar el oxígeno en el aire (los iones de oxígeno crean ozono). Después de pasar por la ventana laminada, los electrones disminuyen su velocidad y resultan dispersos por impactos con gases moleculares en el aire. Como resultado de ello, se debe colocar una ventana laminada muy cerca (~ 1 mm) a un material que ha de ser curado a presión atmosférica.

Se han construido cámaras de vacío para curar con **EB** objetos plásticos reforzados con filamentos.¹⁸ Estas cámaras de vacío son apropiadas para curar objetos compuestos reforzados con fibra que sean lo suficientemente pequeños para caber dentro de una cámara. Estas cámaras

también son apropiadas para el curado con **EB** de **revestimientos** en el exterior de tales objetos. Estas cámaras no son bien apropiadas para las aplicaciones de **revestimiento** continuo tales como la impresión en huecograbado o el **revestimiento** de fibras ópticas.

¿QUÉ ES LA RADIACIÓN IONIZANTE **UV/EB**?

La **radiación ionizante** es **radiación** que puede ionizar una molécula. Dado que no todas las moléculas son ionizadas por la misma cantidad de energía, la pregunta es saber de qué molécula se trata. El término **radiación ionizante** por lo general se refiere a la cantidad de **radiación** que ionizará el oxígeno en aire; es decir, **radiación** con una longitud de onda más corta que 253 nm (esto incluye **energía radiante UV actínica** generada en sistemas de curado con **UV** y electrones y **rayos X** generados en sistemas de curado con **EB**). Las **tintas, revestimientos y adhesivos** curados con **UV/EB** también contienen otras moléculas que pueden ser ionizadas por **radiación** a estas longitudes de onda.

La energía **UV** es selectiva en las moléculas que puede ionizar. Por otra parte, la energía **EB** ioniza todo lo que encuentra en su camino, hasta absorberse todos los electrones. Los sistemas **EB** generan **rayos X** al absorberse los electrones. Estos **rayos X** también pueden ionizar moléculas.

La **radiación ionizante** puede incluso significar luz visible si se utiliza un **foto - iniciador** sensible a una longitud de onda visible para ionizar las moléculas. Incluso la energía **IR** puede ionizarse cuando es lo suficientemente intensa como para incendiar un objeto.

Tanto la **radiación UV** como **EB** tiene **fotones** o partículas que son lo suficientemente energéticas como para romper las uniones moleculares. Es importante darse cuenta que los **fotones** de una dada longitud de onda (o color si son visibles) todos tienen el mismo nivel de energía y que dicho nivel de energía aumenta a medida que la longitud de onda irradiada disminuye. La cantidad de energía en cada **fotón** se determina mediante la fórmula siguiente:

$$\text{energía} = hf = hc/\lambda$$

donde h = constante de Planck

f = frecuencia

c = velocidad de la luz

λ = longitud de onda

La intensidad indica el número de **fotones** que choca con un detector por unidad de tiempo. Los **fotones** tienen energía definida por la longitud de onda hasta que sean absorbidos. Esto contrasta con el concepto en física cuántica que considera a los **fotones** como partículas sin masa que se usan como una alternativa al comportamiento de las ondas. La descripción del fenómeno como una onda y también como una partícula no es lógica. ¿Cómo puede haber una partícula dondequiera que se desplace una onda? ¿Cómo puede un **fotón** tener un sólo tipo de energía, mientras que la energía de una partícula varía? Sin embargo, se usan ambos conceptos para describir las características de onda y partícula de la **radiación**. Sabiendo que esto es así, debemos ahora analizar la **radiación ionizante** usada para el curado con **UV/EB**.

OSHA no incluye el *UV* en su definición de **radiación ionizante**, si bien el *UV* puede ionizar el oxígeno en aire cuando la longitud de onda es menor que 253 nm. Desde el punto de vista de la *EPA*, la **radiación ionizante** puede ser cualquier longitud de onda más corta que la luz azul; por lo tanto, la **radiación ionizante** es cualquier longitud de onda de menos de 400 nm. Puede ser **radiación en el UV cercano** (315 - 400 nm de longitud de onda), **radiación en el UV lejano** o **actínica** (180 - 315 nm de longitud de onda),¹ **rayos X** (0.1- 40 nm de longitud de onda), o rayos gamma (<0.1 nm de longitud de onda).

Algunas fuentes definen la **radiación ionizante** con longitudes de onda entre 40 nm y 180 nm como *UV*. Sin embargo, la capacidad de generar ozono de las **ondas electromagnéticas** con longitudes de onda de menos de 253 nm y la dificultad de generar estas ondas restringe en gran medida el uso de estas longitudes de onda para curar materiales *UV/EB*.

Otra definición de **radiación ionizante** divide el espectro *UV* en partes. Define *UV-A* como de 315-400nm, *UV-B* como de 280-315 nm, *UV-C* como de 200-280 nm y *UV* de Vacío como de 100-200 nm. En este esquema, *UV-A* es el límite inferior de longitud de onda para la visión humana, es transmitido por el vidrio de las ventanas, y puede aumentar la pigmentación de los tejidos. *UV-B* es principalmente energía eritrogénica; es decir, causará el enrojecimiento de la piel, aumentará la pigmentación del tejido y causará irritación ocular. El efecto más común de exposición a *UV-B* es el eritema (quemadura de sol) que generalmente aparece dentro de las tres horas y se hace más grave aproximadamente 12 horas después de la exposición. *UV-C* es filtrado de la luz solar por el ozono pero, cuando es fabricado por el hombre, tiene importantes propiedades de esterilización y otros usos industriales. El uso de *UV-C* o *UV* de Vacío requiere una atmósfera sin oxígeno para evitar la formación de ozono.

Algunos materiales necesitan más energía para ionizarse que la que se suministra por un choque con un **fotón** de **radiación** disponible en un período breve de tiempo y son, por lo tanto, dependientes de la intensidad de la **radiación** para la ionización. La intensidad es la velocidad a la que se absorben los **fonones**. Incluso la **radiación IR** de longitud de onda larga puede ionizar las moléculas si es lo suficientemente intensa. Sin embargo, la **radiación IR** por lo general no se considera **radiación ionizante** para el curado porque funde o quema los **substratos**. Sólo los **fonones** de longitudes de onda más cortos y los electrones tienen en realidad suficiente energía como para causar la ionización de las moléculas de **tintas, revestimientos y adhesivos UV/EB** sin causar daños a un **substrato**.

La intensidad de *UV* se mide en vatios por centímetro cuadrado. Las dosis de **rayos X** y rayos gamma se miden en Roentgens, (1*Roentgen*; $R = 100$ ergs/gramo) o en el Roentgen Equivalent for Mankind (REM, dosis equivalente en renguen en el hombre, que es la integral a lo largo de todo el espectro de Roentgens por el factor de adsorción para el tejido humano **REM**).² La dosis de los **haces de electrones** se mide en unidades de **radiación** absorbidas, o **Grays** (1.0 Gy = 1.0 Julios/kg).

¿HASTA QUÉ PROFUNDIDAD PENETRA LA RADIACIÓN IONIZANTE?

Radiación ionizante UV

La **energía radiante UV** penetra hasta sólo poca profundidad en un **revestimiento, tinta o adhesivo**, en la ropa o en la piel humana. Por lo tanto, la **energía radiante UV** por lo general se utiliza para aplicaciones de película delgada tales como **tintas** de impresión, **adhesivos** piezosensibles, formación de **adhesivos** permanentes, o algunas pinturas. La **energía radiante UV** es absorbida por pigmentos, **monómeros, oligómeros y fotoiniciadores** sensibles a dicha longitud de onda de **UV** para romper las uniones moleculares. El aire o el nitrógeno son esencialmente transparentes a la **radiación UV**. No obstante ello, una **tinta, revestimiento o adhesivo** agotará la **energía radiante UV** dentro de una poca profundidad, con frecuencia menos de una milésima de pulgada.

Radiación ionizante EB

En el curado con **EB**, los electrones tienen un rango limitado antes de dispersarse en el aire. También tienen un rango limitado (1 - 20 mm) dentro del material a curar. Este rango es un función de la velocidad de los electrones (por lo general medida en electrón voltios) en la superficie del material que se está curando, la densidad de dicho material y el **número atómico (Z)** de las moléculas que componen el material. A medida que aumenta el voltaje **EB**, los electrones se mueven con mayor rapidez y, a medida que los electrones se mueven más rápidamente, penetran a mayor profundidad. Para electrones y **rayos X**, los mayores con mayor **Z** tienen mayor potencial de absorción porque un **EB** es atenuado al reaccionar con electrones orbitales. La mayoría de los núcleos en los materiales curados con **EB** tienen aproximadamente la misma sección transversal de captura baja para electrones dispersos como para electrones de alta energía. Un **EB** ioniza (cambia el equilibrio electrónico de) los átomos y moléculas que lo capturan. Los electrones en un haz pierden energía a los electrones con los que tienen impacto y disminuyen su velocidad. Los electrones se capturan con más facilidad (es decir, la sección transversal de captura es mayor) cuando se están moviendo a mayor lentitud.

Estos electrones de movimiento rápido en un haz son retardados por impactos con los electrones orbitales de los átomos y la carga positiva de los núcleos. Esto ocurre con las moléculas de aire así como con las moléculas del material curado con **EB**. Los electrones que sufren impactos pueden lograr una velocidad de escape o pasar a órbitas más grandes. Los electrones que logran la velocidad de escape se conocen como electrones dispersos. Los electrones dispersos, y aquellos que pasan a órbitas más grandes, causan que el átomo irradie energía como **rayos X**. Los electrones dispersos sufren impactos en otros átomos y producen una avalancha de electrones de menor energía que reemplazan los electrones que fueron perdidos.

A medida que los electrones de un haz disminuyen su velocidad, generan **rayos X**. Estos **rayos X** se denominan **brehmsstrahlung**, que es una palabra en alemán que significa “**radiación con frenos**” o “**radiación causada por retardos**”. Esto resulta de la disminución de la velocidad de los electrones, la dispersión de los electrones, la aceleración de los electrones orbitales, mientras que la **radiación** ciclotrónica es causada por las órbitas electrónicas más grandes. La **radiación** ciclotrónica produce una emisión característica del espectro de **rayos X** de banda angosta de **brehmsstrahlung** a longitudes de

onda que dependen de los átomos particulares de captura. Los materiales con bajo **Z** generan **rayos X** de longitud de onda más largos que no tienen tanta penetración. Los choques con los materiales de alto **Z** tienden a producir **rayos X** más energéticos que pueden penetrar con mayor facilidad. Los electrones que se escapan de la órbita producen un amplio espectro de **rayos X**. Todos los **rayos X** fabricados por el hombre se generan de esta manera.

El grado al cual los **rayos X** de la **radiación EB** penetran está relacionado con el **Z** del material, y la densidad que es penetrada. Los **rayos X** por lo general penetran en materiales de **Z** más bajo a una mayor profundidad. La densidad más alta de los materiales coloca más secciones transversales atómicas a lo largo de la trayectoria, lo cual causa una mayor atenuación. La atenuación es el término que se utiliza para describir la cantidad de **rayos X** absorbidos. Los **rayos X** que resultan de sistemas **EB** más antiguos con una capacidad excesiva han requerido una bóveda de concreto u otro blindaje apropiado alrededor de la prensa de impresión para contener y atenuarlos.

La mayoría de los **sustratos** y materiales curados con **EB** están compuestos de átomos oxígeno, hidrógeno, carbono y nitrógeno. Éstos son todos materiales de bajo **Z**. Algunos pigmentos y aditivos contienen materiales de alto **Z**, pero el efecto de ellos se mitiga por una delgada película de material. Por lo tanto, la penetración de **rayos X** de baja energía a través de materiales curados con **EB** y **sustratos** por lo general es muy grande. Cuando los átomos de mayor **Z** son excitados por **EB**, se genera una mayor penetración de **rayos X**. Estos **fotones** generados por **rayos X** también pueden ionizar las moléculas en los materiales curados con **EB**, tal como sucede de manera más directa con un **haz de electrones** y con la **energía radiante UV**.

Dado que un **EB** será absorbido generándose **rayos X**, los **rayos X** tendrán que ser atenuados. Esto se hace ahora insertando blindajes de metales pesados densos en la unidad de curado. También se puede hacer encerrando la prensa dentro de una bóveda de concreto. Las paredes de dicha bóveda podrían ser más delgadas añadiendo sales metálicas pesadas insolubles como relleno.

CURADO CON UV/EB

En esta sección, se suministran más detalles sobre la formación de **revestimientos, tintas y adhesivos UV/EB, fotoiniciadores**, la relación entre el grosor de la película (**revestimiento, tinta o adhesivo** aplicados) y la tasa de producción, las capacidades **3D**, la medición del grado de curado y todo lo demás que es necesario saber acerca del curado con **UV/EB**.

¿CÓMO SE FORMAN LOS REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS UV/EB?

Los materiales **UV/EB** se curan (forman una película sólida) por **polimerización y entrecruzamiento**. Hay muchos mecanismos de **polimerización**; sin embargo, en la actualidad, sólo se utilizan dos mecanismos de **polimerización** para el curado con **UV/EB**: **polimerización por radicales libres** y **polimerización catiónica**. Salvo el caso de los **revestimientos** en polvo, la mayoría de los **revestimientos UV/EB** comienzan con líquidos. Los **revestimientos** en polvo curados con **UV/EB** comienzan como partículas sólidas que se aplican a un **sustrato**, sometidas

a **energía radiante infrarroja** (calor) para fundirlos, y luego expuestas a **energía radiante UV/EB** para polimerizar el **revestimiento**. La **energía radiante UV/EB** rompe la molécula del **fotoiniciador** en el material **UV/EB** por fisión homolítica (para formar **radicales libres**), o por fisión heterolítica (para formar cationes y aniones). Esta fisión se refiere a romper una molécula en lugar de romper un átomo. (Es decir, que no significa lo mismo que el término empleado para las reacciones nucleares.) Estos **radicales libres** y cationes luego se combinan con moléculas de **monómero** o **oligómero** para formar un **polímero**.

Las propiedades de un **polímero** son el resultado de: (1) moléculas de **monómero** y **oligómero** que han formado parte de la cadena del **polímero**; (2) **entrecruzamiento** logrado por los grupos pendientes; y (3) la longitud de la cadena de **polímero** antes de la terminación. Una molécula de **polímero** puede terminarse de una de tres maneras:

1. Una cadena se une en el extremo a otra, lo cual crea un par de electrones que no continuarán reaccionando, o
2. Un átomo de oxígeno reacciona con el electrón libre de un **radical libre** y crea un par de electrones que no continuarán reaccionando, o
3. Las moléculas de **polímero** limitan la movilidad de las moléculas de **monómero** de modo que la reacción se detiene debido a la indisponibilidad de reactivos, y el **radical libre** llega al final de su vida útil.

El segundo mecanismo de terminación también se conoce como **inhibición por oxígeno**. Observe que ésta no es sólo una cuestión en la **polimerización por radicales libres**, y no en la **polimerización catiónica**. Se evita la **inhibición por oxígeno** al recubrir el área de reacción con nitrógeno seco para excluir oxígeno que de lo contrario estaría presente en el aire ambiente. La presencia de moléculas de oxígeno podría causar que las cadenas de **polímero** se terminen demasiado cortas, o bien, podría limitar el **entrecruzamiento**.

Los tipos de **monómeros** u **oligómeros** definen la estructura del **polímero** y, por lo tanto, sus propiedades. Las propiedades básicas son modificadas por el **entrecruzamiento** que une molecularmente las cadenas de **polímero** entre sí.

Si bien nos gustaría pensar que una dosis integrada al tiempo de **energía radiante UV/EB** causa un curado, la intensidad (la velocidad a la cual se absorbe la energía de los **fotones**) también es importante. Las moléculas en la superficie (el nivel más superior) pueden recibir 100 o más veces la intensidad de energía **UV/EB** que las moléculas en el nivel más inferior, adyacente al **sustrato**. Como resultado de ello, podría ocurrir una falla de adhesión si las moléculas de **revestimiento** del nivel más inferior no reciben suficiente energía radiante como para curarse.

Polimerización con radicales libres

Un **radical libre** es un fragmento molecular que tiene un solo electrón de valencia libre (vea la Figura 8). Los **Fotoiniciadores** son moléculas insaturadas (que tienen anillos de carbono

aromático o de arilos) que formar **radicales libres** con mucha facilidad. Los electrones de valencia no son reactivos cuando se los aparea con otro electrón de valencia; sin embargo, un único electrón de valencia siempre busca un segundo electrón de valencia. Un electrón de valencia libre se forma por fisión homolítica. Esto ocurre cuando suficiente **energía radiante UV/EB** es absorbida por la molécula de **fotoiniciador**. La fisión homolítica significa que ambos fragmentos son **radicales libres** con disponibilidad de electrones simples. Los **radicales libres** existen durante un tiempo limitado y deben encontrar y reaccionar con **monómeros** y **oligómeros** dentro de su vida útil.

La polimerización por radicales libres contiene los pasos siguientes:

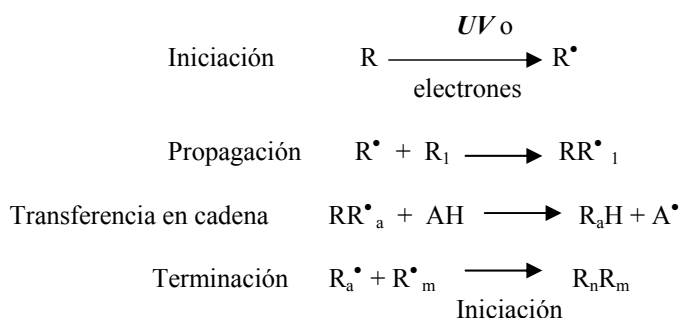


Figura 8: Polimerización con radicales libres

Cuando un **radical libre** captura un electrón de un **monómero** u **oligómero**, dicho **monómero** u **oligómero** forma parte del **radical libre**. Un electrón de valencia simple siempre queda libre después de esta unión y este nuevo **radical libre** expandido reacciona una y otra vez a medida que forma un **polímero**. Ésta es una reacción en cadena. De este modo, los **monómeros** y **oligómeros** forman **polímeros** que contienen cadenas largas de moléculas de **monómero**.

Polimerización catiónica

Los **fotoiniciadores catiónicos** son moléculas insaturadas que se descomponen por fisión heterolítica bajo la acción de **energía radiante UV/EB** para formar cationes y aniones. La fisión heterolítica significa que los fragmentos son diferentes. Los fragmentos de cationes inician y sustentan el proceso de **polimerización**, tal como se muestra en la Figura 9. Los aniones no contribuyen mucho al proceso de **polimerización**. Los cationes son **ácidos de Bronsted** o **ácidos de Lewis**. Estos fuertes ácidos orgánicos son iones positivos que donan protones o absorben electrones, y son atraídos hacia un cátodo al igual que los iones de hidrógeno. Los cationes también causan que la fisión continúe hasta haberse ionizado todas las moléculas disponibles de **fotoiniciador**. Por lo tanto, una vez iniciada, la **polimerización** se esparcirá a lo largo del material **UV/EB**. A diferencia de la **polimerización por radicales libres**, la **polimerización catiónica** es una reacción iónica que no puede terminarse mediante una reacción

con moléculas de oxígeno. Dado que también se forman aniones, el estado general del **polímero** es neutro, incluso si ocurre la **polimerización**, porque hay cationes presentes.

Puesto que ahora existen **fotoiniciadores catiónicos**, la lista de aplicaciones potenciales que pueden aprovecharse cambia y se amplía. Estos **fotoiniciadores catiónicos** se pueden usar para polimerizar los **revestimientos** que, debido a la absorción, el ensombrecimiento o la pigmentación, no pueden recibir suficiente energía radiante a lo largo de toda su profundidad. Una vez iniciada la **polimerización catiónica**, continuará hasta completarse, incluso en la oscuridad.

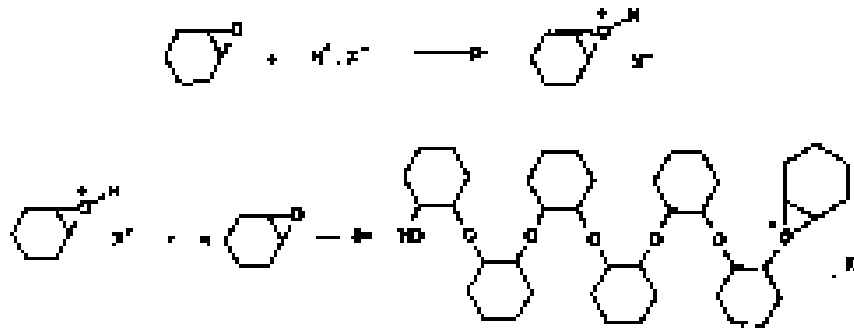


Figura 9: Polimerización catiónica

Entrecruzamiento

El **entrecruzamiento** puede resultar de la **polimerización por radicales libres** o de la **polimerización catiónica**. Ocurre como parte de la **polimerización** cuando los grupos pendientes de una cadena se conectan con los grupos pendientes de otra cadena. El **entrecruzamiento** produce dureza mecánica, resistencia a la fusión, resistencia a la deformación mecánica, mayor fuerza y resistencia a los daños (vea la Figura 10).

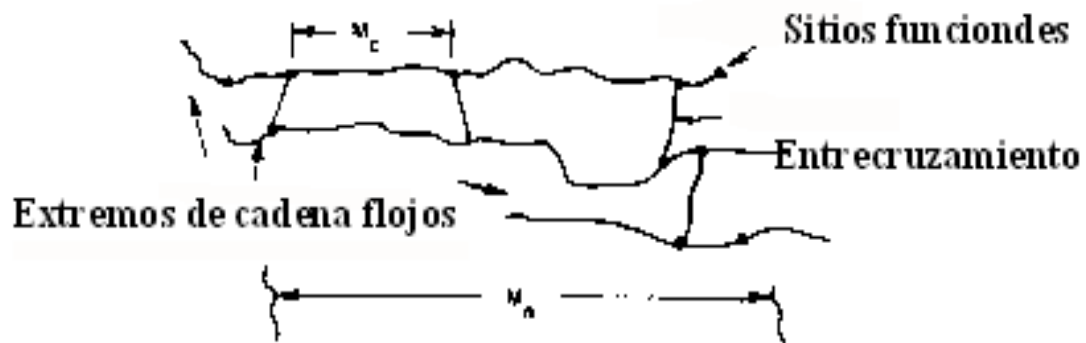


Figura 10: Un ejemplo de entrecruzamiento

¿CÓMO FUNCIONAN LOS FOTOINICIADORES?

Los **fotoiniciadores** son compuestos arílicos aromáticos no saturados que son más sensibles a la **energía radiante UV/EB** que los **monómeros** y **oligómeros**. En comparación con los **monómeros** y **oligómeros**, los **fotoiniciadores** representan un pequeño porcentaje del peso de un **revestimiento**, **tinta** o **adhesivo** que se está aplicando. La mayor parte de la absorción de la **energía radiante UV/EB** en un material curado con **UV/EB** se logra mediante un **fotoiniciador**.

Las moléculas de **fotoiniciador** se fisianan (se separan) de maneras predecibles al recibir **energía radiante UV/EB**. Formarán **radicales libres** o cationes como fragmentos. Por lo tanto, los **fotoiniciadores** cumplen una función crítica en iniciar la **polimerización por radicales libres** o **catiónica** en los materiales **UV/EB**. El tipo de **fotoiniciador** debe seleccionarse con cuidado. El potencial de absorción de energía de un **fotoiniciador** debe coincidir con la longitud de onda de la energía radiante pico que es generada por la fuente de **UV/EB** a fin de que el **fotoiniciador** haga correctamente su trabajo. Si la energía radiante no es suficientemente intensa, un **fotoiniciador** podría no recibir suficiente energía para formar **radicales libres** o cationes. Los **fotoiniciadores** también son absorbedores importantes de la **energía radiante UV/EB**.

¿LA TASA DE PRODUCCIÓN DEPENDE DEL GROSOR DEL REVESTIMIENTO?

El grosor del **revestimiento** no afecta la tasa de producción. Dado que el grosor del material aplicado por métodos de pulverización y rodillo (>0.001 pulgadas) es típicamente más mucho mayor que el grosor logrado por impresión (<<0.001 pulgadas), dichos métodos requieren una dosis más grande de **radiación** para lograr el curado. Por lo tanto, para una fuente de energía radiante constante, la tasa de producción debe disminuir a medida que aumenta el grosor de la película, a fin de proporcionar una exposición adecuada a la energía radiante necesaria para curar el material. En realidad, la intensidad se ajusta para curar el **revestimiento** a la tasa de producción.

Esto se ve exacerbado por la absorción de la energía radiante por parte del material **UV** mismo, porque la intensidad de la **energía radiante UV** disminuirá enormemente con el grosor de la película. Esto puede compensarse con el uso de **UV** de mayor intensidad. Sin embargo, se absorbe **energía radiante IR** (calor) junto con la energía **UV**. Por ello, el límite en la intensidad de **UV** es determinado por la energía **IR** absorbida por el **sustrato** y el **revestimiento**.

Las aplicaciones de materiales delgados (tal como se usa en impresión y **revestimiento adhesivo**) pueden curarse casi de inmediato. Las tasas de producción para estas aplicaciones pueden ser mucho más altas que para las aplicaciones gruesas. Pueden lograrse velocidades de producción de impresión de más de 1,000 pies por minuto con un curado completo en una unidad de curado con **UV** que sólo tiene unos pocos pies de largo.

Los tiempos de curado para aplicaciones más gruesas usando técnicas por pulverización o rodillo pueden medirse en segundos. Las estructuras compuestas reforzadas por fibras **3D** contienen fibras que ensombrecen gran parte del **revestimiento UV/EB** que une las fibras entre sí. El

curado de un **revestimiento** de este tipo de estructura puede requerir **energía radiante EB**, curado **catiónico**, o ambos. El tiempo de curado puede ampliarse en gran medida, si bien los curados **3D** pueden lograrse en cuestión de segundos.

¿POR QUÉ HA HABIDO CRECIMIENTO EN LAS CAPACIDADES **3D**?

Tal como se indicó previamente, los materiales curados con **UV/EB** fueron usados inicialmente en procesos de impresión porque esta tecnología es apta para lograr un **revestimiento** delgado de **tinta** en una superficie plana. La tecnología **UV/EB** también era apta para el **revestimiento** de chapas metálicas antes de enrollarse y para paneles de productos de madera planos por las mismas razones. Sin embargo, surgieron otras aplicaciones, tales como fibras ópticas, que no eran planas. Estas aplicaciones **3D** tienen la capacidad de formar sombras que ocultan porciones de la superficie de la energía radiante necesaria para curar el material **UV/EB**. Con el término "capacidades **3D**" nos referimos a la capacidad de curar **revestimientos** en objetos **3D**.

La Figura 11 muestra una sección transversal de una fibra óptica usada para la transmisión de señales digitales y los **revestimientos** especiales que son cruciales a su rendimiento. Sin estos **revestimientos**, la fibra óptica no podría ser un medio para larga distancia. El **revestimiento** más interno debe tener un bajo índice de refracción, y no debe absorber la longitud de onda del láser que se utiliza para enviar las señales digitales. El siguiente **revestimiento** debe proporcionar la fuerza. El **revestimiento** más externo debe absorber fuertemente la longitud de onda que se está usando para evitar la "interferencia cruzada" entre las fibras. El desarrollo y la disponibilidad de estos **revestimientos UV/EB** fueron cruciales para el éxito del cable de fibra óptica, porque ninguna otra tecnología podía brindar el curado rápido con un 100% de integridad. Como resultado de ello, los creadores y fabricantes de equipos y **revestimientos UV/EB** cooperaron para producir este y otros productos que utilizan materiales **UV/EB**.

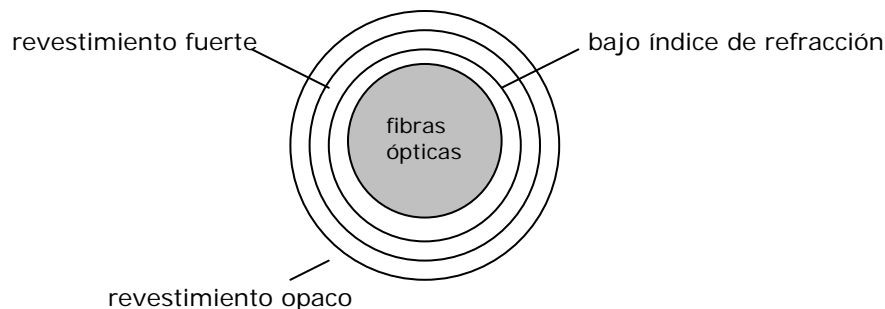


Figura 11: Diagrama esquemático de una fibra óptica

Dado que los esfuerzos para minimizar el efecto de la sombra en las aplicaciones **3D** tuvieron éxito en la fabricación de fibras ópticas, el avance de las capacidades **3D** en otras aplicaciones era sólo cuestión de tiempo. En la actualidad, los efectos de las sombras pueden minimizarse en la fabricación de muebles de madera e incluso en las carrocerías de automóviles. Esto se ha logrado mediante el uso de múltiples fuentes de energía radiante, reflectores con hoyuelos y un sinnúmero de otras técnicas de diseño óptico.

Las plantas de fabricación ahora recubren por pulverización o rodillo selladores *UV*, imprimadores, capas de acabado y capas superiores en paneles y muebles, y rápidamente curan estos materiales dentro de 25° C de la temperatura ambiente. Los **revestimientos** convencionales en un **substrato** de madera no pueden calentarse lo suficiente como para curarse en menos de una hora. Debido a que el tiempo de curado es tan breve para los materiales *UV*, los fabricantes de muebles finos utilizan **revestimientos UV** para evitar defectos por polvo. Además, puesto que no hay *VOC* inflamables que pueden causar un peligro por incendio, por lo menos una compañía de seguros ha rebajado las primas de seguro por incendio en un 15% cuando se usan materiales *UV*.

El uso de una fibra óptica o láser *UV* guiado por computadora ha permitido la construcción capa por capa de objetos, usando un **polímero**. El objeto de **polímero** que se forma puede ser un modelo o la pieza final. Esta técnica se conoce como estereolitografía. Esto se hace retirando una plataforma debajo de la superficie de un **monómero** u **oligómero** mientras una fuente *UV* guiada por computadora opera como una impresora, trazando una trama exploradora con la fuente *UV* “encendida” sobre la porción sólida, y “apagada” sobre espacios abiertos o cavidades en la estructura de cada sección transversal sucesiva. De este modo, puede fabricarse un modelo a escala (cualquier escala, incluido el tamaño natural) de una pieza compleja – incluso se pueden generar partes del cuerpo a partir de un barrido *CAT* o *MRI*. Esta técnica permite localizar fallas en los diseños. Incluso puede permitir a los cirujanos practicar en modelos de tamaño natural del paciente.

¿CÓMO SE MIDE EL GRADO DE CURADO?

El grado de curado de un **revestimiento UV/EB** se ha medido por adhesión, frotación con solvente, pruebas de tinción, movilidad iónica, temperatura de transición vítrea, propiedades mecánicas tales como módulo elástico o resistencia a la tracción, abrasión Taber, indicador fluorescentes, o por volatilidad mínima. La medida se selecciona según algún tipo de medida de rendimiento idóneo con la resistencia, y no se ha hecho ningún tipo de correlación entre las diversas técnicas de medición de curado. A continuación, se discuten algunas de las pruebas principales.

La adhesión de un **revestimiento** se mide por la fuerza por pulgada de borde que se desprende. Cuando el **revestimiento** es líquido, esta fuerza es casi cero. Se convierte en una cantidad finita a medida que progresa el curado. Cuando alcanza una fuerza máxima, la pendiente de la fuerza de desprendimiento con una mayor exposición *UV/EB* se acerca a cero. Se considera que con una mayor exposición se obtendría el sobrecurado del material. El sobrecurado se piensa que logra un ulterior **entrecruzamiento** entre las moléculas y reacciones con una cantidad adicional de **monómero**.

La abrasión Taber prueba la resistencia a la abrasión. Se basa en el uso de una pesa (250 gramos, 500 gramos o 1 kilogramo) que se apoya sobre un disco abrasivo mientras se rota la muestra contra el mismo. El disco abrasivo puede ser cualquiera entre un gran número de tipos, según el propósito para el cual está destinado el **revestimiento**.

La frotación con solvente es una modificación de la prueba de abrasión que requiere la presencia de un **solvente** especificado. Esta prueba mide el efecto del **solvente** en el **revestimiento** curado. Presumiblemente, un **revestimiento** sin curar o con un curado a poca profundidad podría eliminarse fácilmente con el **solvente**.

La movilidad iónica se mide colocando dos electrodos en un **revestimiento**, aplicando un voltaje y midiendo la corriente. Se mide tanto la cantidad de corriente como la respuesta de tiempo a un cambio del voltaje. Ambas mediciones brindan los diagnósticos referentes a la movilidad iónica. Presumiblemente, la movilidad iónica es menor en un **revestimiento** sobrecurado. Se especifica una mínima movilidad iónica aceptable al uso.

El módulo elástico se basa en la pendiente de la curva de esfuerzo y deformación. Esta prueba requiere revestir una muestra para la medición del esfuerzo versus la deformación. El esfuerzo es la fuerza por unidad de área para lograr la deformación. La deformación es la elongación por unidad de longitud que se produce. Un mayor módulo elástico requiere más esfuerzo para lograr una deformación dada.

La resistencia a la tracción es el esfuerzo máximo que se puede lograr antes de la rotura. Típicamente, esto ocurre al ocurrir una discontinuidad en la curva de esfuerzo versus deformación.

La volatilidad mínima se mide midiendo una muestra de **revestimiento** curado para determinar la pérdida de peso. El curado se realiza en incrementos, con mediciones de peso a cada incremento. Entre cada incremento, se puede aumentar la temperatura para eliminar los ingredientes volátiles. Un curado de volatilidad mínima es el punto al cual la pérdida de peso alcanza un mínimo.

La transición vítrea es una propiedad de la porción amorfa de un sólido semicristalino. Se mide como la temperatura a la cual el sólido cambia de una deformación vítrea a una deformación gomosa. Esto se determina midiendo el módulo elástico a diferentes temperaturas, y encontrando el intervalo de temperaturas al cual ocurre la transición vítrea a un módulo más alto. Una mayor temperatura de transición vítrea (T_g) puede usarse como evidencia de mayor **entrecruzamiento**. Como alternativa, se puede especificar la mínima T_g y luego determinar el módulo elástico a dicha temperatura para determinar si es vítrea o gomosa.

Los otros métodos se usan con menos frecuencia porque: son más apropiados para las investigaciones; son más caros; o demoran mucho tiempo para obtener un resultado mientras se está en producción. Si bien cada método presuntamente indica que el curado está completo, la correlación de un método con otro se hace raras veces, o nunca. Estas pruebas no determinan si puede o debe permitirse el contacto con los alimentos (con la posible excepción de la movilidad iónica).

¿HAY ALGUNA OTRA COSA QUE AFECTE AL CURADO?

Quizás ha observado que casi no hemos mencionado la temperatura. Los materiales **UV/EB** se curan casi instantáneamente y se curan incluso más rápido a medida que aumenta la temperatura. La temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas. Si la temperatura aumenta por encima de un nivel crítico (un nivel diferente resulta crítico para cada material **UV/EB**)

puede ocurrir la **polimerización** en ausencia de la **energía radiante UV/EB**. La temperatura de los materiales curados con **UV/EB** debe mantenerse entre 60° F y 80° F para evitar el agotamiento de los inhibidores del material. Este rango de temperaturas por lo general no es un problema, pero podría requerirse aire acondicionado en algunos casos.

Otros factores son la variación de las lámparas **UV** durante el uso, las variaciones en el voltaje de la línea eléctrica, los efectos de la oxidación y los efectos **infrarrojos**. Todos estos factores varían con el tiempo, y el efecto de cada uno de ellos puede ser diferente. Por lo tanto, debemos reconocer que el curado variará como efecto combinado de todos estos factores.

Los materiales **UV/EB** pueden variar. Para minimizar la variabilidad, los materiales curados con **UV/EB** no deben exponerse a peróxidos, partículas de hierro u otras fuentes de **radicales libres**. Asimismo, deben almacenarse lejos de la luz solar u otras fuentes de energía radiante que podrían causar la **polimerización**.

Si una unidad de curado con **UV/EB** que promueve la **polimerización por radicales libres** queda expuesta al oxígeno atmosférico o si el oxígeno atmosférico invade un “**recubriente de nitrógeno**” usado en el proceso, ocurrirá la **inhibición por oxígeno**. El oxígeno puede inhibir el curado de los acrílicos, poliésteres y estirenos. Los efectos de la **inhibición por oxígeno** podría resultar en el uso de una dosis mucho mayor de energía radiante que la esperada para obtener un curado. Esto sería especialmente cierto si no se utilizara el “**recubriente de nitrógeno**.” Desde un punto de vista positivo, la **inhibición por oxígeno** se utiliza intencionalmente para retener pegajosidad en el caso de algunos **adhesivos** piezosensibles.

La humedad puede afectar el tiempo de curado de los materiales **UV/EB** que utilizan **fotoiniciadores catiónicos**. Este efecto difiere para diversos **revestimientos**, grosores de **revestimiento**, permeabilidades de **revestimiento** y concentraciones de vapor de agua.³⁸ En algunos casos, el agua puede inhibir la **polimerización** de manera similar a la **inhibición por oxígeno**. Esto puede corregirse usando un secador **IR** o un **recubriente de nitrógeno** seco extendido.

Los **monómeros**, **oligómeros**, **fotoiniciadores**, fibras y pigmentos en un **revestimiento**, **tinta** o **adhesivo** todos absorben la **energía radiante UV/EB**. El grado al cual todos estos materiales absorben la energía radiante puede inhibir el curado del material, especialmente en aplicaciones más gruesas. Las fibras y los pigmentos pueden formar sombras de **UV/EB** que impiden que la energía radiante llegue a los **monómeros**, **oligómeros** y **fotoiniciadores**. Los materiales que contienen **fotoiniciadores catiónicos** no tiene este problema. El material que contiene **fotoiniciadores catiónicos** sólo tiene que recibir suficiente energía radiante como para descomponer el **foto-iniciador** en la capa superior y el curado será espontáneo a partir de ese momento.

PARTE III: EMISIONES, SALUD Y SEGURIDAD

¿QUÉ CONTAMINANTES DEL AIRE SE EMITEN DESDE LOS MATERIALES CURADOS CON *UV/EB*?

El curado con *UV/EB* es un emisor muy bajo de contaminantes del aire, pero sí ocurren algunas emisiones. Esta sección discute las potenciales emisiones de *VOC*, partículas finas, *HAP*, olores, ozono y *NO2*.

Emisiones *VOC*

Los **revestimientos, tintas y adhesivos** curados con *UV/EB* tienen una reputación de ser libres de *VOC*, pero en realidad emiten algunos compuestos volátiles de curado que podrían ser *VOC*. Si bien las emisiones *VOC* son extremadamente bajas en muchas aplicaciones que emplean materiales *UV/EB* modernos (es decir, las emisiones *VOC* pueden ser de menos del 1% del peso del **revestimiento, tinta o adhesivo** usado), las emisiones de compuestos volátiles de curado para una aplicación típica por lo general se encuentran en el rango del 1 al 5%. (Observe que no se utiliza un **diluyente solvente** en el caso típico.) No obstante ello, para un pequeño número de aplicaciones, las emisiones de volátiles de curado pueden acercarse al 10% del peso de la película aplicada. Incluso al nivel del 10%, las emisiones incontroladas *VOC* no son peores que aquellas de una operación convencional de **revestimiento** o impresión equipada con una muy buena tecnología de captura y control de las emisiones. Típicamente, no se necesita ni utiliza ningún tipo de tecnología de control incorporado con los materiales curados con *UV/EB*.

Los materiales curados con *UV/EB* están listos para usar tal como los suministra el fabricante. No se requieren aditivos ni mezclado después de que los materiales curados con *UV/EB* abandonan las instalaciones del fabricante. La única excepción podría ser la adición de un **solvente** (*VOC* o agua) para ajustar la viscosidad en algunas aplicaciones de pulverización o especiales. Los materiales curados con *UV/EB* no se secarán a menos que estén sometidos a suficiente **energía radiante *UV/EB***. Si hay **diluyentes** presentes, los **revestimientos *UV/EB*** no curados simplemente podrían resultar más viscosos a medida que se evapora el **diluyente**. Sin embargo, normalmente no hay presencia de **diluyentes *VOC***.

Se han medido los **acrilatos** a una concentración de aproximadamente 10 ppm en el espacio inmediatamente por encima de un **revestimiento** (una medición del espacio de cabeza) durante el curado. Las concentraciones de *VOC* en el mismo espacio fueron incluso menores.²⁸ Las concentraciones en una corriente de emisión subsiguiente tenderían a ser incluso menores como resultado del mezclado y dilución con aire en la corriente de escape. Tales pequeñas concentraciones de emisión son la meta deseada de la tecnología de control de emisiones incorporada, empleada con los procesos convencionales, pero se pueden alcanzar usando **revestimientos, tintas y adhesivos** curados con *UV/EB* sin un dispositivo de control de emisiones incorporado.

EJEMPLO: Cálculo de las emisiones VOC

Tipo de fuente: Impresión

Aplicación: Sobrecapa de una **banda** de 5 pies desplazándose a 1000 pies/minuto

Características del **revestimiento**: 0.8% de gravedad específica

Grosor de la película: 100 micrones

Emisiones **VOC**: 1% del peso de la película tal como fue aplicada

En este ejemplo, la fuente produciría 0.000163 libras de **VOC** por pie cuadrado, o aproximadamente 1.0 libra de **VOC** por 6,124 pies cuadrados. Una libra de **VOC** sería emitida de la sobrecapa del 100% de una **banda** de 5 pies durante 1.2 minutos a 1,000 pies/minuto. Esto proporcionaría un máximo de 72 libras de **VOC** por hora, 576 libras por un turno de 8 horas, o 52 toneladas por año por turno. En la mayoría de los casos, la tecnología **UV/EB** calificaría como la tecnología de *Lowest Achieved Emission Rate (LAER)*, menor tasa de emisiones lograda). (*LAER* es requerido por la *Clean Air Act*, ley de aire limpio, en fuentes importantes nuevas y modificadas situadas en zonas que no están alcanzando las *National Ambient Air Quality Standards* (normas nacionales de calidad del aire ambiente.)) En comparación, una operación convencional de formación de sobrecapa usando un **solvente VOC** emitiría 2,600 - 3,600 toneladas por año de **VOC** para el mismo nivel de operación.

Observe que el cálculo anterior se basaba en la cantidad de material que realmente se aplica al **sustrato**. En realidad, podrían ocurrir algunas pérdidas debido a formación de neblina, derrames, salpicaduras, **eficiencia de transferencia**, etc. Por lo tanto, sería preferible utilizar la masa de la cantidad total de material curado con **UV/EB** (**revestimiento**, **tinta**, etc.) que se consume al calcular las emisiones potenciales de los procesos de impresión y/o **revestimiento** con **UV/EB**.

Emisiones de partículas finas:

Cuando se utilizan materiales **UV/EB** en prensas de impresión y recubridores de rodillo de alta velocidad, emitirán algo de neblina. Se genera la neblina cuando el material **UV/EB** que se encuentra entre los rodillos y el **sustrato** se separa rápidamente en aplicaciones de alta velocidad. (Los materiales convencionales también producirían neblina si se aplicaran a una velocidad tan alta.) La formación de neblina de una **tinta UV/EB** en la impresión a alta velocidad se han medido entre un 1% y un 50% de la **tinta** consumida. Se encontró que muchas de las gotitas eran de menos de 2.5 μm (**PM-2.5**). Cuando la formación de neblina es grave, los usuarios y proveedores pueden trabajar juntos para minimizar el problema.

Emisiones HAP:

A menos que se agreguen **solventes HAP**, los **revestimientos UV/EB** son libres de **HAP** (es decir, no contienen ningún **HAP** enumerado en el Apéndice E). No obstante ello, las gotitas finas en la neblina generadas por los rodillos a alta velocidad (vea la explicación que aparece más arriba) podrían contener compuestos químicos tóxicos. Deberá consultar las *Material Safety Data Sheets (MSDS)*, hojas de datos de seguridad de los materiales), revisar la lista de **HAP**, y/o ponerse en contacto con el proveedor para determinar hasta qué grado la toxicidad es un problema con un material curado con **UV/EB** en particular.

Emisiones olorosas:

En líneas generales, los materiales curados con **UV/EB** usados hoy en día tienen mucho menos problemas de olor que los materiales que se empleaban hace 10 años. De hecho, los menús de restaurantes, envases para perfumes finos y cajas para chocolates ahora pueden imprimirse y recubrirse con **UV/EB** (vea la Figura 12). Sin embargo, los materiales **UV/EB** históricamente han emitido algunos olores objetables, y algunos de ellos incluso después del curado. Los materiales **UV/EB** que generan olores que contienen aminas o compuestos de azufre deben evitarse cada vez que el olor sea un problema.

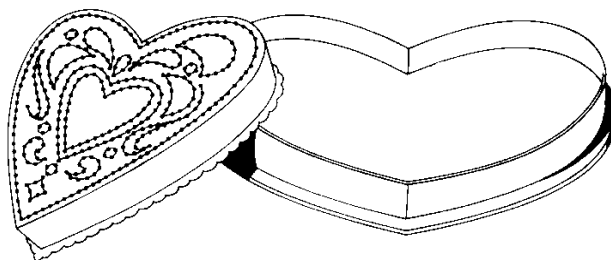


Figura 12: Revestimientos UV – Ahora utilizados para envasar chocolates

Emisiones de ozono y NO₂:

Cada forma de **radiación ionizante** puede ionizar el oxígeno y generar ozono. Además, existe la sospecha de que también pueda generarse **NO₂**. Sin embargo, la emisión total de ozono y **NO₂** es relativamente pequeña y no debiera afectar de manera significativa las concentraciones de estos contaminantes en la atmósfera. Los fabricantes de equipos han reducido el potencial de generación de ozono y **NO₂** debido a los procesos que usan **energía radiante UV/EB**. Los **recubrimientos de nitrógeno** excluyen al aire de las áreas de **polimerización** y, por tanto, excluyen al oxígeno como reactivo en dichas áreas. No obstante ello, se utiliza ventilación con aire para eliminar el calor de las lámparas **UV**; y por tanto, aún pueden generarse estos contaminantes. Los filtros de cuarzo que absorben fuertemente longitudes de onda por debajo de 260 nm (las longitudes de onda que forman el ozono) pueden usarse para reducir la generación de ozono.

¿CÓMO SE MIDEN LAS EMISIONES PROVENIENTES DE LOS MATERIALES CURADOS CON UV/EB?

El contenido de **VOC** de los **revestimientos** se mide mediante la **EPA Reference Test Method 24** (prueba de referencia de la **EPA**, método 24). Este método puede encontrarse en *Title 40, Code of Federal Regulations, Part 60, Appendix A* (título 40, código de normativas federales, parte 60, apéndice A). Para su conveniencia, el Método 24 se suministra en el Apéndice C de este reporte.

La sección 3.2 del Método 24 se concentra en los **revestimientos** de película no delgada curados con **radiación UV**. Este método se basa en un método de prueba de la *American Society for Testing Materials (ASTM)*, sociedad americana de materiales para pruebas) (D 5403-93). Si la cantidad de **revestimiento** o **tinta UV** tal como se aplica al **sustrato** de la muestra es de menos de 0.2 gramos (basándose en el grosor de película recomendado por el fabricante) y el área del **sustrato** de la muestra es igual a, o mayor que, 35 pulg² (225 cm²) entonces se considera que se trata de un **revestimiento** curado con **radiación UV** de película delgada para determinar la aplicabilidad de *ASTM D 5403-93*. No se especifica ningún método de prueba para los **revestimientos, tintas o adhesivos UV** de película delgada ni para ninguno de los materiales curados con **EB**.

Al considerar y evaluar las modificaciones al Método de Prueba 24 que eventualmente agregaron procedimientos para probar los **revestimientos UV** de película no delgada, se encontró el contenido de **VOC** mínimo cuando una **resina** se curaba con **UV** mucho más allá de la recomendación del fabricante.¹⁶ El reporte que evaluaba esta modificación no indicaba si el curado recomendado estaba destinado para una atmósfera libre de oxígeno o si se usaba una atmósfera libre de oxígeno. Dado que no se mencionaba un **recubriente de nitrógeno** para excluir el aire del proceso de curado para minimizar la **inhibición del oxígeno**, podemos asumir que no se lo había utilizado. La **inhibición del oxígeno** de un curado en aire atmosférico explicaría la necesidad de una dosis más alta de **UV** (es decir, la cantidad de **energía radiante UV** requerida para completar el curado y asegurar emisiones mínimas de **VOC**). El reporte también indicaba que no se había medido la potencia de salida de la lámpara en el aparato de prueba, y que no existe una relación sencilla entre el nivel de entrada de potencia y la salida de luz **UV** a las longitudes de onda específicas que causan el curado de un **revestimiento**. Por lo tanto, una baja salida de la lámpara a la longitud de onda deseada también podría haber aumentado el tiempo de curado.

Los fabricantes de materiales curados con **energía radiante UV** creen que el Método 24 indica un exceso de emisiones **VOC** porque somete a un material curado con **UV** a un calor excesivo (110 +/- 5° C) después del curado. Los fabricantes sugieren que el calor excesivo causa la descomposición del **revestimiento UV** y que una pérdida resultante de masa del **revestimiento** se está informando como **VOC**. La **EPA** está atenta a estas preocupaciones, pero por el momento no tiene planes de modificar el método de prueba ni de desarrollar un nuevo método.

¿QUÉ SUCEDE CON RESPECTO A LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES?

Hay tres cuestiones importantes de salud y seguridad de los trabajadores que deben considerarse: (1) exposición potencial a **radiación UV/EB**; (2) exposición potencial a componentes peligrosos que forman parte de los materiales curados con **UV/EB**; y (3) higiene para proteger a los trabajadores. Esta sección discutirá todas estas cuestiones, así como los cambios y mejoras significativos realizados a lo largo de los últimos diez años para minimizar los peligros potenciales.

¿Qué preocupaciones de salud y seguridad presenta la energía radiante UV/EB?

La **energía radiante UV** es luz **ultravioleta**. Se trata del mismo tipo de luz **ultravioleta** que se recibe del sol. No puede penetrar la piel, pero puede causar quemaduras de sol y tostado de la capa superior de piel, o puede causar irritación ocular. Con un blindaje correcto, el **UV** no causa siquiera que ocurran estos inconvenientes.

La **energía radiante EB** consta de electrones de alta velocidad y los subsiguientes **rayos X**. Los electrones se generan en un acelerador o cañón que los proyecta hacia el **revestimiento, tinta o adhesivo** y el **substrato**. Los electrones generan **rayos X** a medida que se retarda su velocidad en estos materiales, y por cualesquier moléculas que se encuentren entre la fuente de **EB** y la película y **substrato** que son su blanco. Los fabricantes de este equipo de **EB** instalan blindaje para reducir la **radiación X** a valores inferiores al nivel de fondo.

De acuerdo con las normativas de la **OSHA** (*Code of Federal Regulations (CFR*, código de normativas federales) parte 1910.96), ningún empleador poseerá, usará ni transferirá fuentes de **radiación ionizante** (la definición de la **OSHA** excluye al **UV**) de manera tal como para causar a cualquier individuo que reciba, en ningún trimestre de un año calendario, más de:

Totalidad del cuerpo, cabeza y tronco, órganos activos de formación de sangre o gónadas.....	1.25 REM
Manos y antebrazos, pies y tobillos	18.75 REM
Piel de la totalidad del cuerpo	7.5 REM

Un individuo puede recibir una dosis mayor que ésta si:

1. Durante cualquier trimestre calendario, la dosis equivalente para todo el cuerpo no supere los 3 **REM**.
2. La dosis equivalente para todo el cuerpo, al agregarse a la dosis equivalente acumulada en todo el cuerpo, no exceda los 5(N-18) **REM**, donde N equivale a la edad del individuo en años.
2. El empleador mantiene los registros pasados y actuales que demuestran que la adición de tal dosis equivalente no causará que el individuo exceda las cantidades tabulada más arriba.

Podrían existir limitaciones adicionales en la forma de normativas locales, estatales o federales subsiguientes. Es responsabilidad del empleador determinar cuáles normativas se aplican y asegurarse de que los empleados no queden expuestos a **radiación ionizante** que exceda los límites estatutarios y normativos.

¿Cómo se puede proteger a los trabajadores contra la radiación ionizante UV/EB?

El medio principal de protección contra toda la **radiación ionizante** es el blindaje. En la mayoría de los casos, este blindaje está integrado al equipo de curado con **UV/EB**. En caso de fugas de **UV**, la ropa es una protección adicional al blindaje y se recomienda usar prendas de

mangas largas y pantalones largos. Por la misma razón, se recomienda también la protección ocular con escudos laterales.

En el caso de **radiación** en el **UV cercano**, **UV lejano** y actínica, el blindaje consta de barreras y deflectores opacos. Se necesitan deflectores porque la **radiación UV** fácilmente puede dispersarse a partir de aerosoles submicrónicos y convertirse en un resplandor difuso reflejado y reirradiado desde aerosoles y superficies. El **UV** puede dispersarse con mucha más facilidad que la luz visible, porque se trata de una longitud de onda más corta, y los aerosoles submicrónicos en el aire pueden dispersar el **UV** fácilmente. Estos aerosoles son invisibles (demasiado pequeños para ser vistos) porque no logran dispersar de manera eficiente la luz visible. Se necesitan deflectores múltiples para reducir las fugas producidas por esta dispersión antes de que llegue al tejido humano. La **OSHA** permite hasta 1 milivatio/centímetro de cuadrado de **radiación** en el **UV cercano** para tiempos de exposición de más de 16 minutos. La **OSHA** permite sólo hasta 0.1 milivatio/centímetro cuadrado de **radiación** actínica para exposiciones de 8 horas.¹

A diferencia del **UV** con longitudes de onda visible coexistentes, los **haces de electrones** y los **rayos X** no tienen un componente visible para advertir a un ser humano de su existencia. Dado que los genes humanos (al igual que las moléculas de **fotoiniciador**, **monómero**, y **oligómero**) son sensibles a rotura molecular bajo **radiación ionizante**, es necesario usar blindajes para proteger a los trabajadores de la **radiación EB**. Idealmente, la intensidad de la **radiación** deberá reducirse casi al nivel de **radiación** de fondo mediante el blindaje. El nivel de **radiación** de fondo es la intensidad de los **rayos X** y de la **radiación** gamma que existiría si no hubiera una fuente de **radiación** (salvo las fuentes de traza de los materiales naturalmente radiactivos) lo suficientemente cerca como para afectar la intensidad de la **radiación**. Existen muchas de estas fuentes naturales de bajo nivel (tales como madera, fibra de madera, papel, metales y mampostería) y por lo tanto el nivel de fondo nunca puede llegar al cero absoluto.

A longitudes de onda de **rayos X** y más corta, la dispersión se hace más pronunciada y no existe un material verdaderamente opaco. La masa de un blindaje atenuará (reducirá) la intensidad de la **radiación** que penetra dicho blindaje, al igual que el **número atómico (Z)** del material. Los materiales con mayor **Z** atenúan la **radiación** penetrante más que aquellos con un valor bajo de **Z** que tengan igual masa. Sin embargo, el primer sólido que se encuentre en el camino de la **radiación** debiera ser un material de bajo **Z**, tanto para minimizar la generación de **rayos X** como para absorber los **rayos X** que se generan desde los materiales de mayor **Z** que se encuentran posteriormente en un blindaje de múltiples capas.

Los **rayos X** y las longitudes de onda más cortas por lo general se blindan con plomo, otros metales pesados, concreto o mediante la distancia. En ausencia de blindaje, la intensidad de **radiación** se reduce por el cuadrado de la distancia entre la fuente y el punto de medición. Evidentemente, nadie puede colocar a un operador a un kilómetro o incluso a cien metros de distancia de una fuente sólo para atenuar la intensidad y limitar la dosis que éste recibe. El blindaje que coloca una masa de alto **Z** entre una fuente y una persona se utiliza para atenuar (reducir o debilitar) los **rayos X** dentro de una distancia razonable. Este blindaje debe incluir deflectores para limitar las fugas de **rayos X** dispersos y reirradiados porque incluso las moléculas de aire y los aerosoles pueden dispersar **rayos X**. La eficacia del blindaje debe

probarse midiendo el nivel de **radiación** para asegurarse de que las fugas de **radiación** se encuentren cerca de los niveles de fondo mientras un **has de electrones** está en operación.

¿Qué preocupaciones de salud y seguridad presentan los componentes peligrosos en los materiales curados con UV/EB?

La toxicidad de los constituyentes que son vapores y gases se determina a partir de las MSDS deben suministrarse con un **revestimiento**. Según la norma 1910.1000 de la *OSHA*:

$$E = C(a) T(a) + C(b) T(b) + \dots C(n) T(n) \text{ dividido entre } 8$$

Donde:

- E es la exposición en términos de concentración eficaz.
- C es la concentración durante cualquier período de tiempo T en la que la concentración permanece constante.
- T es la duración en horas de la exposición a la concentración

El valor de E no deberá superar el promedio ponderado por el tiempo para 8 horas, especificado en la Subparte **Z** de 29 *CFR* Parte 1910 para la sustancia en cuestión. La Tabla Z-1 (que es demasiado extensa como para insertarla aquí) muestra los *permissible exposure limits (PEL*, límites de exposición admisible, que son *time weighted averages (TWA*, promedios ponderados por el tiempo de 8 horas) a menos que se indique de otro modo. Una designación “C” sobre concentración que aparece en la tabla denota un límite máximo en la concentración.

Cuando los **monómeros, oligómeros y fotoiniciadores** se han convertido en parte de un **polímero**, ya no tienen la toxicidad que tenían previamente. Por lo tanto, la **energía radiante UV/EB** puede considerarse como que transforma la composición de un material líquido y por tanto, que cambia sus propiedades toxicológicas. Esta transformación por lo general reduce la toxicidad al hacer que la contribución de cada componente a la dosis tóxica total no inasequible.

Los **monómeros** que fueron usados con **grupos funcionales** acrílicos hace más de 20 años eran tóxicos a una dosis de miligramos por kilogramo de peso corporal. Todo es tóxico; simplemente depende de la dosis. Una persona puede morir al ingerir incluso agua pura, o sal de mesa, si la dosis es lo suficientemente grande. Los **acrilatos** que se usan hoy en día tienen una **dosis tóxica** mucho mayor (lo que significa que tienen una toxicidad menor) en comparación con los **monómeros y fotoiniciadores** usados en el pasado. Sin embargo, estas formulaciones aún deben usarse con una higiene adecuada (precauciones de seguridad). La Tabla 4 enumera algunas emisiones admisibles que se encontraron en 1991.

Se hubiera podido incluir componentes adicionales en la Tabla 4, pero no había normas PEL disponibles para ellos en 1991. Estos compuestos no listados incluyen: acetofenona, benzofenona, caprolactona **acrilato**, 2,2 dimetiltrimetilen **acrilato**, epoxi **acrilato**, etoxietoxietacrilato, etoxietil **acrilato**, 2 etilhexil metacrilato, glicerolpropoxitri**acrilato**, hexandiol **acrilato**, metilcarbamoiloxietil **acrilato**, pentaeritritol triacrilato, trimetilolpropano triacrilato, trimetilolpropano tri(3-mercaptopropionato), tripropilenglicoldiacrilato, n-vinil

pirrolidona. El hecho de que no había normas disponibles indica la infancia de los materiales *UV/EB* en 1991.

Tabla 4: Límites de exposición admisible de materiales curables por radiación en 1991

Compuesto	Límite de exposición admisible (<i>PEL</i>) promediado al tiempo para 8 horas
1,4 divinil benceno	10 ppm
2-etilhexil acrilato	50 ppm
hidroxipropil acrilato	0.5 ppm *
fenil glicidil éter	10 ppm
estireno	100 ppm
vinil ciclohexeno dióxido	10 ppm

Nota: * - No se disponía de normas federales, valores recomendados por la *American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH)*, conferencia americana de higienistas industriales del gobierno. *OSHA* determinó el *PEL*.

Hace diez años, muchos **fotoiniciadores** eran *VOC* y lixiviaban después de la **polimerización**.³⁰ Dado que estos **fotoiniciadores** también eran tóxicos, no resultaban deseables y no se permitían en contacto con los alimentos. Como resultado de ello, se desarrollaron nuevos **fotoiniciadores** que reemplazaron a los antiguos. Estos nuevos **fotoiniciadores** tienen una menor toxicidad en un estado no curado y se convierten en una parte integral de la molécula del **polímero**. Por lo tanto, los compuestos tóxicos ya no pueden migrar o lixiviar. Después de la **polimerización** ya no son moléculas separadas y tóxicas.

El *Toxic Substance Control Act (TSCA)*, ley de control de sustancias tóxicas) de 1977 daba a la **EPA** una amplia autoridad para evaluar los riesgos a la salud humana. La mayor parte de los materiales curables por **radiación** fueron sujetos a *TSCA*. La sección 5 de *TSCA* requería que los fabricantes o importadores de una sustancia química nueva presente un *Pre-Manufacturing Notice (PMN)*, aviso previo a la fabricación) para una *new chemical substance (NCS)*, sustancia química nueva) 90 días antes de su fabricación o importación. Durante el período de 90 días, la **EPA** tenía que decidir si la **NCS** presentaba un riesgo poco razonable. En 1991, las preguntas acerca de los materiales acrílicos causaron que pocos **acrilatos**, o ninguno, apruebe el paso *PMN* del proceso normativo. Esto inhibió el desarrollo de los **acrilatos** y también inhibió el desarrollo de alternativas. Sin embargo, un estudio por el *Specialty Acrylates and Methacrylates Panel* (panel especializado en **acrilatos** y metacrilatos) de la *Chemical Manufacturers Association* (asociación de fabricantes químicos) cambió esta situación. Basándose en dicho estudio, la posición de la **EPA** cambió y la **EPA** ya no considera automáticamente que los **acrilatos** y metacrilatos nuevos representan riesgos significativos para la salud. Sin embargo, si un nuevo **acrilato** es estructuralmente similar a una sustancia para la cual la **EPA** tiene datos de toxicidad positiva, la **EPA** podría regular dicha sustancia tomando como base su riesgo potencial. Este cambio en la política de la **EPA** ha ayudado a introducir nuevos **acrilatos** y metacrilatos, especialmente aquellos con un peso molecular mayor. Por lo tanto, la toxicidad de los **monómeros**, **oligómeros** y **fotoiniciadores** curados con *UV/EB* es mucho menos de una preocupación hoy en día de lo que representaban en el pasado.

La *American Industrial Hygiene Association* (asociación americana de higiene industrial) ha publicado *Workplace Environmental Exposure Levels (WEEL)*, niveles de exposición ambiental en el lugar de trabajo) para varios **monómeros** usados en la tecnología de **revestimientos** curables con *UV/EB*.¹ La Tabla 5 muestra los *PEL* para **solventes** orgánicos que se podrían usar para limpieza o dilución.

TABLA 5: PERMISSIBLE EXPOSURE LIMITS (PEL), LÍMITES DE EXPOSICIÓN ADMISIBLE PARA SOLVENTES ORGÁNICOS

Compuesto	Límite de exposición admisible (<i>PEL</i>) con promedio ponderado al tiempo para 8 horas
n-butoxietanol	50 ppm
butil acetato	150 ppm
n-butyl glicidil éster	50
butil lactato	5 ppm *
p-tert-butyl tolueno	10 ppm
tetracloruro de carbono	10 ppm
di-isopropil éter	500 ppm
n,n dimetilacetamida	10 ppm
dipropil glicol metil éter	100 ppm
dipropil cetona	50 ppm
2 etoxietanol	200 ppm
2 etoxietil acetato	100 ppm
etil acetato	400 ppm
etil butil cetona	50 ppm
etil éter	400 ppm
sec-hexil acetato	50 ppm
isoforona	25 ppm
isopropanol	400 ppm
isopropil acetato	250 ppm
óxido de mesitilo	25 ppm
metil acetato	200 ppm
metilal	1,000 ppm
alcohol metílico	200 ppm
metil n-amil cetona	100 ppm
metil n-butyl cetona	100 ppm
metilciclohexano	500 ppm
metil etil cetona	500 ppm
5-metil-3-heptano	25 ppm
metil isoamil cetona	50 ppm
alcohol n-propílico	200 ppm
propil glicol monometil éter	100 ppm *
1,1,2,2-tetracloroetano	5 ppm
tetrahidrofurano	200 ppm
tolueno	200 ppm
xilenos	100 ppm

* Nota: Ninguna norma federal, valor recomendado por *ACGIH*

Al aplicar un **revestimiento** mediante pintura por pulverización, aproximadamente el 50% del **revestimiento** es transportado por el flujo de aire como **exceso de pulverización**. Esta cantidad de **exceso de pulverización** puede ser tan pequeña como del 10% si se utiliza la deposición electrostática. Esto es cierto tanto para las pinturas convencionales como las pinturas *UV*. Las pinturas convencionales y *UV* pueden tener una toxicidad comparable antes del curado. Sin embargo, todo el **exceso de pulverización** proveniente de una pintura convencional debe desecharse, porque se han vaporizado rápidamente sus componentes volátiles (principalmente los *VOC*) y ha cambiado su

viscosidad. La pintura *UV* capturada por el arrestor puede volver a usarse porque típicamente no contiene **solventes** volátiles y, por tanto, no ha cambiado su viscosidad.

Los interceptores de exceso de pulverización de la pintura (filtros en el escape del aire proveniente de una cabina de pulverización de pintura) capturan del 90 % al 99% de las gotitas de **exceso de pulverización**. La reutilización de las gotitas de **exceso de pulverización** que se drenan desde un arrestor de **exceso de pulverización** de pintura *UV/EB* puede aumentar la eficacia general de una operación de **revestimiento** por pulverización. Hay diversos tipos de interceptores de **exceso de pulverización** de pintura que, cuando se usan con pinturas convencionales, permiten que las gotitas con diámetros aerodinámicos de 3 a 7 micrones o menos pasen sin inconvenientes. Sin embargo, podría usarse un filtro para capturar gotitas hasta 1 micrón de diámetro con las pinturas *UV*. Esto es práctico porque el drenaje del filtro en un proceso *UV* puede reutilizarse y el costo logrado, como resultado de una mayor presión, sería menor que el costo de la pintura ahorrada.

Para minimizar la exposición potencial a gotitas *UV* sin curar que pasen a través del arrestor, se debe instalar una unidad de curado *UV* en el escape del arrestor. Si se utiliza una unidad de curado con *UV* para curar las gotitas que pasan a través del filtro antes de ser descargados a la atmósfera, el aerosol en el aire de escape no sería tóxico. Además, la corriente de escape curada sería menos probable de marcar el techo de un vecino que un aerosol proveniente de una cabina de pulverización convencional.

Un interceptor de **exceso de pulverización** de pintura típicamente se desmonta cuando está “completamente cargado” con pintura convencional sin curar. “Completamente cargado” significa que un filtro tiene una caída de presión demasiado grande al pasar por él el flujo de aire requerido. Además de un filtro “completamente cargado” (y la pintura que éste contiene), se debe tener en cuenta la pintura que se ha drenado del interceptores de **exceso de pulverización**. Cuando se usa una pintura convencional, este drenaje no puede reutilizarse porque ha sufrido evaporación rápida de sus componentes volátiles y es más viscoso que la pintura pulverizada. Por lo tanto, con pinturas convencionales, se debe manipular una mayor cantidad de desechos y esto presenta una mayor amenaza de efectos adversos en la salud. Esta amenaza de efectos adversos en la salud puede minimizarse usando y reutilizando la pintura *UV*.

La emisión de neblinas de aerosol se observó en 1991 como “emisiones de **monómero**”, por lo cual era necesario investigar la cantidad y la composición de las emisiones. Desde ese entonces se ha descubierto que este aerosol o neblina se emite no sólo desde las pistolas aspersoras, sino también de rodillos y prensas de impresión (especialmente en las operaciones a alta velocidad). La formación de neblina varía del 1% al 50% del **revestimiento** o **tinta** total consumido. Si la formación de neblinas representa un problema, los proveedores del equipo, proceso y materiales pueden trabajar junto con los operadores para minimizar las emisiones.

Los **revestimientos** convencionales pueden variar del 40% al 80% de **solvente** por volumen. Este **solvente** frecuentemente es una combinación de *VOC*. Los ingredientes en los **revestimientos** convencionales que causan efectos en la salud incluyen *HAP*, *VOC* y pigmentos. Los *HAP* incluyen los ingredientes que son tóxicos, neurotóxicos y carcinogénicos. Los materiales *UV/EB* esencialmente no contienen *VOC* o *HAP* (los **revestimientos** *UV/EB* actualmente disponibles tienen *HAP* como un ingrediente muy menor que forma parte del **polímero**). Algunos pigmentos han presentado toxicidad.

Los **revestimientos UV/EB** actualmente disponibles emiten sólo del 1% al 5% por peso, mientras que los **revestimientos** más antiguos podían emitir hasta el 10% como volátiles de curado. Estos valores se basan en los resultados del Método 24. El Método 24 hornea el **revestimiento** después del curado para eliminar cualquier **VOC** residual, pero esto podría causar algo de descomposición.

¿Qué sucede con respecto a la higiene de los trabajadores?

La higiene es el procedimiento que se sigue para evitar lesionarse, enfermarse o tener otros tipos de problemas de salud. Se contrasta con la terapia, que es el procedimiento que se sigue para recuperarse o sanarse después de haberse lesionado, enfermado o desarrollado un problema de salud. La higiene consta de precauciones de seguridad. Por lo tanto, es una buena idea mantener una buena higiene, aunque tal vez no esté de acuerdo que resulte necesario, ni comprenda por qué es requerida.

Se han promulgado varias normas o leyes, incluyendo la *Federal Hazard Communication Standard* (norma federal de comunicación de peligros) además de leyes y normas federales, estatales y locales que requieren que se informe a los trabajadores de los factores de riesgo en un trabajo específico. Partes de estas normas regulan las etiquetas de advertencia de los productos, **MSDS**, educación de los trabajadores y capacitación. Estas normas debieran ayudarle a comprender por qué es necesario practicar la higiene, por qué se requieren prácticas específicas de higiene, y cómo comunicar los requisitos de higiene a los empleados.

Si bien los materiales curables con **UV/EB**, en su forma moderna, no han estado en uso lo suficiente como para demostrar efectos tóxicos a largo plazo, algunos materiales **UV/EB** más antiguos han demostrado los efectos tóxicos a corto plazo. Estos efectos a corto plazo han disminuido en cierta medida gracias al desarrollo de materiales menos tóxicos con el correr de los años desde que se observaron dichos efectos.

Dado que se usan los mismos **monómeros** y **oligómeros** de base en **revestimientos**, **tintas** y **adhesivos** convencionales para pintura o impresión, los materiales **UV/EB** están sujetos a la misma higiene de la pintura o impresión convencional, con algunos agregados. Algunas de estas precauciones de seguridad adicionales se atribuyen al grupo acrílico (u otro **grupo funcional**) que se ha acoplado a una molécula curable con **UV/EB**. Un riesgo aceptable de dermatitis por contacto ocupacional (inflamación de la piel y de las membranas mucosas) e irritación ocular puede lograrse con el uso de vestimenta protectora apropiada, procedimientos adecuados de manipulación de los materiales curables con **UV/EB** y blindaje apropiado contra la **radiación UV/EB**. La dermatitis por contacto también puede ser causada por una reacción alérgica a una sustancia de un material **UV/EB** que sólo está presente en cantidades de traza.

Es importante recordar que los materiales curables con **UV/EB** tienen capacidad de esparcirse y no permanecen necesariamente en un solo lugar hasta el momento del curado o limpieza. No se evaporan, curan ni secan como los materiales convencionales. Podrían desplazarse basándose en el contacto, primero desde un sitio contaminado y luego por contacto a cualquier otro sitio. El equipo tocado con guantes contaminado permanecerá contaminado y representa una fuente de exposición hasta que quede expuesta a **radiación UV/EB** o se limpie.

Los materiales curables con **UV/EB** nunca deben ser permitidos entrar en contacto con los ojos. Para protección ocular, siempre debe usarse anteojos de seguridad, gafas o un escudo facial completo, al manipular cualquier sustancia química o **solvente** (vea la Figura 13). Esto era especialmente cierto de sustancias químicas **UV/EB** más antiguas, pero se debería usar esta precaución incluso si las sustancias químicas **UV/EB** más nuevas causan menos irritación ocular y son menos tóxicas.

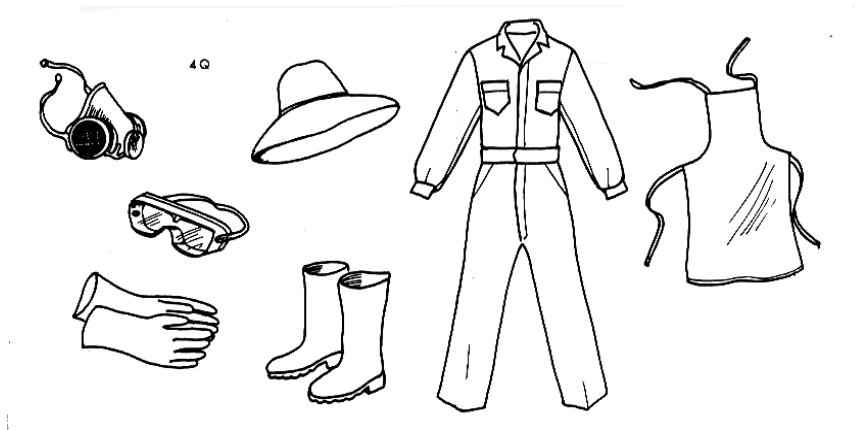


Figura 13: Ejemplos de equipos de seguridad

Nunca debe mirar directamente a las lámparas **UV** ni a los reflejos fuertes, incluso con protección ocular. Todos los materiales de protección ocular deben tener escudos laterales y absorber suficiente luz **UV** como para evitar una exposición no intencional y la resultante irritación ocular.¹

Nunca debe ajustar el blindaje **UV** o **EB** sin una supervisión calificada.¹

Siempre debe comer o beber en el área designada de comedor, y nunca en el área de trabajo. Debe estar atento a cualquier tipo de contaminación en esta área y evitar dicha contaminación. Debe también lavarse muy bien antes de tocar cualquier comida o bebida.²⁴ Debe aplicarse una crema de barrera después de comer y antes de regresar a trabajar.

Debe evitarse el contacto directo de la piel con todos los **revestimientos, tintas y adhesivos**.¹ Siempre lávese las manos muy bien antes de usar los baños. Debe reaplicarse una crema de barrera subsiguientemente después de lavarse las manos y antes de regresar a trabajar.²⁴ Las cremas de barrera deben aplicarse a la piel limpia antes de la exposición, y no deben aplicarse después de la exposición. Las cremas de barrera pueden proteger contra material que pudiera penetrar a través de los defectos en el equipo protector.

Típicamente, se usa ropa de mangas largas y pantalones largos u overoles, de tela no tejida. Siempre deben usarse guantes de caucho cuando es posible el contacto directo con materiales curables por **radiación**. Es apropiado usar la misma higiene para los materiales **UV/EB** que la que usaría para una **solvente**, una sustancia química corrosiva o una sustancia química tóxica. El uso de vestimenta protectora para un turno completo también podría requerir el control de la

temperatura del aire, para que los trabajadores puedan sentirse cómodos. El uso de un delantal de caucho o un traje de caucho es apropiado cuando exista la posibilidad de salpicaduras con **solvente**, o con materiales corrosivos o tóxicos. Los zapatos deben proporcionar cobertura de todo el pie. Deben usarse botas de caucho cuando exista un peligro de derrame o al caminar donde se hubiera derramado un **solvente** o material tóxico.

Los objetos de cuero contaminado (zapatos, cinturones, etc.) deben desecharse porque no se los puede descontaminar. Siempre cámbiense la ropa de trabajo antes de abandonar la planta. Nunca use la ropa de trabajo ni los zapatos de trabajo lejos de la planta.

La ropa contaminada se puede lavar en una lavandería comercial, pero no en una lavandería en el hogar. Después de la limpieza, se la puede volver a usar. La ropa muy contaminada debe descartarse.²⁴ Los trapos usados para la limpieza deben colocarse inmediatamente en un recipiente para su desecho o lavado, y nunca deben colocarse en su bolsillo.¹

Algunos **revestimientos** usan **monómeros** y **fotoiniciadores** de amina que podrían tener olores fuertes. La inhalación del vapor por lo general es un problema de olor, pero también podría convertirse en un problema de toxicidad. Por lo tanto, se recomienda encarecidamente ventilación para el control de los olores. Si bien las aminas olorosas están cayendo en desuso, también debe usarse ventilación para los aerosoles en neblina, ozono y **HAP** que pudieran surgir como resultado de la aplicación y curado de materiales curado con **radiación UV/EB**. Los olores pueden alcanzar niveles de concentración que requieren controles para la comodidad y, quizás, la salud de los trabajadores.

Ocurre la formación de neblina en prensas de alta velocidad, en puntos de transferencia de **tinta** líquida, donde se pulverizan pinturas y durante la aplicación con rodillos a alta velocidad. La neblina es un aerosol que probablemente sea tóxico y posiblemente carcinogénico. Las neblinas forman depósitos en los alojamientos de las lámparas de **UV**. Tales depósitos reducen la salida de **UV** y aumentan el calentamiento dentro de un alojamiento. Puede ocurrir la formación de arcos eléctricos en los contactos de los electrodos de las lámparas como resultado de la acumulación de polvos debido a la formación de neblinas. Esto puede causar velocidades de curado más lentas y resultar en costos de operación más altos. Para evitar estos problemas, deben eliminarse los depósitos de los hornos y de los alojamientos de las lámparas con un detergente suave.

El tamaño de las gotitas de un aerosol en neblina con frecuencia es menor que 3 micrones, pero podría ser más grande para pinturas pulverizadas. En ambos casos, se conoce bien su existencia. Dado que los materiales **UV/EB** sin curar tienen una cierta toxicidad, la prudencia requeriría que no se respire este aerosol. Se recomienda una máscara de filtrado apropiado o una máscara con suministro de aire cuando no exista ventilación. Si se ha curado un aerosol por suficiente exposición a **energía radiante UV** o **EB**, ya no es tóxica. Las operaciones que producen tales aerosoles o neblinas deben estar encerradas y bien ventiladas. La ventilación debe transportar aire a una fuente de luz **ultravioleta** o luz solar para curar un aerosol para un **revestimiento** o **tinta UV**, porque las gotitas frecuentemente son demasiado pequeñas como para eliminadas por filtración. Tales aerosoles no deben emitirse después de la puesta del sol, a menos que sean curados por una unidad de curado antes de ser emitidas. También pueden formarse aerosoles en un incendio, o con la **polimerización** descontrolada de materiales a granel. Se debe usar una

máscara que suministre aire fresco o un respirador para vapores orgánicos bajo tales condiciones de exposición potencial.¹

Asegúrese de no superar la exposición permitida a la **radiación ionizante**. Si bien la definición de la **OSHA** sólo se aplica a los **rayos X**, se debe tener cuidado de garantizar que los trabajadores no reciban una dosis de **UV** que pudiera irritar su piel o sus ojos.

CONSIDERACIONES DE COSTO

¿LOS MATERIALES CURADOS CON UV/EB SON MÁS COSTOSOS QUE LOS REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS CONVENCIONALES?

Los **revestimientos**, **tintas** y **adhesivos** convencionales pueden emitir del 50% al 80% de su volumen como **VOC**. Este **VOC** se evapora y es transportado por el flujo de aire de ventilación de los procesos de aplicación y/o de los hornos térmicos que secan y curan este material. Las emisiones **VOC** de los materiales curados con **UV/EB** son mucho menores, con valores del 1% al 10% del peso del material **UV/EB**. Típicamente, las emisiones **VOC** provenientes de la mayoría de las aplicaciones de materiales **UV/EB** son menores que el 5% del peso de material aplicado. Observe también que virtualmente cada componente de un material curado con **UV/EB** forma parte del **revestimiento**, **tinta** o **adhesivo** curado, pero sólo el 20% al 50% de un material convencional (es decir, la **resina** y los pigmentos, pero no el **solvente**) se convierte en sólidos del **revestimiento** aplicado. Se necesitan menos galones de material **UV/EB** para cubrir la misma cantidad de área al mismo grosor de película. Por lo tanto, la mejor manera de comparar el costo de los materiales **UV/EB** y convencionales es en base a película sólida, en lugar de usar el costo por galón.

Un uso más eficaz de los materiales curados con **UV/EB** (basándose en la reutilización del **exceso de pulverización**) puede hacer que las operaciones **UV/EB** resulten más eficaces con respecto al costo que las operaciones convencionales. Además, hay más ahorros en los costos cuando se usa la tecnología **UV/EB** como resultado de menores requerimientos de energía, menor espacio en el piso, mayor productividad y ausencia de equipo de control adicional. El **exceso de pulverización** de los materiales **UV/EB** puede capturarse y reutilizarse de manera eficaz porque por lo general carecen de volátiles, y no se curarán a menos que queden expuesto a **energía radiante UV/EB**. Si la recirculación del material **UV/EB** es una alternativa factible, el costo de los materiales **UV/EB** en realidad podría ser de aproximadamente el 30% al 60% del costo de un **revestimiento** convencional en una base de película sólida comparable (esto es sólo para el costo del material).

El costo de los **revestimientos** curados con **UV/EB** “tal como fueron aplicados” es de aproximadamente un 15% mayor que los **revestimientos** convencionales en una base por galón. Sin embargo, tal como se indicó más arriba, más de la mitad de un **revestimiento** convencional se evapora y no forma parte del **revestimiento** curado final. Dado que los **revestimientos** curados con **UV/EB** sólo tienen una pérdida del 1 al 10 %, cuestan aproximadamente un 45 % menos que los **revestimientos** convencionales por pie cuadrado en base de película sólida. El reporte de **CTC** de 1991 indicó que los **revestimientos UV/EB** cuestan tanto como cuatro veces el costo de los **revestimientos** convencionales en una base por galón, y dos veces en una base de película sólida. A lo largo de los últimos 10 años, estas diferencias ya no son válidas debido a las reducciones del precio de los materiales curados con **UV/EB**. Cuando se consideran las tasas

de producción más altas (junto con la reducción resultante de inventario en proceso), menor consumo de energía y reducción de los requisitos de espacio en el piso, en la mayoría de los casos las consideraciones económicas favorecen ampliamente a las tecnologías de **revestimiento UV/EB** frente a las convencionales. Se encuentran ventajas económicas similares en la industria de la impresión.

Las tasas de producción más altas para los procesos **UV/EB** se basan en un tiempo de curado más corto (más rápido). Los tiempos de curado más cortos resultan en unidades de curado más pequeñas (en comparación con los secadores térmicos convencionales) que requieren menos espacio en el piso (vea la Figura 14). Además, podría haber ahorros adicionales de espacio porque los productos curados con **UV/EB** no requieren tiempo de acondicionamiento en almacenamiento. Para los procesos convencionales que utilizan hornos térmicos, el producto que sale de un horno podría tener que retenerse durante varias horas (8 a 24 horas o posiblemente más) en almacenamiento si es necesario el acondicionamiento del **sustrato** (por ejemplo, para reducir fragilidad después de que un **sustrato** en papel haya estado sometido a calor y secado en un horno). Este acondicionamiento con frecuencia requiere almacenamiento a temperatura y humedad controladas. Este tipo de almacenamiento no es necesario para los productos después del curado con **UV/EB**. Por lo tanto, los procesos **UV/EB** podrían tener ventajas adicionales de espacio y productividad frente a las operaciones convencionales que requieren el acondicionamiento del producto después de salir de un horno térmico.

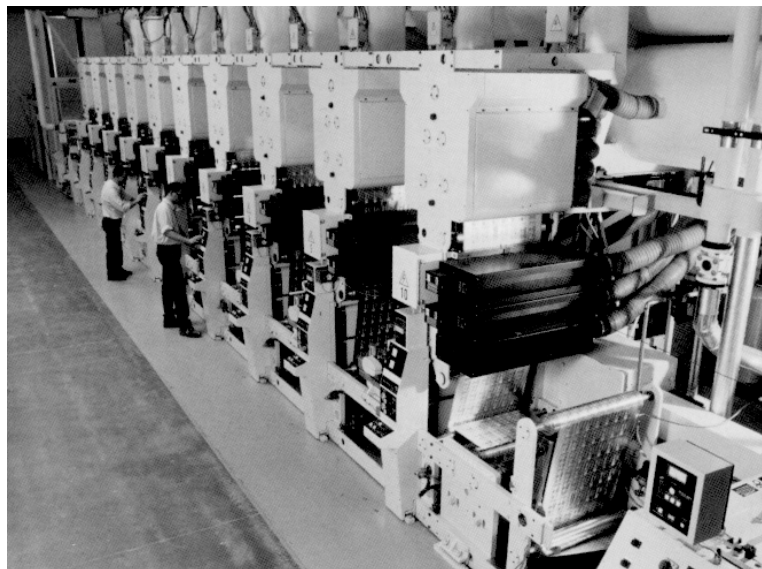


Figura 14: Prensas con unidades de curado con **UV**

Como ejemplo, considere dos líneas de impresión con **bandas** de 10 pies de ancho que operan a 1,000 pies por minuto. Una línea de impresión utiliza tecnología **UV** y el material impreso sale de la unidad completamente curado. La otra línea de impresión utiliza tecnología convencional y el material impreso que sale del horno está lo suficientemente curado (es decir, ya no manchará). En esta comparación, el material convencional debe alcanzar ese punto en 6 segundos en un horno que se extiende 100 pies. Esto podría incluso ser un cálculo optimista. El proceso convencional podría tener que funcionar a mayor

lentitud que esto, pero supondremos que el material convencional se curará lo suficientemente en 6 segundos. En comparación, el curado con *UV* demorará una fracción de un segundo y la unidad de curado con *UV* sólo ocupa 100 pies cuadrados. El horno térmico necesitará usar 1,000 pies cuadrados (10 x 100) de espacio de piso de alquiler a \$0.50 por pie cuadrado por mes (\$6.00 por pie cuadrado por año), para un total de \$6,000 por año. La unidad de curado con *UV* sólo usará 100 pies cuadrados (10 x 10), y el costo de alquiler será de \$600 por año.

Para el mismo ejemplo, el consumo de energía para un horno térmico es de 1.5 *MBTU/hr* además de los sopladores a 56 *kW*. Supondremos que el consumo de gas natural será a \$3.00 /*MBTU* y el consumo eléctrico será a \$0.07/*kW-hr*. Si la planta opera 300 días por año en dos turnos, el costo total de energía para el horno térmico sería de \$21,600 por año y el costo de electricidad para los sopladores sería de \$18,816 por año. En comparación, la unidad de curado con *UV* usaría 5.6 *kW*/lámpara multiplicado por 12 lámparas multiplicado por \$0.07/*kW-hr* para obtener un costo de \$22,579 por año y la ventilación costaría \$336 por año para la misma base.

En resumen, el costo de operar una línea de impresión convencional en el ejemplo sería de \$6,000 + \$21,600 + \$18,816 = \$46,416. El costo de operar la línea de impresión con *UV* sería de \$600 + \$22,579 + \$336 = \$23,415. Éste es un ahorro en el costo operativo para la línea de *UV* frente a la línea convencional de por lo menos \$23,001 (\$46,416 - \$23,415), o aproximadamente un 50% para este ejemplo hipotético.

El costo de capital de un horno térmico es significativo. El costo de capital de una unidad de curado con *UV* es casi trivial en comparación. Incluso una unidad de curado con *EB* debiera costar menos.

Tal como se indicó previamente, los **revestimientos, tintas y adhesivos** curados con *UV/EB* se curan rápidamente y pueden pasar a la siguiente operación de acabado en el proceso de producción inmediatamente. La única excepción (en este momento) es si se utilizan **fotoiniciadores catiónicos**. El curado **catiónico** demora unos pocos segundos en comparación con los curados casi instantáneos al usar **fotoiniciadores por radicales libres**.

El costo de la tecnología adicional de control de emisiones para **revestimientos, tintas y adhesivos** basados en **solventes** convencionales (es decir, *VOC*) puede tener valores de \$250,000 a más de \$3,000,000. Los **revestimientos** curados con *UV/EB* tienen mínimas emisiones *VOC*; y por lo tanto, no requieren controles adicionales. Los costos de capital y operación y mantenimiento de los controles de emisión necesarios para las aplicaciones convencionales deben incluirse en cualquier análisis comparativo de costos.

Cuando se usan materiales *UV/EB*, se deberían reducir las primas de seguro de incendio debido a la carencia de *VOC* inflamable. (Una compañía de seguros reportó una reducción del 5%). La ausencia de *VOC* inflamable en las instalaciones que usan la tecnología *UV/EB* debiera reducir los accidentes que conducen a incendio o explosión.

El equipo protector y las medidas de seguridad que deben utilizarse con los materiales *UV/EB* son típicas de las industrias químicas, de impresión, pintura y **revestimiento** en general. Si bien podría existir alguna variación en las precauciones de seguridad entre las instalaciones que usan

materiales **UV/EB** en comparación con los materiales convencionales, las variaciones no debieran influir demasiado en el costo.

Los costos reales para implementar la tecnología **UV/EB** para una operación en particular variarán con el tiempo y las circunstancias. Deben obtenerse estimaciones de costo real para cada instalación y proceso en el momento de considerarse un cambio. El costo neto de un cambio a la tecnología de curado con **UV/EB** por lo general permite un retorno de la inversión al cabo de dos años.

RESUMEN

¿CUÁLES SON LAS VENTAJAS DE USAR REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS CURADOS CON UV/EB?

- ★ Curado rápido – Funciona a tasas de producción más altas y se cura en menos tiempo que los **revestimientos** evaporativos.
- ★ Consumo de energía bajo – Usa mucho menos energía para el curado que los **revestimientos** evaporativos.
- ★ Diseño compacto – Usa mucho menos espacio en el piso que los **revestimientos** evaporativos convencionales.
- ★ Baja emisiones – Menos emisiones sin controles que la mayoría de los sistemas de **revestimiento** evaporativo convencional con controles de las emisiones.
- ★ Ventaja normativa – Fácilmente cumple con la mayoría de los requisitos normativas y elimina algunos.
- ★ Eficaz con respecto al costo – Reduce los costos iniciales y los tiempos de retorno de la inversión. No se requiere un acondicionamiento.
- ★ Produce un acabado de alta calidad – Se usa para muebles de calidad, revistas, componentes microelectrónicos.
- ★ Listo para usar – Los materiales se suministran listos para usar – no se requiere ningún tipo de mezclado.
- ★ Reusable/Reciclable – No se pierden volátiles en la aplicación y puede reutilizarse inmediatamente.
- ★ Se cura en la unidad de curado – No se cura en el equipo, puede dejarse ahí durante el fin de semana.

- ★ Menos exposición de los trabajadores a **HAP/VOC** – Ausencia de **HAP/VOC** en los materiales **UV/EB**.
- ★ Menos inflamable – Mayor seguridad, menores primas de seguro contra incendios.
- ★ Capacidad de reciclar el producto – El papel de los productos **UV/EB** se puede reciclar , incluso a un grado mayor.

¿CUÁLES SON LAS DESVENTAJAS DE USAR REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS CURADOS CON UV/EB?

- Formación de neblinas/**Exceso de pulverización** –Las aplicaciones con rodillo y de impresión por pulverización y a alta velocidad pueden producir aerosoles que se pueden inhalar.
- Toxicidad del aerosol – El aerosol no está curado, es tóxico y no desaparecerá sin una limpieza.
- Higiene/Sensibilización de los trabajadores - Similar a otros procesos, pero diferente. Tiene resultados diferentes.
- Contaminación/Limpieza del lugar de trabajo – La contaminación persistirá y se esparcirá hasta que se limpie.
- Persistente en el medio ambiente – El material sin curar persistirá en la sombra.
- **Energía radiante UV/EB** – Puede causar lesiones si se usa incorrectamente.
- Resistencia del cliente – Riesgo histórico de no cumplir con las necesidades. Esto podría ser cosa del pasado.

CONCLUSIONES

1. Los **revestimientos, tintas y adhesivos** curados con **UV/EB** se utilizan ampliamente y se espera que se usen aún más a medida que las personas se familiaricen con este material y los desarrolladores produzcan **revestimientos, tintas y adhesivos** nuevos, más seguros y mejores para aplicar a objetos o **sustratos** específicos.
2. La toxicidad de los **revestimientos** curados con **UV/EB** ha pasado de muy toxica a sólo ligeramente toxica. Se anticipan mayores avances en cuanto a la reducción de la toxicidad. Los **revestimientos** convencionales se consideran ligeramente tóxicos. Los **revestimientos** curados de todos los tipos por lo general están libres de toxicidad.
3. El uso de **revestimientos, tintas y adhesivos** curados con **UV/EB** requiere una buena higiene en la manipulación y el desecho de los residuos. Esta higiene es similar a lo que ya se está

usando en las industrias de **revestimiento**, impresión y químicas. Sin embargo, cada situación requiere equipos algo diferentes.

4. El uso de energía radiante **UV/EB** para curar en lugar del calor para evaporar los **VOC** de los **revestimientos** y **tintas** reduce el consumo de energía, los riesgos de incendio, la necesidad de tecnología de control, los requerimientos de almacenamiento del producto en proceso, las necesidades de espacio en el piso, y, probablemente, las primas de seguro. Estas reducciones debieran proporcionar beneficios económicos potencialmente significativos.

REFERENCIAS

1. Safety and Handling of **UV/EB**-curing Materials, R. Golden, Journal of **Coatings** Technology, Vol. 69 No. 871, August 1997, pp 83-89
2. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Standards 29CFR No. 1910.1096, **Ionizing Radiation**
3. AP-42, Clearinghouse for Inventory and Emission Factors, Environmental Protection Agency, Chapter 4 Section 9, General Graphic Printing
4. Stork Sheds Light on **UV Inks**, D. Lanska, Converting Magazine, June 1997
5. **Acrylate** Formulations for a Solventless Magnetic Tape Manufacturing Process; M. Ellison, J. Huh, A. Power, J. Purse, and D. Nikles, Proceeding of the Polymeric Materials Science and Engineering, American Chemical Society, pp 115-116
6. Ultra Low Voltage Curing of Acrylic Hot Melt PSA's, R. Ramharack, R. Chandran, S. Shah, D. Hariharan, J. Orloff, and P. Foreman, **Adhesives** Age, December 1996, pp 40-43
7. Deco-Chem Education Center
www.decochem.com/educntr.htm
8. **Coating** Types and Curing Characteristics, Small Business Environmental Assistance Program
sbeap.niar.twsu.edu/docs/pntch2.html
9. Electron-beam Curable Structural **Adhesives**. Part 1: Study of acrylic **resins** for **adhesive** applications, N. Cadinot, B. Boutevin, AJ. Parisi, D. Beziere and E. Chataignier, International Journal of Adhesion and **Adhesives**, Volume 14 Number 4, 1994, pp 237-241
10. Design for the Environment, Flexography Project, Focusing on Flexo **Inks**, EPA 744-F-95-006, February 1996
11. **Coating** Alternatives Guide, CAGE
cage.rti.org/altern_data.cfm?id=radcure&cat=summary
12. European **Coatings** Net: New **Coating** Technologies for Wood Products, M. Tavakoli, S. Riches, J. Shipman, and M. Thomas
www.coatings.de/articles/tava/TAVA.htm
13. Alternatives to Solvent-Borne **Coatings**, University of Illinois at Urbana-Champaign
nuclear.hazard.uiuc.edu/packets/coatings/alternat.htm

□

14. Guide to Cleaner Technologies: Organic **Coating** Replacements, R. Joseph, O. Stanley, C. Danick, L. Melgery, Envirosense/Environmental Protection Agency
es.epa.gov/program/epaorgs/ord/org-coat.html
15. Polyallyl Glycidal Ether **Resins** for Very Fast Curing High Performance **Coatings**, J. Knapczyk, Solutia Inc.
www.coatings-solutia.com/docs/TechPubs/211x.htm
16. **Volatile Organic Compounds** from **Electron Beam** Cured and Partially **Electron Beam** Cured Packaging Using Automated Short Path Thermal Desorption, V. Das, J. Manura, T. Hartman, Scientific Instrument Services Application Note No.79
www.sisweb.com/referenc/applnote/app-79.htm
17. Advanced **Electron Beam** Curing Systems and Recent Composite Armored Vehicle Results, D. Goodman, C. Byrne, G. Palmese, 42nd International SAMPE Symposium, May 1997
18. E-Beam Processing of Composite Structures, R. Vastava, 42nd International SAMPE Symposium, May 1997
19. Layer by Layer E-Beam Curing of Filament Wound Composite Materials with Low Energy Beam Accelerators, F. Guasti, N. Kutufa, G. Mattacari, E. Rosi, SAMPE Journal, Vol.34 No.2, March/April 1998
20. Low Energy **Electron Beam** Curing for Thick Composite Production, F. Guasti and E. Rosi, Composites - Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 28 No.11, 1997, pp. 965-969
21. Toughened Epoxy **Resins** Cures by **Electron Beam Radiation**, C. Jahnke, G. Dorsey, S. Havens, V. Lopata, 28th International SAMPE Technical Conference, November 1996
22. Electron Curing of Epoxy **Resins**: Initiator and Concentration Effects on Curing Dose and Rheological Properties, V. Lopata, M. Chung, C. Jahnke, and S. Havens, 28th International SAMPE Technical Conference, November 1996
23. **UV/EB**-curing, Primer 1, RadTech International North America, 1995
24. **UV**-curing Technical Information, Health Safety and the Environment
www.uvcuring.com/uvguide/chap4_8/chap4_8.htm
25. **Coatings** R&D, Paint and Powder Magazine Online, Dr. Harvest L. Collier, University of Missouri-Rolla www.ipmagazine.com/news/0499col3.htm
26. **UV, EB** and Aqueous **Coatings**: Technical Basics, Elmer W. Griese, GATFWorld, May/June 1998
27. **Radiation** Curing in the Printing Industry, CEPE Position Paper of June 1997
www.cepe.org/RadCurePS0697.html

28. **Volatile Organic Compounds** from **Electron Beam** Cured Packaging Using Automated Short Path Thermal Desorption, V. Das, J. Manura, T. Hartman, PittaCon99 Meeting, Orlando, FL, March 1999
29. **UV Systems – Technology and Technique**, R. Stowe, Fusion Systems at the National Association of Graphic and Product Identification Manufacturers, Coronado Island Marriott Resort, CA, October 25-28 1998
30. **Radiation-Curable Coatings**, Control Technology Center, U.S. Environmental Protection Agency, April 1991
31. Characteristics and Performance of **Radiation** Curable Powder **Coatings**, S. Udding-Louwrier, E. Sjord de Jong, R. Baijards, RadTech Proceedings, April 19-22 1998, Chicago, pp 106-111
32. **Excimer UV Lamps** - The real cold alternative in **UV-curing**, Dr. A. Roth, M. Honig, RadTech Proceedings, April 19-22 1998, Chicago, pp 112-116
33. UCB Chemicals Corporation/Radcure - An Overview, M. Philips, D. Nack, RadTech Proceedings, April 19-22 1998, Chicago, pp 120-124
34. Waterbased **Radiation**-curable systems - newest investigations, W. Reich, P. Enenkel, E. Keil, M. Lokai, K. Menzel, w. Schrof, RadTech Proceedings, April 19-22 1998, Chicago, pp 258-265
35. **Radiation** Curable Binder Matrices of Interest in Manufacturing Energetic Materials, S. Stiles, Dr C. Clark, RadTech Proceedings, April 19-22 1998, Chicago, pp 266-284
36. Characterization of **Radiation** Curable Formulations Using a **Fluorescence** Monitoring Technique, R. Buehner, pp 337-347
37. New Developments in **Fluorescence** Probe Technology for Cure Monitoring, K. Specht, R. Popielarz, S. Hu, d. Neckers, RadTech Proceedings, April 19-22 1998, Chicago, pp 348-355
38. The Effect of Moisture on the **Cationic Polymerization**, P. Hupfield, S. Hurford, J. Tonge, pp 468-475
39. Low Viscous Maleate/Vinyl Ether **Resins** as Reactive **Diluents** In Conventional **Acrylate** Based Wood **Coating** Formulations For **UV-curing**, E. Meij, A. Dias, L. de Cocq, pp 585-589
40. Water Thinnable **UV-Curable Coatings**, M. Bernard, RadTech Proceedings, April 19-22 1998, Chicago, pp 590-596
41. **UV Lamp Performance Over Time**, S. Siegel, RadTech Proceedings, April 19-22 1998, Chicago, pp 685-691

42. A Performance Comparison of Electronic vs. Magnetic Ballast for Powering Gas-Discharge UV Lamps, E. Persson, D. Kuusisto, RadTech Proceedings, April 19-22 1998, Chicago, pp 692-700

43. Deinking Trials for RadTech International, Beloit Corporation, Pittsfield Research Center, Pittsfield, Mass., January 1992

44. Personal communication, Gary Jones, Graphic Arts Technical Foundation, January 31, 2000

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Ácido(s) de Arrhenius	S. Arrhenius de Suecia definió un ácido como un donante de iones de hidrógeno. Dado el ión de hidrógeno está compuesto por un protón y un neutrón, es muy parecido a un ácido de Bronsted . Ver también ácido de Lewis .
Ácido(s) de Bronsted	J. N. Bronsted de Dinamarca definió un ácido como un donante de protones. Esta definición permitió incluir a los radicales orgánicos o a una zeolita entre los ácidos. Reemplazó el concepto de un donante de iones de hidrógeno para sustancias químicas que no se hidrolizan ni generan iones de hidrógeno. Ver también ácidos de Arrhenius , ácidos de Lewis .
Ácido(s) de Lewis	G. N. Lewis definió un ácido como un aceptor de un par de electrones. Ver también las definiciones de ácido de Arrhenius y ácido de Bronsted .
Acrilato(s)	Una sal orgánica (un éster) producida por la reacción de ácido acrílico con una molécula orgánica. Se trata de cualquier molécula que tenga acoplada un radical acrílico.
Adhesivo(s)	Revestimiento de diseño especial aplicado a un material para lograr que éste se pegue o adhiera a otra superficie (por ejemplo, el revestimiento aplicado para fabricar cintas y etiquetas piezosensibles).
Banda	Toda tela, papel, película plástica, lámina metálica, metal en planchas enrolladas u otros productos que son lo suficientemente flexibles como para ser desenrollados a partir de un rollo grande, recubiertos con una hoja, revestimiento por rodillos o huecograbado como una hoja continua y, después de curado, reenrollados.
Bremsstrahlung	En alemán, Bremsstrahlung significa literalmente radiación con frenos o causada por retardos. Bremsstrahlung es la energía perdida en el impacto elástico de los electrones, o la energía perdida cuando un electrón pasa de una órbita más grande a una más pequeña. Se irradia como rayos X .
Catalizador(es)	Existen dos tipos de catalizadores : heterogéneos y homogéneos. Ambos afectan la velocidad de las reacciones químicas. Un catalizador heterogéneo es una sustancia dentro de otra fase (sólida, líquida o gas). Un catalizador homogéneo es una sustancia dentro de la misma fase. Los catalizadores heterogéneos no participan en la reacción, pero los catalizadores homogéneos sí pueden participar en la reacción.
Catiónico/Polimerización catiónica	Un ión con valencia positiva que es atraído al cátodo durante la electrólisis. Un fotoiniciador catiónico es aquel que se descompone bajo la energía radiante UV/EB o a partir de ácidos de Bronsted para formar cationes que causan que ocurra la polimerización mediante un mecanismo iónico.

Diluyente(s)	Una sustancia química de baja viscosidad que se agrega a una mezcla para reducir la viscosidad general. Esto incluye diluyentes reactivos que forman parte de la molécula del polímero en el momento de la polimerización . Los diluyentes reactivos pueden ser VOC antes de la polimerización , pero dejan de serlo después de la polimerización .
Diluyente(s) reactivo(s)	Ver Diluyentes
Dímero(s)	Dos moléculas idénticas se enlazan entre sí para formar una sola molécula. Un ejemplo es la molécula de peróxido de hidrógeno que está formada por dos radicales hidroxilos enlazados entre sí.
Dosis toxica	La dosis letal para el 50% de los animales de laboratorio (ratas) que ingirieron la sustancia. También se puede referir a la concentración que, si se inhala, ocasiona la muerte del 50% de los animales de laboratorio.
Eficiencia de transferencia	La razón de la cantidad de sólidos en el revestimiento depositados sobre la superficie de la pieza recubierta entre la cantidad total de sólidos usados para el revestimiento .
Entre-cruzamiento	La interconexión de una molécula de polímero con otra mediante uniones moleculares. El entre-cruzamiento aumenta la temperatura de transición vítrea y otorga al polímero resistencia mecánica y a la abrasión.
Exceso de pulverización	La porción de sólidos de un revestimiento de un aplicador aspersor que no logra adherirse a la pieza que se está rociando o recubriendo. El exceso de pulverización UV/EB puede estar compuesto por gotitas de líquido porque virtualmente todo el material UV/EB puede convertirse en un sólido.
Excímero(s)	Un excímero es un dímero excitado. Se trata de una molécula dividida por fonones . Proporciona un espectro definido de energía electromagnética cuando el dímero vuelve a formarse. Si dos o más fonones causaron la división, el espectro emitido puede ser incluso a una longitud de onda más corta y energética.
Fluorescencia	El fenómeno de un único fotón que excita una molécula y causa que la misma emita una longitud de onda más larga.
Foto-iniciador(es)	Un compuesto que forma radicales libres o cationes cuando está sometido a energía radiante UV/EB . Un fotoiniciador es sensible a una longitud de onda específica de energía radiante. Los fotoiniciadores ahora han formado parte del polímero que se forma.
Fotón(es)	Según la teoría cuántica, una partícula hipotética sin masa que se usa para explicar algunos aspectos de una onda electromagnética . En la teoría cuántica, la onda electromagnética y la partícula son iguales.
Gray	Una unidad de radiancia absorbida que es equivalente a un Joule por kilogramo.

Grupo(s) funcional(es)	Un radical que se ha acoplado a una molécula de monómero u oligómero . Un grupo funcional causa que una molécula pueda excitarse más fácilmente ante la presencia de radicales libres y energía radiante. Los grupos funcionales más comúnmente utilizados con los radicales acrílico, metacrílico, vinil éter y metoxiacrílico.
Haz de electrones (EB) Energía radiante EB	Los haces de electrones se producen por un gradiente de alto potencial entre electrodos. Cuando el gradiente es lo suficientemente alto, se produce una corriente de electrones desde el electrodo negativo. Un electrodo positivo que tenga un orificio en el centro atrae los electrones. Dado que un electrón tiene masa, los electrones que se dirigen hacia el orificio continúan a través del mismo como un haz de electrones .
Hazardous Air Pollutants (HAP, contaminantes del aire peligrosos)	Una lista de 189 sustancias químicas identificada en las <i>Clean Air Act Amendments</i> (enmiendas de la ley del aire limpio) de 1990 como Hazardous Air Pollutants (contaminantes peligrosos del aire). Ver Apéndice E
Infrarrojo (IR) Energía radiante IR	Energía radiante electromagnética que es emitida por cualquier cuerpo por encima de una temperatura de cero absoluto. Se absorbe y detecta como calor. Se emite como un espectro, el cual desplaza su pico a longitudes de onda más cortas a medida que aumenta la temperatura. La porción no luminosa de dicho espectro se encuentra en el rango de 700 a ~11,000 nm.
Inhibición por oxígeno	La terminación prematura de una molécula de polímero causada por la reacción de moléculas de oxígeno con radicales libres . Cuando se termina la polimerización prematuramente, las moléculas de polímero son más cortas y tienen otras características.
Monómero(s)	Una molécula que se reorganiza para dar un polímero . Cada monómero es otra vértebra en la columna vertebral carbónica de un polímero . Los tipos de monómeros disponibles definirán las propiedades de un polímero . Las moléculas de monómero son nombradas por su estructura química (por ejemplo, epoxi, poliéster, uretano, silicona, etc).
Número atómico (Z)	El número de protones en el núcleo de cada átomo de un elemento. Los números atómicos para los elementos que ocurren de manera natural van del 1 al 89. Hay elementos fabricados por el hombre que tienen valores mayores que este rango.
Oligómero(s)	Un grupo de 3 a 5 moléculas de monómero que se han unido entre sí para formar una molécula más grande. Se comporta tal como haría un monómero, pero por lo general es menos tóxico.

Onda(s) electromagnética(s)	Energía que se propaga radialmente en la forma de fotones u ondas, alejándose de una fuente. Estos fotones u ondas están caracterizados por la longitud de onda o frecuencia, amplitud, intensidad y parámetros cuánticos. La longitud de onda es la velocidad de propagación dividida entre la frecuencia. La amplitud de una onda es una medida de la fuerza de la energía. La intensidad se mide como la velocidad a la cual se absorbe la energía.
Polimerización	El proceso que forma un polímero a partir de monómeros y oligómeros .
Polímero(s)	Una cadena de muchas moléculas de monómero enlazadas entre sí. Esta cadena puede constar de miles a millones de monómeros . La cadena de polímero se enreda y une a otras cadenas de polímero . Comúnmente, un polímero se conoce como un plástico.
Radiación	Energía (en alguna forma) emitida desde una fuente, propagada radialmente a lo largo de la línea de visión, y absorbida. Sin embargo, dependiendo del tipo y fuente de la energía, los efectos de la radiación en los seres humanos son muy diferentes.
Radiación ionizante	Radiación que puede ionizar una molécula. Este término por lo general se refiere a la cantidad de radiación que ionizará el oxígeno en aire; es decir, radiación con una longitud de onda más corta que 253 nm (esto incluye energía radiante UV actínica generada en sistemas de curado con UV y electrones, y rayos X generados en sistemas de curado con EB).
Radiactividad	Una propiedad de algunos átomos en los que se emite energía electromagnética. La energía proviene de una relación inestable de neutrones a protones en el núcleo de estos átomos. El núcleo sufrirá una fisión o fusión espontánea para reducir la energía. Esto ocurre espontáneamente y la energía se irradia como rayos gamma, rayos X u otras partículas. La mitad de los átomos que tienen una identidad tal sufrirán fisión o fusión desde dentro de una vida media bien definida.
Radical	Una porción ionizada de una molécula. Normalmente son aniones y cationes, dependiendo de si tienen un exceso o una deficiencia de electrones.
Radical libre/ Polimerización por radicales libres	Un radical libre es un fragmento molecular que tiene un solo electrón no apareado. Causa polimerización por la transferencia de un electrón desde una molécula de monómero . Cuando ocurre esta transferencia, el radical libre y la molécula de monómero se convierten en una sola. Esta nueva molécula es un radical libre más grande que puede luego transferir un electrón desde aún otra molécula de monómero . Este proceso puede continuar en una reacción en cadena que formará una molécula de polímero aparentemente interminable (compuesta por muchos monómeros).

Rayos X	Radiación electromagnética que tiene una longitud de onda con valores de 0.1 nm a 40 nm. Los rayos X tienen una absorción relativamente baja y, por lo tanto, atraviesan los sólidos. La atenuación (reducción) en la intensidad varía con la masa a lo largo de dicha trayectoria, el número atómico del material a lo largo de la trayectoria y la longitud de onda de los rayos X . Algunos materiales de alto Z pueden reducir los rayos X a niveles de fondo con sólo una breve trayectoria.
Recubriente de nitrógeno	El gas nitrógeno que cubre el sustrato como una manta para excluir el oxígeno en la atmósfera ambiente. Se usa para evitar la generación de ozono, la generación de óxido de nitrógeno y la inhibición por oxígeno de la polimerización .
Resina(s)	Un término usado de manera intercambiable con el polímero .
Revestimiento(s)	Una película protectora, adhesiva o decorativa aplicada en una capa sobre una superficie. El revestimiento puede aplicarse como líquido o sólido.
Roentgen Equivalents for Mankind (REM), dosis equivalente en renguenios en el hombre	Una unidad de la dosis absorbida para el cuerpo humano. Se expresa en Roentgens (ver más arriba). Se trata de la dosis absorbida a lo largo del espectro hasta 100 nm. Dado que la REM es una integral (suma) de todas estas longitudes de onda multiplicada por la absorción a dicha longitud de onda, no hay factores de conversión de otras medidas.
Roentgens (R)	Una unidad de radiación absorbida. Un Roentgen equivale a 100 ergs por gramo.
Solvente	Un líquido usado en una pintura, revestimiento o tinta para disolver o dispersar los constituyentes que forman película y para ajustar la viscosidad. Se evapora durante el secado/curado y no forma parte de la película seca.
Sustrato	La superficie a la que se aplica un revestimiento .
Tinta(s)	Un fluido o pasta con pigmentos que se usa como fluido de escritura o el resultado visible en la impresión.
Tridimensional (3D)	Cualquier objeto que tenga dimensiones de longitud, anchura y profundidad. Tales objetos son capaces de ensombrecer alguna porción de su superficie. Con respecto a la tecnología UV/EB , se refiere a la capacidad de minimizar el efecto de tales sombras para permitir el curado de todo el revestimiento .
Ultravioleta (UV) Energía radiante UV	La porción del espectro electromagnético entre 180 nm y 400 nm. Puede dividirse en el UV cercano (315 nm - 400 nm) y el UV lejano o actínico (180 nm - 315 nm). También puede dividirse en UV-A (315 nm - 400 nm), UV-B (290nm -315 nm) y UV-C (220nm - 290 nm). Se usan el UV cercano , UV-A y UV-B para curar materiales UV . Las quemaduras de sol son causadas por UV-A y U-B . El UV actínico o U-C se usa para esterilización.

<i>UV actínico</i>	<i>UV actínico</i> o <i>UV lejano</i> (ambos términos significan lo mismo) es la energía radiante UV entre 180 y 315 nanómetros de longitud de onda. Se utiliza principalmente para esterilización. Ver también energía radiante UV .
<i>UV cercano</i>	Energía radiante UV entre 315 nm y 400 nm. Ver también energía radiante UV .
<i>UV lejano</i>	Ver <i>UV actínico</i>
<i>Volatile Organic Compounds (VOC), compuestos orgánicos volátiles</i>	Todo compuesto de carbono, excluyendo al monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbónico, carburos o carbonatos metálicos, y carbonato de amonio, que participan en reacciones fotoquímicas atmosféricas. Esto incluye cualquier compuesto orgánico diferente de aquellos que el Administrador de la <i>EPA</i> haya determinado que tiene una reactividad fotoquímica despreciable. Vea el Apéndice D

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

APÉNDICE A

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y POR HAZ DE ELECTRONES VS. RADIOACTIVIDAD

La palabra **radiación** es un término muy amplio. Puede referirse a la emisión de rayos de calor, luz, ondas de radio o sonidos; sin embargo, también puede referirse a las emisiones de rayos por una sustancia radiactiva. La **radiación ultravioleta (UV)** y por **haz de electrones (EB)** no es lo mismo que la **radiactividad** y no debe confundirse con ésta. Este apéndice tiene la intención de ayudarle a comprender la diferencia. El concepto de Niels Bohr del átomo (es decir, un núcleo de protones y neutrones rodeado por electrones en órbita) es la base para este apéndice. No es necesario explicar mucho más la ciencia de la estructura atómica.

RADIOACTIVIDAD

La **radiactividad** es una propiedad de los átomos que tienen una relación inestable de neutrones a protones en su núcleo (es decir, tienen más de la energía mínima en el núcleo). Dado que estos átomos tienen más energía que los átomos con un núclido estable (es decir, una relación favorable de neutrones a protones), estos átomos son inestables. Los núcleos de estos átomos se dividen espontáneamente (fisión, cuando el número de protones es mayor que 82, que es el **número atómico** del plomo) o combinación (fusión, cuando el número de protones es menor que 82) con vidas medias bien definidas. Estas fisiones y fusiones causan la emisión de electrones, partículas alpha (dos protones y dos neutrones, un núcleo de helio), partículas beta (un positrón o un electrón), neutrones, protones, **rayos X** y rayos gamma. La vida media se define como el tiempo para que la mitad de los átomos sufran fisión o fusión. Las vidas medias tienen valores de casi instantánea a varios milenios.

La fisión o fusión de estos átomos puede acelerarse en gran medida cuando son bombardeados por neutrones provenientes de una reacción en cadena. Esto ocurre cuando los neutrones están suficientemente conservados dentro de una masa crítica. Hasta donde sabemos, una masa crítica ocurre sólo en los reactores nucleares fabricados por el hombre y en la naturaleza en el centro de cada estrella y planeta. Incluso la Tierra tiene un núcleo radiactivo y, por tanto, no podemos evitar totalmente todo tipo de **radiactividad**.

Hay algunos isótopos radiactivos de elementos que ocurren naturalmente (átomos que tienen un **número atómico** definido, pero que tienen diversos pesos atómicos). Estos isótopos existen en cantidades de trazas y son radiactivos. La **radiación UV/EB** no cambia la concentración, velocidad de reacción o número de tales átomos de isótopos. Por lo tanto, la **radiación UV/EB** no cambia la **radiactividad** que ocurre naturalmente. La **energía radiante UV/EB** no hace que los átomos sean radiactivos.

Los rayos gamma no se usan para curar materiales **UV/EB** porque requieren mucho más blindaje para atenuar la intensidad de la **radiación** hasta cerca de los niveles de **radiación** de fondo.³⁵

RADIACIÓN UV/EB

La **radiación UV/EB** se refiere a la energía electromagnética que se desplaza radialmente (es decir, se irradia) desde una fuente. Esta energía normalmente se transmite a lo largo de una línea de visión, pero experimenta dispersión cuando choca con un objeto. La **radiación ultravioleta** existe en la luz solar y es emitida, muy débilmente, por materiales radiactivos (salvo cuando éstos sufren una reacción en cadena – como en el sol o en el centro de la Tierra – y elevan su temperatura). Nuestra fuente principal natural de **radiación ultravioleta** es la luz del sol.

La energía de un **fotón** es inversamente proporcional a su longitud de onda. La dispersión es una función de la longitud de onda y del tamaño del objeto que produce la dispersión. Cuando el diámetro de un objeto (dispersador) es de menos de una décima de la longitud de onda de la energía radiante, la dispersión es despreciable. Cuando el tamaño del dispersador resulta comparable a, o mayor que, la longitud de onda de la energía irradiada, la dispersión se realiza. Puede ver un ejemplo de esto con la luz visible en una habitación con humo. Los rayos de luz visible (400-700 nm de longitud de onda) se desplazan radialmente según son dirigidos hasta que chocan con un dispersador (por ejemplo, una partícula de humo de aproximadamente 1000 nm) que dispersa la **radiación**. Cada dispersador actúa como una fuente puntual en dispersar las ondas de **radiación** y, por tanto, cada dispersador parece ser una fuente luminosa. Todas las longitudes de onda de **radiación** se comportan así, independientemente de la fuente. Los **rayos X** tienen una longitud de onda lo suficientemente corta que incluso las moléculas de oxígeno y nitrógeno se convierten en dispersadores como el humo descrito más arriba.

Los **haces de electrones** están compuestos de partículas (electrones) que chocan con otros electrones y también se dispersan. Los electrones en realidad no chocan con otros electrones, sino que se rechazan en encuentros cercanos que se asemejan a choques. Los **haces de electrones**, al dispersar electrones y chocar con núcleos, generan **rayos X** similares a aquellos emitidos a partir de materiales radiactivos, pero estos **rayos X** (como los **rayos X** médicos) dejan de ser emitidos cuando se apaga el **haz de electrones**.

CONCLUSIÓN

Dado que la **radiación UV/EB** no suministra neutrones, el material curado con **UV/EB** no tiene ningún cambio en **radiactividad** ni en vida media. Por lo tanto, la única conexión entre la **radiación UV/EB** y la **radiactividad** es puramente lingüística. Tanto **radiación** como **radiactividad** usan la raíz radi- para describir la propagación radial de la energía por partículas cuánticas o por **ondas electromagnéticas**.

Esperamos que esto haya servido para aclarar, y no confundir más, este tema, porque como alguna vez dijo Alfred North Whitehead, “Todas las verdades son sólo medias verdades”. Esto es cierto porque la mente humana no puede comprender ni aceptar verdades completas. Todos funcionamos con las medias verdades que podemos comprender. Podemos actuar inteligentemente sólo cuando tenemos la capacidad de comprender lo que estamos haciendo.

APÉNDICE B

EJEMPLOS DE USOS DE REVESTIMIENTOS Y TINTAS UV/EB

ABRASIVOS

Los abrasivos pueden unirse instantáneamente de manera permanente. Esto elimina un curado de 8 horas o más que requiere un uso intensivo de energía como el que se requiere para los **revestimientos** evaporativos convencionales bajo condiciones controladas de temperatura y ventilación. También elimina el almacenamiento de la producción de un día bajo dichas condiciones controladas. Los abrasivos curados con **UV** están listos instantáneamente para el uso.

ODONTOLOGÍA

Los empastes dentales son otra área de aplicación. Después de preparar un diente, se mezcla una masa de tamaño apropiado de **oligómeros**, **fotoiniciadores**, pigmentos y rellenos, y se la inserta en un orificio limpio y seco en el diente. Después de la inserción y el moldeo, se le dirige una intensa fuente de luz **UV** (con luz visible fácilmente aparente) mediante una varilla. En aproximadamente un minuto, el **UV** y la luz visible cura el empaste y la persona puede usar sus dientes inmediatamente después de completarse las operaciones de acabado. Si bien esto parece lento, es un curado mucho más rápido que los empastes con amalgama de plata. El uso de un empaste dental curado con **radiación** tiene un beneficio adicional ya que evita la ingestión de mercurio proveniente de los empastes con amalgama de plata.

PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRAS

Los **revestimientos** también se han usado como el cemento para mantener unidas fibras o partículas. Estos elementos de **polímeros** reforzados con fibras se usan para construir objetos **3D**. La penetración de la **radiación EB** se convierte en un factor significativo cuando la profundidad del **revestimiento** es de más de 1 centímetro. Estas aplicaciones gruesas se han curado por **EB** en una cámara de vacío o mediante un **fotoiniciador catiónico**. En estos tipos de aplicaciones, los **revestimientos** no están limitados a una superficie, sino que también pueden encontrarse en las interfaces a cualquier profundidad dentro del objeto.

ENVASES DE ALIMENTOS / MENÚS

Hace diez años, los fuertes olores asociados con algunos **monómeros** y **fotoiniciadores** impedían su uso con alimentos y perfumes. Esto se ha superado en gran medida, por purificación para eliminar las impurezas que causan los malos olores, mediante el uso de un **fotoiniciador** menos oloroso, o mediante otras alternativas a los aditivos, **monómeros** u **oligómeros** olorosos. Estos materiales desodorizados han logrado que tanto los **revestimientos** de impresión como aquellos de sobreimpresión resulten apropiados para envases de perfumes finos, chocolates y alimentos, e incluso para menús de restaurantes.²³

MEDIOS MAGNÉTICOS

La impresión de medios magnéticos al orientar partículas magnéticas de un **revestimiento** para bloquear los dominios magnéticos de las partículas en una posición preferente antes del curado **EB** ha beneficiado a la industria de los disquetes de alta densidad y de las cintas magnéticas. El curado con **EB** también permite lograr una superficie más durable después de la unión. Tales **revestimientos** deben aplicarse en una sala limpia para controlar el grosor del **revestimiento**, asegurar la uniformidad de la superficie y eliminar las partículas de polvo. El curado con **EB** permite satisfacer fácilmente estas necesidades.

MICROELECTRÓNICA

En la industria de la microelectrónica, se han concentrado y usado **haces de electrones** para trazar circuitos sobre **sustratos** revestidos. Como alternativa, el **UV** se ha usado para curar un **revestimiento** a través de una máscara. El **revestimiento** (que se conoce como fotoprotector) se cura por el **EB** concentrado a lo largo de una trayectoria donde un **sustrato** debe protegerse del próximo paso del proceso. El **revestimiento** luego se “revela” eliminando cualquier **resina** sin curar mediante un lavado con un **solvente**. Esto deja las partes sin curar del **sustrato** desprotegidas de los reactivos usados para grabar, depositar un dopante (una especie atómica que cambia las propiedades electrónicas del **sustrato**) o depositar conductores metálicos. Se ha encontrado que para una demarcación muy definida de los bordes de un **polímero** curado, el grosor del **revestimiento** no debe ser más grueso que el ancho de una línea en el componente microelectrónico. La microelectrónica ahora usa líneas de sólo 0.18 micrones de ancho. Esta capa delgada de **monómero** se aplica al diluir o calentar el **revestimiento** para reducir la viscosidad y luego esparcirlo mediante el giro a alta velocidad del **sustrato** para eliminar por centrifugado la mayor parte del **revestimiento**. El **sustrato** por lo general es una sección rebanada y pulida de un lingote silicónico purificado (denominado "*boule*") de aproximadamente 4 pulgadas de diámetro.

Para poder usar **UV**, la longitud de onda debe ser más corta. Esto se conoce como **UV** extremo. Este proceso requiere una película delgada que puede ser curada con **UV** a través de una máscara o curada con **EB** a lo largo de una trayectoria. Para un curado con **UV**, la **energía radiante UV** debe estar a la longitud de onda que el **fotoiniciador** pueda adsorber y que delimite una imagen clara (borde), incluso si la trayectoria está obstruida. Para un curado con **EB**, la **energía radiante EB** debe concentrarse en un punto no mayor que la línea más fina que se deba producir. Esto produce un **EB** que cura la película delgada instantáneamente a bajo voltaje.

Después de que el **revestimiento** curado haya cumplido con su función de proporcionar una máscara para los reactivos, el **polímero** curado se desprende y se aplica otro **revestimiento** delgado de fotoprotector antes de realizarse el próximo paso del proceso. Esto se repite varias veces al crearse un circuito integrado. Los circuitos integrados se usan como unidades de procesamiento central, como la memoria, como los arreglos de compuertas programables y como diversos componentes lógicos que se usan en las tarjetas de circuitos para formar circuitos digitales.

En las tarjetas de circuitos impresos, las características como las máscaras de soldeo, notaciones, encapsulados y **revestimientos** de conformación todas usan un **revestimiento** curable con **UV/EB** más grueso que el que se utilizó para fabricar circuitos integrados. Si bien el curado de los **revestimientos**

UV/EB en las tarjetas de circuitos es rápido, no es tan rápido como el curado con **EB** para microelectrónica (extremadamente rápido). Sin embargo, el tiempo requerido para curar los componentes microelectrónicos es por longitud unitaria a lo largo de la trayectoria dentro de la máscara, mientras que el curado para los **revestimientos** de tarjetas de circuitos ocurre todo al mismo tiempo.

FIBRAS ÓPTICAS

Las técnicas **3D** se han aplicado para curar **revestimientos** en fibras ópticas. El **revestimiento** interno en las fibras ópticas tiene un bajo índice de refracción que redirige la luz (la señal) de vuelta hacia la fibra. Una sobrecapa para estas fibras proporciona resistencia a la abrasión y agrega a la resistencia mecánica. Un **revestimiento** final ópticamente absorbente impide la “interferencia cruzada” entre las fibras. Sin estos **revestimientos** curados con **radiación**, las comunicaciones con fibras ópticas de larga distancia no hubieran podido existir.

ADHESIVOS PIEZOSENSIBLES

El uso de los **revestimientos UV/EB** con **adhesivos** piezosensibles raras veces se publicita. Los **adhesivos** piezosensibles se usan para unir la metalización a los envoltorios, para cintas y etiquetas, y para laminar. Las ventajas incluyen: (1) el uso de materiales de un solo componente que se puedan dispensar mediante equipos automáticos; (2) un largo tiempo de apertura sin perder ingredientes volátiles; (3) curados rápidos después de dispensar; (4) un bajo requerimiento de energía para el curado; y (5) la capacidad de ser usados en **sustratos** sensibles a la temperatura tales como papel y películas plásticas.

IMPRESIÓN

Los **revestimientos UV/EB** tuvieron sus comienzos en la impresión y se emplean genéricamente muchos términos de la industria de la impresión, tales **bandas** que se refiere a un **sustrato** continuo flexible que se desenrolla, pasa a través de la prensa de impresión y los hornos de secado, y luego se vuelve a enrollar. Las **tintas** de impresión curadas con **radiación** se usan para impresión por litografía, huecograbado, serigrafía e impresión flexográfica.^{3,4} Todos estos tipos de impresión están en un estado de evolución rápida, emborronándose las distinciones anteriores entre ellas. Como resultado de ello, cualquier generalización quizás ya sea obsoleta. Por ejemplo, la flexografía históricamente ha usado una **tinta** de baja viscosidad. Si bien las **tintas** curadas con **UV/EB** son más viscosas que las **tintas** flexográficas tradicionales, las **tintas** curadas con **UV/EB** se usan de cualquier manera en la flexografía. Las **tintas** curadas con **radiación UV/EB** permiten que las prensas de impresión tengan velocidades de **banda** de unos 400 a 1000 pies por minuto.

La llegada de los láseres **ultravioleta** ha permitido el curado con **UV** de planchas de impresión de **foto-polímeros** sin necesidad de usar una transparencia negativa. El láser **ultravioleta** es controlado por computadora, y puede usarse para hacer cualquier número de planchas idénticas en cualquier número de sitios. Estas planchas pueden entonces hacer impresiones idénticas en cualquier número de prensas. Esto elimina la necesidad de usar planchas de impresión que puedan hacer un millón de impresiones y agrega a la capacidad de reproducir imágenes.

REVESTIMIENTOS DE DESMOLDEO

Los **revestimientos** de desmoldeo por lo general son siliconas aplicadas a plástico o papel. Los productores de **resinas** silicónicas trabajaron con productores de equipos e impresores de paquetes flexible para producir **revestimientos** de desmoldeo curados con **radiación UV/EB**. Las etiquetas y las cintas de doble cara con **revestimientos adhesivos** piezosensibles normalmente se colocan en un **revestimiento** de desmoldeo hasta el momento de su aplicación.

REVESTIMIENTO POR PULVERIZACIÓN

Las pinturas curadas con **UV/EB** son idóneas para los **revestimientos** por pulverización y pueden lograr hasta un 99% de eficacia general en aplicar un **revestimiento** a un **sustrato** al considerarse la captura y reutilización del **exceso de pulverización**. Se han aplicado **revestimientos** a materiales que son porosos (tales como madera o cerámicas) o impermeables (tales como plásticos o metales). Esta eficacia general es significativamente mayor que aquella para los **revestimientos** convencionales porque puede reutilizarse las gotitas de **UV/EB** capturadas. Esto puede hacerse porque los **revestimientos UV** pueden tener un contenido de **VOC** esencialmente nulo y no se curan a menos que queden expuestos a una fuente de **radiación** apropiada.

PISOS VINÍLICOS

Los **revestimientos** para pisos vinílicos representan el segundo uso más importante de los **revestimientos** curados con **UV/EB**, después de los **revestimientos** para papel. El piso vinílico sin cera de primera calidad utiliza una capa superior **UV/EB** que consta de dos niveles. El primer nivel es una capa de barrera para sellar el vinilo y brindar una mejor adhesión para el nivel final. El nivel final es un **revestimiento** resistente a la abrasión para mejorar las características de desgaste.

PRODUCTOS DE MADERA

Se han usado los **revestimientos UV** para productos de madera durante mucho tiempo. Primero se usaron para recubrir paneles con **resinas** de poliéster. Los **revestimientos** acrílicos y de uretano-acrílico se han usado desde ese momento en paneles, para lograr una mayor durabilidad. Otros usos han incluido el curado **3D** de selladores e imprimadores para muebles de madera. El cuadro con **radiación UV** de capas superiores para muebles finos permite un tiempo de curado más breve (de unos pocos segundos) con menos defectos por polvo en la superficie mojada.

El ejemplo dado para las emisiones en la referencia de 1991 ahora está desactualizado. El uso de **VOC** como adelgazantes en los **revestimientos** para muebles ahora es obsoleto. En 1999, los muebles de madera usaron **revestimientos** curados con **UV**, **revestimientos** curados con **UV** adelgazados con **monómero**, calor y **diluyentes reactivos** cuando la temperatura por sí sola no podía controlar la viscosidad de manera suficiente.

APÉNDICE C

CENTRO DE INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE MEDICIONES DE LAS EMISIONES MÉTODO DE PRUEBA NSPS

(EMTIC —24, 9/11/95)

Método 24 – Determinación del contenido de materia volátil, contenido de agua, densidad, sólidos volumétricos y sólidos másicos de los revestimientos de superficie

1. APLICABILIDAD Y PRINCIPIO

1.1 Aplicabilidad. Este método se aplica a la determinación de contenido de materia volátil, contenido de agua, densidad, sólidos volumétricos y sólidos másicos de pintura, barniz, laca o revestimientos de superficies relacionados.

1.2 Principio. Se usan métodos estándar para determinar el contenido de materia volátil, contenido de agua, densidad, sólidos volumétricos y sólidos másicos de pintura, barniz, laca o revestimientos de superficies relacionados.

2. MÉTODOS ESTÁNDAR APLICABLES

Utilice los aparatos, reactivos y procedimientos especificados en los métodos estándar indicados a continuación:

2.1 ASTM D 1475-60 (Reaprobado en 1980), Método de prueba estándar para la densidad de pintura, barniz, laca y productos relacionados.

2.2 ASTM D 2369-81, Método de prueba estándar para el contenido de volátiles de los revestimientos.

2.3 ASTM D 3792-79, Método de prueba estándar para el contenido de agua de pinturas reducibles con agua por inyección directa en un cromatógrafo de gas.

2.4 ASTM D 4017-81, Método de prueba estándar para agua en pinturas y materiales para pintura mediante el método de titulación de Karl Fischer.

2.5 ASTM 4457-85, Método de prueba estándar para la determinación de diclorometano y 1,1,1-tricloroetano en pinturas y revestimientos mediante inyección directa en un cromatógrafo de gas (incorporado por referencia--ver §60.17).

2.6 ASTM D 5403-93, Métodos de prueba estándar para el contenido de volátiles de materiales curables con radiación (incorporado por referencia--ver §60.17).

3. PROCEDIMIENTO

3.1 Revestimientos de multicomponentes. Los revestimientos de multicomponentes son aquellos envasados en dos o más partes, las cuales se combinan antes de la aplicación. En el momento de la combinación, un correactivo de una parte del revestimiento reacciona químicamente, a condiciones ambiente, con un correactivo de otra parte del revestimiento. Para determinar el contenido total de volátiles, el contenido de agua y la densidad de los revestimientos de multicomponentes, siga los procedimientos indicados en la sección 3.8.

3.2 Revestimiento curado con radiación ultravioleta de película no delgada. Para determinar el contenido de volátiles de revestimientos curados con radiación ultravioleta (curados con radiación *UV*) de película no delgada, siga los procedimientos indicados en la sección 3.9. Determine el contenido de agua, la densidad y el contenido de sólidos de los revestimientos curados con *UV* de acuerdo con las secciones 3.4, 3.5 y 3.6, respectivamente. Los revestimientos curados con *UV* son aquellos que contienen monómeros sin reaccionar que son polimerizados por exposición a la luz ultravioleta. Para determinar si un revestimiento o tinta se puede clasificar como revestimiento o tinta curados con *UV* de película delgada, utilice la ecuación siguiente:

$$C = F A D$$

donde:

A = Área del sustrato, pulg², cm².

C = Cantidad de revestimiento o tinta agregados al sustrato, g.

D = Densidad del revestimiento o tinta, g/pulg³ (g/cm³)

F = Grosor de película recomendado por el fabricante, pulg (cm).

Si *C* es menor que 0.2 g y *A* es mayor que o igual a 35 pulg² (225 cm²), entonces se considera que el revestimiento o tinta es un revestimiento curado con radiación *UV* de película delgada para propósitos de determinación de la aplicabilidad de la norma ASTM D 5403-93. **NOTA:** Tal como se indica en la Sección 1.4 de ASTM D 5403-93, este método podría no ser aplicable a materiales curables por radiación en los que el material volátil es agua. Para todos los demás revestimientos no cubiertos por las Secciones 3.1 ó 3.2, analice tal como se indica a continuación:

3.3 Contenido de materia volátil. Utilice el procedimiento en ASTM D 2369- 81 para determinar el contenido de materia volátil (puede incluir agua) del revestimiento.

3.3.1 Registre la información siguiente:

W1 = Peso del plato y de la muestra antes de calentar, g.

W2 = Peso del plato y de la muestra después de calentar, g.

W3 = Peso de la muestra, g.

3.3.2 Efectúe análisis en pares (conjuntos duplicados) para cada revestimiento hasta cumplir con el criterio de la Sección 4.3. Calcule la fracción en peso de la materia volátil (W_v) para cada análisis tal como sigue:

$$W_v = (W_1 - W_2)/W_3$$

Ecuación 24-2

Registre el promedio aritmético (W_v).

3.4 Contenido de agua. Exclusivamente para los revestimientos transportados por el agua (reducibles con agua), determine la fracción en peso del agua (W_w) usando las normas ASTM D 3792-79 o ASTM D 4017—81. Un revestimiento transportado por el agua es cualquier revestimiento que contenga más del 5 por ciento de agua en peso en su fracción volátil. Efectúe conjuntos duplicados de determinaciones hasta cumplirse con el criterio de la Sección 4.3. Registre el promedio aritmético (W_w).

3.5 Densidad del revestimiento. Determine la densidad (D_c , kg/litro) del revestimiento de la superficie usando el procedimiento en ASTM D 1475-60. Efectúe conjuntos duplicados de determinaciones para cada revestimiento hasta cumplir con el criterio de la Sección 4.3. Registre el promedio aritmético (D_c).

3.6 Contenidos de sólidos. Determine la fracción volumétrica (V_s) de sólidos en el revestimiento mediante cálculos, usando la formulación del fabricante.

3.7 Contenidos de solventes exentos. Determine la fracción másica de los solventes exentos (W_E) usando el Método ASTM D4457-85 (incorporado por referencia--ver §60.17). Efectúe un conjunto duplicado de determinaciones y registre el promedio aritmético (W_E).

3.8 Para determinar el contenido total de volátiles, el contenido de agua y la densidad de los revestimientos de multicomponentes, utilice los procedimientos siguientes:

3.8.1 Prepare aproximadamente 100 ml de muestra mezclando los componentes en un recipiente de almacenamiento, tal como un frasco de vidrio con una tapa atornillada o una lata metálica con tapa. El recipiente de almacenamiento debe ser lo suficientemente grande como para contener la mezcla. Combine los componentes (por peso o volumen) en la proporción recomendada por el fabricante. Cierre el recipiente herméticamente entre agregados y durante el mezclado para evitar la pérdida de materiales volátiles. Sin embargo, la mayoría de las instrucciones de mezclado de los fabricantes son por volumen. Debido a la posibilidad de errores causados por expansión del líquido al medir el volumen, se recomienda combinar los componentes por peso. Cuando se usa el peso para combinar los componentes y la proporción recomendada del fabricante es por volumen, la densidad debe determinarse mediante la sección 3.5.

3.8.2 Inmediatamente después de mezclar, tome alícuotas de esta muestra de 100 ml para determinar el contenido total de volátiles, el contenido de agua y la densidad. Para determinar el contenido de agua, siga las indicaciones de la sección 3.4. Para determinar la densidad, siga las indicaciones de la sección 3.5. Para determinar el contenido total de volátiles, utilice el aparato y los reactivos descritos en ASTM D2369-81, secciones 3 y 4, respectivamente (incorporado por referencia, y ver §60.17) mediante los procedimientos siguientes:

3.8.2.1 Pese y registre el peso de un plato de pesado de papel metalizado de aluminio. Agregue 3+1 ml de solvente apropiado, tal como se especifica en ASTM D2369-81 al plato de pesado. Usando una jeringa tal como se especifica en ASTM D2369-81, pese hasta 1 mg, por diferencia, una muestra de revestimiento en el plato de pesado. Para revestimientos cuyo contenido de volátiles se piensa que es menor que el 40 por ciento en peso, un tamaño apropiado es 0.3 + 0.10 g, pero para revestimientos cuyo contenido de volátiles se piensa que es mayor que 40 por ciento en peso, un tamaño apropiado es 0.5 + 0.1 g.

NOTA: Si el contenido de volátiles determinado de acuerdo con la sección 5 no está en el rango correspondiente al tamaño de la muestra elegido, repita la prueba con el tamaño de muestra apropiado. Agregue la muestra gota a gota, agitando (en forma de remolino) el plato para dispersar la muestra completamente en el solvente. Si el material forma un grumo que no se puede dispersar, deseche la muestra y prepare una nueva. Prepare un duplicado de manera similar. La muestra deberá reposar durante 1 hora como un mínimo, pero no más de 24 horas antes de ser colocada en un horno a 110 + 5°C, durante 1 hora.

3.8.2.2 Caliente los platos de papel metalizado de aluminio que contienen las muestras dispersadas en el horno de tiro forzado durante 60 min a 110+5°C.

Precaución – proporcione una ventilación adecuada, congruente con la práctica aceptada de laboratorio, para evitar que los vapores de solventes se acumulen hasta un nivel peligroso.

3.8.2.3 Retire los platos del horno, colóquelos inmediatamente en un desecador, enfríe hasta temperatura ambiente y pese hasta un valor dentro de 1 mg.

3.8.2.4 Efectúe análisis en pares (conjuntos duplicados) para cada mezcla de revestimiento hasta cumplir con el criterio de la sección 4.3. Calcule W_v usando la Ecuación 24-2 y registre el promedio aritmético.

3.9 Contenido de materia volátil de un revestimiento curado con UV. Utilice el procedimiento en ASTM D 5403-93 (incorporado por referencia--ver §60.17) para determinar el contenido de materia volátil del revestimiento, salvo que se requiere la prueba de curado descrita en la NOTA 2 de ASTM D 5403-93.

4. PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DE LOS DATOS

4.1 Resumen. La variedad de revestimientos que pueden estar sujetos al análisis hace que sea necesario verificar la capacidad del analista y los procedimientos analíticos para obtener resultados reproducibles para los revestimientos analizados. Esto se hace efectuando análisis duplicados en cada muestra probada y comparando los resultados con las declaraciones de precisión dentro del laboratorio para cada parámetro. Dada la inherente imprecisión incrementada en la determinación del contenido de *VOC* de los revestimientos transportados por el agua a medida que aumenta el porcentaje en peso de agua, los parámetros medidos para los revestimientos transportados por el agua se modifican mediante los límites de confianza apropiados basándose en las declaraciones de precisión entre laboratorios.

4.2 Declaraciones de precisión analítica. Las declaraciones de precisión dentro del laboratorio y entre laboratorio se presentan a continuación:

	Dentro del laboratorio	Entre laboratorios
Contenido de materia volátil, Wv	1.5% Wv	4.7% Wv
Contenido de agua, Ww	2.9% Ww	7.5% Ww
Densidad, Dc	001 kg/litro	0.002 kg/litro

4.3 Criterios de análisis de muestras. Para Wv y Ww, efectúe análisis duplicados hasta que la diferencia entre los dos valores se establece en menor que, o igual a, la declaración de precisión dentro del laboratorio para dicho parámetro. Para Dc, efectúe análisis duplicados hasta que cada valor de un conjunto se desvíe de la media del conjunto en no más que la declaración de precisión dentro del laboratorio. Si, después de varios intentos, se concluye que no se pueden usar los procedimientos ASTM para el revestimiento específicos con la precisión establecida dentro del laboratorio, el Administrador asumirá responsabilidad para proporcionar los procedimientos necesarios para modificar el método o las declaraciones de precisión a pedido escrito a: Director, *Emission Standards and Engineering Division*, división de normas e ingeniería de emisiones, MD-13, *Office of Air Quality Planning and Standards*, oficina de planificación y normas de calidad del aire, *U.S. Environmental Protection Agency*, agencia de protección ambiental de EE.UU., Research Triangle Park, NC 27711.

4.4 Cálculos del límite de confianza para revestimientos transportados por el agua.

Basándose en las declaraciones de precisión entre laboratorios, calcule los límites de confianza para los revestimientos transportados por el agua tal como se indica a continuación: Para calcular el límite inferior de confianza, reste el valor apropiado de precisión entre laboratorios del valor medio medido para dicho parámetro. Para calcular el límite superior de confianza, sume el valor apropiado de precisión entre laboratorios al valor medio medido para dicho parámetro. Para Wv y Dc, use el límite inferior de confianza, mientras que para Ww, use el límite superior de confianza. Dado que Vs es un valor calculado, no hay un ajuste para este parámetro.

5. CÁLCULOS

5.1 Materia volátil no acuosa.

5.1.1 Revestimientos transportados por solvente.

$$W_o = W_v \qquad \text{Ecuación 24-3}$$

donde: **W_o** = Fracción en peso de materia volátil no acuosa, g/g.

5.1.2 Revestimientos transportados por el agua.

$$W_o = W_v - W_w \qquad \text{Ecuación 24-4}$$

5.2 Fracción másica de sólidos.

$$W_s = 1 - W_v.$$

Ecuación 24-5

donde: W_s = Sólidos másicos, g/g.

APÉNDICE D

Definición de *Volatile Organic Compounds (VOC)*, compuestos orgánicos volátiles

Hasta 2/25/99

40 CFR 51.100(s) - Definition - *Volatile organic compounds (VOC)*, compuestos orgánicos volátiles "**Compuestos orgánicos volátiles (VOC)**" significa cualquier compuesto del carbón, excluyendo el monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbónico, carburos o carbonatos metálicos, y carbonato de amonio, que participa en reacciones fotoquímicas atmosféricas.

(1) Esto incluye cualquier compuesto orgánico diferente de los siguientes, que han sido determinados como de reactividad fotoquímica despreciable:

- metano
- etano
- cloruro de metileno (diclorometano)
- 1,1,1-tricloroetano (metil cloroformo)
- 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano (CFC-113)
- triclorofluorometano (CFC-11)
- diclorodifluorometano (CFC-12)
- clorodifluorometano (HCFC-22)
- trifluorometano (HFC-23)
- 1,2-dicloro 1,1,2,2-tetrafluoroetano (CFC-114)
- cloropentafluoroetano (CFC-115)
- 1,1,1-trifluoro 2,2-dicloroetano (HCFC-123)
- 1,1,1,2-tetrafluoroetano (HFC-134a)
- 1,1-dicloro 1-fluoroetano (HCFC-141b)
- 1-cloro 1,1-difluoroetano (HCFC-142b)
- 2-cloro-1,1,1,2-tetrafluoroetano (HCFC-124)
- pentafluoroetano (HFC-125)
- 1,1,2,2-tetrafluoroetano (HFC-134)
- 1,1,1-trifluoroetano (HFC-143a)
- 1,1-difluoroetano (HFC-152a)
- paraclorobenzotrifluoruro (PCBTF)
- siloxanos completamente metilado cíclicos, ramificados o lineales
- acetona
- percloroetileno (tetracloroetileno)
- 3,3-dicloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropano (HCFC-225ca)
- 1,3-dicloro-1,1,2,2,3-pentafluoropropano (HCFC-225cb)
- 1,1,1,2,3,4,4,5,5,5-decafluoropentano (HFC 43-10mee)
- difluorometano (HFC-32)
- etilfluoruro (HFC-161)
- 1,1,1,3,3,3-hexafluoropropano (HFC-236fa)

- 1,1,2,2,3-pentafluoropropano (HFC-245ca)
- 1,1,2,3,3-pentafluoropropano (HFC-245ea)
- 1,1,1,2,3-pentafluoropropano (HFC-245eb)
- 1,1,1,3,3-pentafluoropropano (HFC-245fa)
- 1,1,1,2,3,3-hexafluoropropano (HFC-236ea)
- 1,1,1,3,3-pentafluorobutano (HFC-365mfc)
- clorofluorometano (HCFC-31)
- 1-cloro-1-fluoroetano (HCFC-151a)
- 1,2-dicloro-1,1,2-trifluoroetano (HCFC-123a)
- 1,1,1,2,2,3,3,4,4-nonafluoro-4-metoxi-butano (C4F9OCH3)
- 2-(difluorometoximetil)-1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano ((CF3)2CFCH2OCH3)
- 1-etoxi-1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluorobutano (C4F9OC2H5)
- 2-(etoxidifluorometil)-1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano ((CF3)2CFCH2OC2H5)
- compuestos de metil acetato y perfluorocarbono que se incluyen en estas clases:
 - (i) alcanos completamente fluorados cíclicos, ramificados o lineales,
 - (ii) éteres completamente fluorados cíclicos, ramificados o lineales, sin insaturaciones,
 - (iii) aminas terciarias completamente fluoradas cíclicas, ramificadas o lineales, sin insaturaciones, y
 - (iv) perfluorocarbonos que contienen azufre sin insaturaciones y con uniones de azufre únicamente a carbono y fluoruro.

(2) Para los propósitos de determinar el acatamiento con los límites de emisión, se medirá el **VOC** mediante los métodos de prueba en el *State implementation plan (SIP)*, plan de implementación aprobado por el Estado o *40 CFR Part 60, Apéndice A*, según corresponda. Donde un método tal también mida compuestos con una reactividad fotoquímica despreciable, estos compuestos despreciablemente reactivos se pueden excluir como **VOC** si la cantidad de tales compuestos se cuantifica con precisión, y tal exclusión esté aprobada por la autoridad de cumplimiento correspondiente.

(3) Como condición previa a la exclusión de estos compuestos como **VOC** o en cualquier momento posterior, la autoridad de cumplimiento podría requerir que un propietario u operador proporcione los métodos de monitoreo o prueba y los resultados que demuestren, para plena satisfacción de la autoridad de cumplimiento, la cantidad de compuestos despreciablemente reactivos en las emisiones de la fuente.

(4) Para los propósitos del cumplimiento Federal de una fuente específica, la **EPA** usará los métodos de prueba especificados en el *SIP* aplicable aprobado por la **EPA**, en un permiso emitido de acuerdo con un programa aprobado o promulgado bajo el Título V de la Ley, o bajo *40 CFR Parte 51, Subpart I or Apéndice S, or under 40 CFR Parts 52 or 60*. La **EPA** no estará obligada por ninguna determinación de un Estado con respecto a métodos apropiados para probar o monitorear los compuestos despreciablemente reactivos si tal determinación no está reflejada en ninguna de las disposiciones anteriores.

Nota al lector: Se ha dado un formato a este texto para facilitar la lectura del mismo.

APÉNDICE E

HAZARDOUS AIR POLLUTANTS (HAP), CONTAMINANTES DEL AIRE PELIGROSOS

Este apéndice contiene la lista original de **contaminantes del aire peligrosos** de las *Clean Air Act Amendments*, enmiendas a la ley de aire limpio, de 1990 seguida de una lista de modificaciones finales y propuestas a la misma.

LISTA DE HAP QUE SURGE DE LAS ENMIENDAS A LA LEY DE AIRE LIMPIO DE 1990

<u>Número CAS</u>	<u>Nombre químico</u>
75070	Acetaldehído
60355	Acetamida
75058	Acetonitrilo
98862	Acetofenona
53963	2-Acetilaminofluoreno
107028	Acroleína
79061	Acrilamida
79107	Ácido acrílico
107131	Acrilonitrilo
107051	Cloruro de alilo
92671	4-Aminobifenilo
62533	Anilina
90040	o-Anisidina
133221	Asbesto
71432	Benceno (incluido el benceno de la gasolina)
92875	Bencidina
98077	Benzotricloruro
100447	Cloruro de bencilo
92524	Bifenilo
117817	Bis(2-etilhexil)ftalato (DEHP)
542881	Bis(clorometil)éter
75252	Bromoformo
106990	1,3-Butadieno
156627	Cianamuro de calcio
105602	Caprolactama (Ver Modificación)
133062	Captano
63252	Carbariloyl
75150	Disulfuro de carbono
56235	Tetracloruro de carbono
463581	Sulfuro de carbonilo

<u>Número CAS</u>	<u>Nombre químico</u>
120809	Catecol
133904	Clorambeno
57749	Clordano
7782505	Cloro
79118	Ácido cloroacético
532274	2-Cloroacetofenona
108907	Clorobenceno
510156	Clorobencilato
67663	Cloroformo
107302	Clorometil metil éter
126998	Cloropreno
1319773	Cresoles/Ácido cresílico (isómeros y mezcla)
95487	o-Cresol
108394	m-Cresol
106445	p-Cresol
98828	Cumeno
94757	2,4-D, sales y ésteres
3547044	DDE (Ver nota técnica)
334883	Diazometano
132649	Dibenzofuranos (Ver nota técnica)
96128	1,2-Dibromo-3-cloropropano
84742	Dibutilftalato
106467	1,4-Diclorobenceno(p)
91941	3,3-Diclorobenzideno (Ver nota técnica)
111444	Dicloroetil éter (Bis(2-cloroetil)éter)
542756	1,3-Dicloropropeno
62737	Diclorvos
111422	Dietanolamina
121697	N,N-Dietil anilina (N,N-Dimetilanilina) (Ver nota técnica)
64675	Dietil sulfato
119904	3,3-Dimetoxibencidina (Ver nota técnica)
60117	Dimetil aminoazobenceno
119937	3,3'-Dimetil bencidina (Ver nota técnica)
79447	Dimetil carbamoil cloruro (Ver nota técnica)
68122	Dimetil formamida

<u>Número CAS</u>	<u>Nombre químico</u>
57147	1,1-Dimetil hidracina (Ver nota técnica)
131113	Dimetil ftalato
77781	Dimetil sulfato
534521	4,6-Dinitro-o-cresol, y sales
51285	2,4-Dinitrofenol
121142	2,4-Dinitrotolueno
123911	1,4-Dioxano (1,4-Dietilenóxido)
122667	1,2-Difenilhidracina
106898	Epiclorhidrina (1-Cloro-2,3-epoxipropano)
106887	1,2-Epoxibutano
140885	Etil acrilato
100414	Etil benceno (Ver nota técnica)
51796	Etil carbamato (Uretano)
75003	Etil cloruro (Cloroetano)
106934	Etilen dibromuro (Dibromoetano)
107062	Etilen dicloruro (1,2-Dicloroetano)
107211	Etilen glicol
151564	Etilen imina(Aziridina)
75218	Óxido de etileno
96457	Etilen tiourea
75343	Etiliden dicloruro (1,1-Dicloroetano)
50000	Formaldehído
76448	Heptaclor
118741	Hexaclorobenceno
87683	Hexaclorobutadieno
77474	Hexaclorociclopentadieno
67721	Hexacloroetano
822060	Hexameten-1,6-diisocianato
680319	Hexametilfosforamida
110543	Hexano
302012	Hidracina
7647010	Ácido clorhídrico (Ver nota técnica)
7664393	Fluoruro de hidrógen (ácido fluorhídrico)
7783064	Sulfuro de hidrógeno (Ver Modificación)
123319	Hidroquinona

<u>Número CAS</u>	<u>Nombre químico</u>
78591	Isoforona
58899	Lindano (todos los isómeros)
108316	Anhídrido maleico
67561	Metanol
72435	Metoxiclor
74839	Metil bromuro (Bromometano)
74873	Metil cloruro (Clorometano)
71556	Metil cloroformo (1,1,1-Tricloroetano)
78933	Metil etil cetona (2-Butanona)
60344	Metil hidracina
74884	Metil ioduro (Iodometano)
108101	Metil isobutil cetona (Hexona)
624839	Metil isocianato
80626	Metil metacrilato
1634044	Metil tert butil éter (Ver nota técnica)
101144	4,4-Metilen bis(2-cloroanilina) (Ver nota técnica)
75092	Metilen cloruro (Diclorometano)
101688	Metilen difenil diisocianato (MDI)
101779	4,4'-Metilendianilina
91203	Naftaleno
98953	Nitrobenceno
92933	4-Nitrobifenilo
100027	4-Nitrofenol
79469	2-Nitropropano
684935	N-Nitroso-N-metilurea
62759	N-Nitrosodimetilamina
59892	N-Nitrosomorfolina
56382	Parationa
82688	Pentacloronitrobenceno (Quintobenceno)
87865	Pentaclorofenol
108952	Fenol
106503	p-Fenilendiamina
75445	Fosgeno
7803512	Fosfina
7723140	Fósforo (Ver nota técnica)

<u>Número CAS</u>	<u>Nombre químico</u>
85449	Anhídrido ftálico
1336363	Bifenilos policlorados (Aroclors)
1120714	1,3-propano sultona
57578	beta-Propiolactona
123386	Propionaldehído
114261	Propoxur (Baygon)
78875	Propilen dicloruro (1,2-Dicloropropano)
75569	Óxido de propileno
75558	1,2-Propilenimina (2-Metil aciridina)
91225	Quinolina
106514	Quinona
100425	Estireno
96093	Óxido de estireno
1746016	2,3,7Tetraclorodibenzo-p-dioxina
79345	1,1,2,2-Tetracloroetano
127184	Tetracloroetilen (Percloroetileno)
7550450	Tetracloruro de titanio
108883	Tolueno
95807	2,4-Tolueno diamina
584849	2,4-Tolueno diisocianato
95534	o-Toluidina
8001352	Toxafeno (canfeno clorado)
120821	1,2,4-Triclorobenceno
79005	1,1,2-Tricloroetano
79016	Tricloroetileno
95954	2,4,5-Triclorofenol
88062	2,4,6-Triclorofenol
121448	Trietilamina
1582098	Trifluralina
540841	2,2,4-Trimetilpentano
108054	Vinil acetato
593602	Vinil bromuro
75014	Vinil cloruro
75354	Viniliden cloruro (1,1-Dicloroetileno)
1330207	Xilenos (isómeros y mezcla)

<u>Número CAS</u>	<u>Nombre químico</u>
95476	o-Xilenos (Ver nota técnica)
108383	m-Xilenos (Ver nota técnica)
10642	p-Xilenos (Ver nota técnica)
	Compuestos de antimonio
	Compuestos de arsénico (inorgánicos, incluye arsina)
	Compuestos de berilio
	Compuestos de cadmio
	Compuestos de cromo
	Compuestos de cobalto
	Emisiones de hornos de coque
	Compuestos de cianuro
	Glicol éteres ²
	Compuestos de plomo (Ver nota técnica)
	Compuestos de manganeso
	Compuestos de mercurio
	Fibras minerales finas ³ (Ver nota técnica)
	Compuestos de níquel
	Materia orgánica policíclica ⁴ (Ver nota técnica)
	Radionúclidos (incluye radón) ⁵
	Compuestos de selenio

NOTA: Para todas los listados anteriores que contengan la palabra "compuestos" y para los glicol éteres, se aplica lo siguiente:

A menos que se especifique de otro modo, estos listados se definen como que incluyen cualquier sustancia química exclusiva que contenga el elemento químico nombrado (es decir, antimonio, arsénico, , etc.) como parte de la infraestructura de dicha sustancia química.

1. X'CN donde X = H' o cualquier otro grupo en el que podría ocurrir una disociación formal. Por ejemplo, KCN o Ca(CN)₂

2. Incluye mono- y di- éteres de etilen glicol, dietilen glicol y trietilen glicol

R-(OCH₂CH₂)_n -OR'

donde

n = 1, 2 ó 3

R = grupos alquilo o arilo

R' = R, H o grupos que, al ser eliminados, producen glicol éteres con la estructura:

R-(OCH₂CH₂)_n-OH. Se excluyen los **polímeros** de la categoría de los glicoles. (Ver Modificación)

3. Incluye emisiones de fibras minerales de instalaciones que fabrican o procesan fibras de vidrio, roca o escoria (u otras fibras derivadas de minerales) de diámetro promedio de 1 micrómetro o menos.

4. Incluye compuestos orgánicos con más de un anillo de benceno, que tengan un punto de ebullición mayor que, o igual a, 100 °C.

5. Un tipo de átomo que espontáneamente sufre la desintegración radiactiva.

Nota técnica: Cuestión menor editorial/técnica – llamar al (919) 541-5347 para más detalles.

Modificaciones a 112(b)1 Contaminantes del aire peligrosos

Autoridad para las modificaciones:

La sección 112 de la Ley contiene un mandato para que la *EPA* evalúe y controle las emisiones de **contaminantes del aire peligrosos**. La sección 112(b)(1) incluye una lista inicial de **contaminantes del aire peligrosos** que está formada por compuestos químicos específicos y clases de compuestos a ser usados para identificar categorías de fuente para los cuales la *EPA* promulgará las normas de emisiones. Las categorías enumeradas están sujetas a las normas de emisiones desarrolladas subsiguientemente bajo la sección 112. La *EPA* debe revisar periódicamente la lista de **contaminantes del aire peligrosos** y, donde sea apropiado, modificar esta lista según la regla. Asimismo, cualquier persona puede peticionar a la *EPA* bajo la sección 112(b)(3) para modificar la lista agregando o eliminando una o más sustancias. Un peticionante que busque eliminar una sustancia debe demostrar que hay datos adecuados sobre los efectos en la salud y ambientales de la sustancia para determinar que no debe anticiparse razonablemente que las emisiones, concentraciones ambiente, bioacumulación o deposición de la sustancia causen ningún efecto adverso a la salud humana o al medio ambiente. Para demostrar la carga de la prueba, un peticionante debe suministrar una evaluación detallada de los datos disponibles con respecto a los potenciales efectos adversos a la salud y ambiental de una sustancia, y estimar las exposiciones potenciales por medio de inhalación u otras rutas resultante de las emisiones de la sustancia.

Modificaciones:

Glicol éteres - Propuesta

El 12 de enero de 1999 (FR64:1780), la *EPA* propuso modificar la definición de glicol éteres para excluir el etoxilado de alcohol surfactante y sus derivados (*surfactant alcohol ethoxylates and their derivatives, SAED*). Esta propuesta se basó en los hallazgos de la *EPA* de que no podrían anticiparse razonablemente que las emisiones, concentraciones ambiente, bioacumulación o deposición de *SAED* causen efectos adversos en la salud humana y ambiental. La *EPA* también propuso hacer cambios de conformación en la definición de glicol éteres con respecto a la designación de sustancias peligrosas bajo la *Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA, ley de respuesta ambiental completa, compensación y responsabilidad civil)*. La propuesta dice lo siguiente:

"La definición de la categoría de glicol éteres de **contaminantes de aire peligrosos**, según se establece por 42 U.S.C. 7412(b)(1) incluye mono- y di-éteres de etilen glicol, dietilen glicol y trietilen glicol $R-(OCH_2CH_2)_n-OR'$, donde:

n = 1, 2 ó 3

R= alquilo C7 o menor, o fenilo fenil o alquil sustituido

R'= H, o alquil C7 o menor, o éster, sulfato, fosfato, nitrato o sulfonato de ácido carboxílico."

Metil etil cetona (Methyl Ethyl Ketone, *MEK*) – Avisos de revisión

Lista de contaminantes del aire peligrosos - Metil etil cetona (*MEK*); recibo de una petición completa para eliminar de la lista la citación: 64 FR 33453; Fecha: 06/23/99

Caprolactama

El 19 de julio de 1993, la **EPA** recibió una petición de AlliedSignal, Inc., BASF Corporation y DSM Chemicals North America, Inc. para eliminar la caprolactama (CAS No. 105-60-2) de la lista de contaminantes del aire peligrosos en la sección 112(b)(1), 42 U.S.C., sección 7412(b)(1). Se publicó un aviso de recepción (58FR45081, 26 de agosto de 1993) que indicó que los datos presentados fueron adecuados para apoyar la toma de decisiones. Después de una revisión completa de los datos presentados, la **EPA** publicó una propuesta para eliminar de la lista la caprolactama (60FR48081, 18 de septiembre de 1995). A fin de ayudar a dirigirse a las preocupaciones públicas, el 13 de marzo de 1995, la **EPA** celebró dos acuerdos detallados con AlliedSignal con respecto a la instalación de fabricación de Irmo, Carolina del Sur y de otra instalación situada en Chesterfield, Virginia, copias de las cuales se incluyeron en el sumario público para esta reglamentación. AlliedSignal acordó que, si se eliminaba a la caprolactama de la lista de acuerdo con la propuesta, AlliedSignal instalaría controles de emisión que la **EPA** creía que iban a ser equivalentes a los controles que hubieran sido requeridos en caso de que la **EPA** hubiera emitida una norma para controlar dichas fuentes bajo la Sección 112. Los controles de emisiones acordados están incorporados en los permisos de operación federalmente ejecutables para las instalaciones afectadas, y estarán emplazadas varios años antes de los controles que de lo contrario hubieran sido requeridos. Asimismo, AlliedSignal ha acordado establecer un panel asesor de ciudadanos referente a la instalación de Irmo a fin de mejorar las comunicaciones con la comunidad y asegurar que los ciudadanos tengan un papel continuo en la implementación de las reducciones de emisión acordadas. El público solicitó una audiencia pública. El 28 de noviembre de 1995, la **EPA** publicó un aviso de audiencia pública y una extensión del período de comentarios (60FR58589). Después de considerar todos los comentarios públicos, la **EPA** publicó una regla final que eliminaba de la lista la caprolactama (61FR30816, 18 de junio de 1996).

Toda la información asociada con esta reglamentación se encuentra en el Sumario Número A-94-33 en el *Central Docket Section* (A-130), sección central de sumarios, *Environmental Protection Agency*, agencia de protección ambiental, 401 M St. SW., Washington, D.C. 20460. teléfono 202-260-7548, fax 202-260-4400, correo electrónico a-and-r-docket@epamail.epa.gov. El sumario incluye un índice completo a todos los documentos presentados en este sumario, una copia de la petición original, los comentarios presentados y materiales adicionales que apoyan la regla. Se podría cobrar una cuota razonable por la copia. El sumario puede inspeccionarse en persona entre las 8:00 a.m. y las 4:30 p.m. los días de semana en la *Central Docket Section*, sección central de sumarios, de la **EPA**: West Tower Lobby, Gallery 1, Waterside Mall, 401 M St., SW, Washington, D.C. 20460.

Sulfuro de hidrógeno

Un error de oficina condujo a la adición inadvertida del sulfuro de hidrógeno a la lista de **contaminantes del aire peligrosos** de la Sección 112(b). Sin embargo, una resolución conjunta para eliminar al sulfuro de hidrógeno de la lista de la Sección 112(b)(1) fue aprobada por el Senado el 1 de agosto de 1991 (página S11799 del registro del congreso), y por la Cámara de Representantes el 25 de noviembre de 1991 (páginas H11217-H11219 del registro del congreso). La resolución conjunta fue aprobada por el Presidente el 4 de diciembre de 1991. El sulfuro de hidrógeno se incluye en la Sección 112(r) y está sujeto a las disposiciones de liberación accidental. Se requirió un estudio (ver la citación a continuación) bajo la Sección 112(n)(5).

Emisiones al aire de sulfuro de hidrógeno asociadas con la extracción de petróleo y gas natural, EPA-453/R-93-045, (El número de publicación de NTIS es PB94-131224, \$36.50 copia impresa, \$17.50 microficha).

National Technical Information Services (NTIS), servicios nacionales de información técnica

5285 Port Royal Road

Springfield, VA 22161

703-487-4650 800-426-4791

703-487-4807 8:30-5:30 hora del este, de lunes a viernes

TECHNICAL REPORT DATA

(Please read Instructions on reverse before completing)

1. REPORT NO. EPA-456/R-04-003	2.	3. RECIPIENT'S ACCESSION NO.
4. TITLE AND SUBTITLE REVESTIMIENTOS, TINTAS Y ADHESIVOS CURADOS CON ULTRAVIOLETA Y HAZ DE ELECTRONES	5. REPORT DATE July 3004	
	6. PERFORMING ORGANIZATION CODE	
7. AUTHOR(S)	8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO.	
9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS Clean Air Technology Center (E 143-03) Information Transfer and Program Integration Division Office of Air Quality Planning and Standards U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC 27711	10. PROGRAM ELEMENT NO.	
	11. CONTRACT/GRANT NO.	
12. SPONSORING AGENCY NAME AND ADDRESS Office of Air Quality Planning and Standards Office of Air and Radiation U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC 27711	13. TYPE OF REPORT AND PERIOD COVERED Final	
	14. SPONSORING AGENCY CODE EPA/200/04	
15. SUPPLEMENTARY NOTES For more information, call the Clean Air Technology Center (CATC) Information Line at (919) 541-0800 or access the CATC Web page at < http://www.epa.gov/ttn/catc >.		
16. ABSTRACT This is the Spanish Version of EPA-456/K-01-001, Ultraviolet and Electron Beams (UV/EB) Cured Coatings, Inks, and Adhesives. This document is a Technical Bulletin which is intended to enlighten state air pollution authorities about a relatively new technology. This document defines UV/EB coatings, explains why they are important, explains how the technology works, what degree of pollution prevention is afforded, what industries could use UV/EB coatings, and the cost analysis of using UV/EB coatings. It even describes stereolithography, which makes a part out of a coating. UV/EB coatings were previously called UV/EB Radiation cured coatings, but "Radiation" has been dropped from the name because it is a term that is used too freely. UV/EB cured coatings are used in many applications, and should become useful in more when the results and risks of using them are fully understood. The intent is to make them fully understandable.		
17. KEY WORDS AND DOCUMENT ANALYSIS		
a. DESCRIPTORS	b. IDENTIFIERS/OPEN ENDED TERMS	c. COSATI Field/Group
revestimientos, tintas, adhesivos, ultravioleta, UV, haz de electrones, energía radiante electromagnética, lámpara de arco de mercurio, polímeros orgánicos, polimerización por radicales libres, polimerización catiónica, polímero, curado, curado de revestimientos convencional, espectro visible, ultravioleta extremo, OZONO	control de la contaminación del aire prevención de la contaminación compuestos orgánicos volátiles COV contaminantes del aire peligrosos	
18. DISTRIBUTION STATEMENT Release Unlimited	19. SECURITY CLASS (<i>Report</i>) Unclassified	21. NO. OF PAGES 96
	20. SECURITY CLASS (<i>Page</i>) Unclassified	22. PRICE

United States
Environmental Protection
Agency

Office of Air Quality Planning and Standards
Information Transfer and Program Integration Division
Research Triangle Park, NC

Publication No. EPA-456/R-04-003
July 2004
