

Control de las emisiones atmosféricas en el sector de las Artes Gráficas

Autor principal: Rubén Villalba Rubio

Institución: Centro de Innovación Tecnológica para las Artes Gráficas (Departamento de Medio Ambiente) CITAGM

Teléfono: 91 859 64 22

E-mail: medioambiente@citagm.com

Otros autores: Isabel Rodríguez García

INTRODUCCIÓN

Las empresas de artes gráficas vienen mostrando un elevado interés en realizar una correcta gestión medioambiental. Dicho factor, cada vez juega un papel más importante en la competitividad de las empresas. La sociedad es cada día más sensible al problema del deterioro del entorno, el agotamiento de los recursos naturales, la desaparición de las especies...etc. y la Administración elabora y aplica una legislación cada vez más restrictiva.

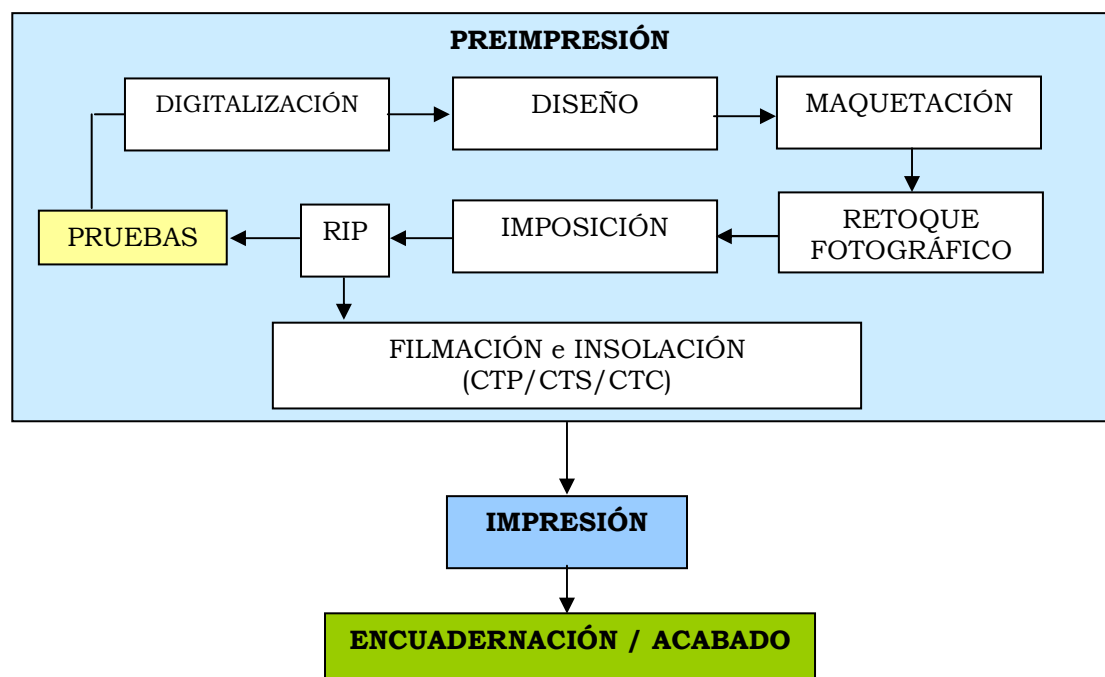
El planteamiento tradicional de los organismos públicos, que se basaba en medidas correctivas para asegurar el control medioambiental, ha sido sustituido por un enfoque basado en la prevención de la contaminación.

De una forma más centrada en el control de emisiones atmosféricas, la Unión Europea aprobó la Directiva 1999/13/CE, sobre la limitación de emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) debidas al uso de disolventes en determinadas actividades. Esta directiva impone a los sectores afectados, entre los que se encuentra el sector de las artes gráficas, no superar unos **valores límite de emisión o reducir sus emisiones**. La directiva fue transpuesta a la legislación española por el Real Decreto 117/2003.

El Centro de Innovación Tecnológico para las Artes Gráficas CIT-AGM, consciente del interés de las empresas del sector y de las crecientes demandas medioambientales, ha realizado un amplio estudio de investigación y análisis de los efluentes gaseosos y su control dentro de los procesos de impresión.

1. PROCESOS PRODUCTIVOS EN LA INDUSTRIA GRÁFICA

En general las etapas que conforman el proceso de producción de la industria de las artes gráficas son las siguientes:



2. ESTUDIO DE LAS MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES PARA LA ELIMINACIÓN O REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE COVs EN LOS PROCESOS DE IMPRESIÓN

En la industria gráfica se generan distintos residuos (restos de disolventes líquidos, reveladores y fijadores, trapos contaminados, restos de colas, restos de tintas...) No obstante, es de especial relevancia las emisiones de COVs que se producen en algunos de los procesos y que son objeto de este estudio.

Tomando como referencia el documento BREF (Documento de referencia para establecer las Mejores Técnicas Disponibles en actividades de tratamiento de superficies que empleen disolventes orgánicos) hemos seleccionado aquellas técnicas que resulten apropiadas y aplicables para reducir la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en las industrias del sector gráfico.

Las técnicas a implantar se clasifican en tres apartados: Partiendo de la afirmación de que el residuo que menos contamina y el más fácil de eliminar es el que no se produce, establecemos aquellas medidas que pueden tomarse para evitar las emisiones de COVs en su **origen**, incluyendo la posible sustitución de compuestos orgánicos por otros menos contaminantes. También se describen las técnicas a ser **integradas en el propio proceso** de impresión (buenas prácticas ambientales), y finalmente los sistemas “**end – of – pipe**” (final de proceso), empleados para eliminar las emisiones que no han podido ser evitadas.

Para obtener unos resultados óptimos es necesario implantar conjuntamente estas tres medidas.

2.1 Estudio de las Mejores Técnicas Disponibles (BATs) en los Procesos de Impresión: Técnicas de Reducción en Origen

2.1.1 Reutilización de tintas ya empleadas para otros trabajos de IMPRESIÓN:

Descripción: Las tintas en base disolvente y en base agua que quedan restantes tras un trabajo de impresión pueden ser re-utilizadas. No obstante, para poder ser utilizadas con eficiencia, éstas no deben diluirse demasiado ni ser contaminadas con los disolventes de limpieza (sí estos son diferentes del diluyente empleado en la propia tinta). Las tintas en base agua que se contaminan con cualquier tipo de disolvente de limpieza no se pueden reutilizar.

Beneficios ambientales alcanzados: En los procesos que emplean tintas en base disolvente, la cantidad de tinta residual a ser eliminada se puede reducir en un **30 – 50 %**, reduciéndose, por tanto, también el gasto de tinta fresca necesaria. En general, se puede reutilizar una mayor cantidad de tintas en base disolvente que de tintas en base agua.

Efectos adversos: Ninguno

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable tanto en los procesos de **heat-set offset** como en los procesos de impresión de publicaciones por **hucograbado**, en donde generalmente sólo se emplean cuatro tipo de colores standard. En estos procesos, la misma tinta puede ser utilizada en trabajos consecutivos, manteniéndose la misma en la prensa. La re-utilización de tintas sólo presenta problemas cuando se mezclan tintas de colores especiales para trabajos específicos, como ocurre en la impresión de embalaje por flexografía.

Costes económicos: Se logra un **ahorro económico** gracias a que es necesario un gasto de tinta fresca menor, y los costes de gestión de la tinta residual, al reducirse la

cantidad producida de la misma, también serán menores.

2.1.2 Bombeo directo de Tinta o Pintura desde almacén

Descripción: La tinta o la pintura se transportan desde el almacén a las prensas directamente a través de un sistema de bombeo.

Beneficios ambientales alcanzados: Se producen menos residuos de tintas y pinturas, menos contenedores y herramientas a emplear y limpiar, y menor emisión de COVs, ya que se reduce de forma considerable el empleo de disolventes de limpieza. Se puede alcanzar un nivel de tintas residuales para las plantas heat-set de hasta menos del 1 % en peso de la tinta total adquirida.

Efectos adversos: Ninguno

Datos operativos: El sistema de bombeo directo se suele emplear en grandes plantas de impresión, en las que se compran y almacenan grandes contenedores de tintas.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable en plantas que tengan un consumo suficiente de tinta para compensar el costo del sistema de bombeo. Generalmente se emplea en grandes plantas de impresión por **heat-set offset**, y en plantas de impresión de publicaciones por **huecograbado**. En plantas **flexográficas no suele resultar rentable**, ya que se emplean muchos tipos distintos de colores, que vienen contenidos en envases de menor tamaño.

Costes económicos: La instalación de un sistema de bombeo suele incurrir en un gasto considerable, por lo que hay que tener en cuenta que esta técnica es rentable para aquellas empresas que empleen grandes cantidades de tinta.

Razones de implementación: A pesar de lo resaltado en el punto anterior, el costo de la instalación de un sistema de bombeo se ve compensado en gran medida por un ahorro también importante de disolventes de limpieza, máquinas de lavado y gestión de contenedores vacíos, ahorro que puede llegar a superar el costo de esta instalación en muchos casos. Por tanto, se debe evaluar de forma muy favorable esta técnica, sobre todo teniendo en cuenta los beneficios ambientales que pueden lograrse mediante la implantación de la misma.

2.1.3 Sustitución de tintas convencionales con otras alternativas sin agua:

Descripción: Las tintas sin agua son tintas de alta viscosidad, con características similares a las tintas en base de derivados del petróleo. La principal diferencia en estos sistemas de entintado es que se produce una resina de alta viscosidad, pero los controles de temperatura requeridos son exactamente los mismos. La temperatura se debe controlar con una unidad de refrigeración de tres etapas.

Beneficios ambientales alcanzados: La emisión de COVs procedentes de las tintas **se reduce a cero**.

Efectos adversos: Ninguno

Datos operativos: Las tintas sin agua requieren prensas y planchas especiales, o re-instaladas.

Aplicabilidad: Nuevas prensas empleadas en impresión heat-set offset .

Costes económicos: La implantación de un sistema de impresión sin agua requiere una inversión inicial importante.

Razones para su implementación: A pesar del costo de instalación inicial de esta técnica, esta inversión se ve compensada, ya que al no producirse emisiones de COVs por parte de las tintas, no se requiere la implantación de ningún sistema de abatimiento de los mismos¹ (captación del gas residual desde el horno y recirculación del mismo a un sistema de incineración), y el gasto en gestión residual en este punto se reduce de manera considerable.

2.1.4 Sustitución de tintas convencionales con tintas basadas en aceites vegetales

Descripción: Las tintas basadas en aceites vegetales tales como aceite de judía, pueden reemplazar en algunas ocasiones a las tintas convencionales basadas en aceites minerales

Beneficios ambientales alcanzados: Las tintas convencionales empleadas en offset contienen disolventes que son fracciones de petróleo de alto punto de ebullición. Estas fracciones no evaporan a la temperatura ambiente, sin embargo, si que se producen vapores de estos al secarse el producto impreso en el horno de secado, dando lugar a emisiones de los mismos (emisiones de COVs). La aplicación de tintas basadas en aceites vegetales puede **reducir la emisión de COVs** hasta en un **80 %**. La principal ventaja de estas tintas es que son fabricadas a partir de fuentes renovables, y por tanto, el lodo resultante de la tinta residual es **biodegradable**. Otra de las ventajas ambientales es que la limpieza se puede realizar con agua y detergentes, **sin necesidad de emplear disolventes orgánicos**, por lo que la reducción de emisión de COVs se produce por ambas vías.

Efectos adversos: Las tintas vegetales tienen tendencia a adherirse mucho a las fibras del papel, con lo que su limpieza resulta más complicada de realizar que con las tintas convencionales.

Datos operativos: En el proceso de impresión **sheet-fed offset** estas tintas y barnices se emplean de forma habitual. En los procesos de **impresión en frío** (cold-set) estas tintas predominan en forma de tintas coloreadas, mientras que la mayoría de la tinta negra empleada es de base mineral. En los procesos **heat-set offset**, estas tintas se emplean menos, debido sobre todo al **coste** de las mismas

Aplicabilidad: Las tintas y barnices en base vegetal se pueden emplear en **todos los procesos de impresión offset, excepto en la impresión de periódicos**.

2.1.5 Sustitución de tintas convencionales con Tintas de Curado Ultravioleta (Tintas UV)

Descripción: Las tintas de curado UV son tintas especiales que están compuestas por lo general por una mezcla de oligómero reactivo (oligómero de acrilato), uno o más monómeros reactivos, un componente de absorción de luz UV (fotoiniciador) y uno o más aditivos. Estas tintas polimerizan o curan debido a la acción del fotoiniciador, que absorbe la luz e inicia la polimerización de manera prácticamente instantánea.

Beneficios ambientales alcanzados: Debido a que estas tintas carecen de compuestos volátiles, **no existen emisiones de COVs** procedentes de las tintas. Por tanto, las tintas de curado UV suponen una alternativa a tener en cuenta para la protección del medio ambiente y de la salud del trabajador. Además, la tinta se conserva líquida en el tinero,

¹ (El resto de COVs emitidos por empleo de disolventes de limpieza, isopropanol, etc... se tendrán que eliminar mediante otros métodos, algunos de los cuales describimos en los puntos siguientes.

por lo que se reduce la **frecuencia** con la que es preciso **limpiar** los equipos, y consecuentemente, se reducen las corrientes residuales producidas.

Efectos adversos: Las tintas de curado UV requieren un consumo de energía elevado, ya que necesitan para su curado hornos o lámparas especiales de curado UV. Además, estas lámparas contienen mercurio, por lo que requieren un tratamiento especial de destrucción antes de ser desechadas. Las tintas UV se limpian con etanol, IPA u otros disolventes. Necesitan más cantidad de disolventes de limpieza una vez seca, ya que una vez secas son más difíciles de eliminar que las tintas convencionales. Sin embargo, como hemos indicado anteriormente, esta tinta no necesita ser limpiada a diario porque sólo se seca cuando se expone a radiación ultravioleta. Estas tintas, como ya indicábamos, contienen oligómeros y monómeros reactivos de acrilato, algunos de los cuales pueden provocar reacciones alérgicas. Por esta razón los operarios de la planta se han de proteger con equipos de protección individual (EPI) de las radiaciones UV, y debe existir una correcta ventilación de la sala para evitar la concentración del ozono producido durante el secado de la tinta.

Datos operativos: En líneas generales, la calidad de impresión de estas tintas es comparable a la que se obtiene con las tintas convencionales, e incluso en el caso de aplicación de barniz, se obtienen **resultados mejores**.

Aplicabilidad: Estas tintas se pueden aplicar sobre un gran número de soportes, como plástico, papel, metal, y telas. Por tanto, es aplicable en diferentes procesos de impresión, como en **offset, flexografía, tipografía y serigrafía**.

Costes económicos: Los costes de inversión para una nueva prensa que emplee tintas de curado UV son similares a los que se requieren para una prensa convencional. Los costes de adaptación de presas existentes serían algo mayores.

2.1.6 Sustitución de tintas convencionales con Tintas de Curado por Haz de electrones (tintas EB)

Descripción: Las composiciones de acrilato que se curan por luz ultravioleta pueden curarse por exposición a un haz de electrones de alta energía, produciéndose la reacción ó curado entre la tinta y el haz dentro de un tubo en el que se ha realizado el vacío (para poder dirigir el haz sin que exista dispersión del mismo).

En el proceso de curado EB, no se requiere la presencia de un fotoiniciador (excepto una pequeña cantidad de ácido para composiciones catiónicas), ya que el propio haz de electrones de alto voltaje tiene suficiente energía para iniciar directamente la reacción de solidificación o curado del polímero.

Beneficios ambientales alcanzados: Al igual que en caso anterior, la ausencia de disolventes orgánicos en las tintas de curado EB provocan que la **emisión de COVs** desde las tintas se **reduzca a cero**.

Efectos adversos: Similares a los de las tintas UV. Tienen la desventaja adicional de que los operarios necesitan una protección de los rayos X generados en el proceso de curado.

Datos operativos: algunos problemas operativos de las tintas de curado EB son la degradación del papel y la exposición a la radiación del operario. Son generalmente empleadas para recubrimientos de lustre de alta calidad y para aplicaciones de decorado de metal.

Aplicabilidad: Aplicable en prensas de nuevo diseño.

Costes económicos: Los hornos de curado EB suponen un costo inicial mayor, pero tienen un coste de operación menor.

2.1.7 Reducción de emisiones procedentes de la solución de humectación

a. Sustitución del alcohol isopropílico (IPA) de la solución de humectación.

Descripción: Existen aditivos que permiten reducir la concentración de IPA en la solución de humectación. La mayoría de estos aditivos son éteres de glicol. Se añaden a la solución en concentraciones de alrededor del 1% del volumen total de esta solución (a veces el 3 o el 5 %, dependiendo del aditivo). Algunos aditivos están pensados para sustituir completamente al alcohol isopropílico, otros están pensados para emplearse en combinación con pequeñas concentraciones de IPA.

Los aditivos que se han empleado dando buenos resultados y que poseen un potencial de formación de ozono bajo son los siguientes:

- Propilen-glicol
- Glicerol
- Di-hidro-3-metil-2.5-furandion
- Butildiglicol

Beneficios ambientales alcanzados: La concentración de IPA en las soluciones de humectación suele estar comprendida entre el 8 y el 30%, aunque normalmente es del 15%.

Con el empleo de estos aditivos se pueden lograr **concentraciones** de entre el **2 y el 8%**, y en algunos casos, se puede llegar a trabajar **sin IPA**. Los éteres de glicol también son compuestos orgánicos volátiles, aunque dan lugar a muchas menos emisiones que el IPA, ya que tienen un punto de ebullición más elevado. Sin embargo, aunque las emisiones de COVs son menores, el potencial de formación de ozono de algunos éteres de glicol puede ser hasta 10 veces mayor que el del IPA para la misma cantidad evaporada.

Efectos adversos: Algunos aditivos pueden tener consecuencias negativas en la salud y la seguridad de los que los manejan. Por tanto, todas las hojas de datos de seguridad deben ser estudiadas antes de la utilización de estos aditivos.

Datos operativos: La reducción en el consumo de IPA no es automáticamente el resultado de la sustitución de este compuesto. Las especificaciones del producto que va a ser impreso, la combinación de papel y tinta, las circunstancias climatológicas y la habilidad del personal que maneja la prensa determina en gran medida si la sustitución tiene el efecto deseado. Algunas veces también se emplea etanol para reemplazar el IPA, sin embargo, esto debe ser evitado, ya que el potencial de formación de ozono del etanol es dos veces mayor que el del IPA. Este hecho combinado a una presión de vapor que es 1/3 mayor que la correspondiente al IPA, supondrá únicamente un efecto negativo sobre el medioambiente.

Aplicabilidad: Aplicable a todas las plantas de impresión por offset.

Costes económicos: El coste medio de un litro de IPA es aproximadamente 0.55 euros, y el coste medio de un litro de aditivo de sustitución es aproximadamente 1.50 euros. Sin embargo, como la cantidad necesaria de aditivos a añadir a la solución de humectación es menor que la necesaria de IPA, el coste final es aproximadamente el mismo. De cualquier forma, se han de tener en cuenta los costes relacionados con el tiempo

invertido y la tecnología necesaria para producir ese cambio.

Razones para su implementación: El empleo de aditivos de sustitución para reducir o eliminar el empleo de IPA en la solución de humectación es un cambio necesario para poder cumplir con la normativa medioambiental en materia de emisiones de COVs.

b. Lograr la concentración óptima de alcohol isopropílico en la solución de humectación

Descripción: La concentración de IPA en la solución de humectación se reduce al máximo posible. Se puede lograr una **reducción de IPA del 8 al 10 %** sin el empleo de medidas técnicas adicionales. Sin embargo, es necesaria mayor efectividad para el ajuste de la prensa. Para alcanzar condiciones de impresión reproductivas con una concentración reducida de IPA, es necesario realizar mediciones exactas y continuas de la concentración de IPA, por ejemplo mediante el empleo de sistemas de medición por ultrasonidos o infrarrojos. Asimismo, un prerrequisito para poder emplear la menor concentración posible de IPA es el ajuste exacto de la dureza del agua y de su calidad, así como del PH de la solución de humectación. La siguiente tabla muestra la evolución en el empleo de IPA para las prensas tanto de sheet fed offset (offset plano) como de web-fed offset (offset de bobina):

IPA en % en peso	prensas web-fed offset	prensas sheet-fed offset
Prensas existentes	8 – 9 %	8 – 10 %
Prensas de nuevo empleo	4 – 6 %	6 – 8 %
Prensas de nuevo diseño	2 – 4 %	4 – 6 %

Beneficios ambientales alcanzados: En los procesos de impresión offset plana, la concentración de alcohol isopropílico (IPA) esta generalmente entre el 10 y el 15 %, y en heat set offset varía entre el 8 y el 15 %. Los resultados mostrados en la tabla reflejan que se puede reducir la cantidad de IPA empleada en las prensas de impresión de bobina (web presses) hasta un 26 %. Para prensas de nuevo empleo y de nuevo diseño, esta reducción puede ser de hasta el 65 %. En el caso de prensas de impresión offset plana, para prensas existentes se puede reducir el consumo de IPA en un 28 %, y para prensas de nuevo diseño o nuevo empleo, en un 52 %.

Efectos adversos: Ninguno.

Aplicabilidad: Aplicable a todas las plantas de impresión offset.

Costes económicos: El coste de los sistemas de medición de las características de la solución de humectación se ve compensado por la reducción del consumo de IPA.

Razones para su implementación: Al igual que en apartado anterior, la principal razón para la reducción del empleo de IPA en la solución de humectación es dar cumplimiento a la directiva medioambiental en materia de emisiones de COVs a la atmósfera.

c. Rodillo de distribución cerámico o de metal, y rodillos con planchas hidrofílicas

Descripción: Aplicación de un rodillo de distribución cerámico o acero cromo-plateado,

en combinación con rodillos de planchas hidrofílicas. Los rodillos de planchas hidrofílicas están hechos de goma o caucho blando. Estos rodillos pueden formar una película humectante sobre el rodillo portaplanchas con concentraciones de IPA mucho menores. Estos rodillos se pueden aplicar con éxito en los casos en los que el IPA es parcialmente sustituido.

Beneficios ambientales alcanzados: Las concentraciones de IPA se pueden **reducir entre un 2 y un 3 %**, dependiendo de la concentración inicial.

Efectos adversos: Los rodillos fabricados con goma blanda se estropean antes que los fabricados con goma dura, y, por tanto, necesitan ser reemplazados más a menudo, dando como resultado una mayor cantidad de residuos. Asimismo, los rodillos de cerámica necesitan ser reemplazados más frecuentemente que los fabricados de acero cromo-plateado.

Datos operativos: Tanto los rodillos de acero cromo-plateados como los de cerámica dan buenos resultados, dependiendo del tipo de prensa. Los rodillos de cerámica requieren más mantenimiento.

Aplicabilidad: Esta técnica es de común aplicación y es aplicable en todas las industrias que empleen IPA.

Costes económicos: El coste de los rodillos de goma blanda es el mismo que el de los rodillos de goma dura. Sin embargo, estos rodillos necesitan ser reemplazados con mayor frecuencia. El coste total de la sustitución de los rodillos de distribución por rodillos cerámicos depende del tamaño de la prensa. Como ya hemos señalado, estos rodillos también necesitan ser reemplazados con mayor frecuencia que los rodillos de acero cromo-plateados.

d. Aplicación de un Sistema Aerosol en la Unidad de Humectación

Descripción: En un sistema de humectación por aerosol, los inyectores usados para rociar la solución que humedece tienen un movimiento oscilante que provoca que la solución de humectación sea alimentado más linealmente que en los sistemas convencionales.

Beneficios ambientales alcanzados: Aplicar la solución de humectación en forma de aerosol, en lugar de con un sistema de rodillos requiere menor concentración de IPA.

Efectos adversos: Ninguno

Aplicabilidad: Este sistema es aplicable en todas las plantas offset.

e. Refrigeración de la Solución de Humectación.

Descripción: Los sistemas de circulación y dosificación de la solución de humectación se refrigeran hasta los 8 – 15 °C, para reducir la evaporación de IPA.

Beneficios ambientales alcanzados: Cerca de **2/3 del IPA** contenido en la solución de humectación se evapora antes de alcanzar los rodillos de humectación y la plancha impresora. En el momento que la solución de humectación alcanza la plancha de impresión, la concentración de IPA es **sólo de cerca del 1 %**.

La refrigeración de la solución de humectación logra reducir la cantidad de IPA evaporado, y por tanto, la cantidad necesaria de este compuesto.

Efectos adversos: Esta técnica requiere el empleo de un sistema de refrigeración que consume energía.

Datos operativos: La mayoría de las prensas están equipadas con un sistema de refrigeración standard que puede emplearse para refrigerar la solución de humectación.

Aplicabilidad: Este sistema es de común aplicación en plantas de impresión offset

f. recirculación automática del IPA de solución de HUMECTACIÓN

Descripción: Recircular la solución de IPA del contenedor de solución humectante al contenedor que dosifica el IPA cuando la prensa está en reposo, por ejemplo, en fines de semana y durante la noche. Se realiza mediante sistemas automáticos.

Beneficios ambientales alcanzados: Se consigue bastante reducción en las emisiones de IPA.

Efectos adversos: La recirculación del IPA se realiza mediante bombeo, por lo cual se requiere energía.

Datos operativos: Actualmente, en la mayoría de las plantas el alcohol isopropílico (IPA) es bombeado automáticamente de forma continua.

Aplicabilidad: Este sistema es aplicable a todas las plantas de offset.

g. Filtración y Reciclado de la Solución de Humectación

Descripción: Un sistema de circulación que incluya una unidad de filtrado puede aumentar el ciclo de vida de la solución de humectación.

Beneficios ambientales alcanzados: Se consigue consumir una menor cantidad de agua y producir menos agua residual.

Efectos adversos: La técnica de filtrado es un proceso que requiere el consumo de energía.

Aplicabilidad: Este sistema es aplicable a todas las plantas de impresión offset.

h. Sistema Centralizado para distribución de Soluciones de Humectación

Descripción: Las soluciones de humectación son preparadas, refrigeradas y filtradas en la misma unidad, y se distribuyen a todas las prensas de la planta. Con este sistema, los contenedores de la solución de humectación de cada prensa se vacían automáticamente cuando la prensa no está trabajando.

Beneficios ambientales alcanzados: Se consigue una dosificación más exacta de aditivos y el filtrado y el reciclaje son más eficientes. Esto conduce a un menor gasto de energía y materias primas, y a un menor consumo de agua. Si se emplea IPA, la implementación de esta técnica también conduce a que se produzcan menos emisiones de este compuesto a la atmósfera. No obstante, la concentración de IPA (o de cualquier otro sustituto) se ajustará a la prensa que necesite la mayor cantidad del mismo.

Datos operativos: Algunas plantas emplean agua desmineralizada para mejorar aún más el control de la calidad de la solución de humectación.

Aplicabilidad: Esta técnica es mayoritariamente aplicable a plantas de impresión heat-set de gran tamaño.

Costes económicos: La instalación de esta técnica en nuevas plantas o en plantas donde estén instaladas algunas prensas nuevas no es demasiado cara. Sin embargo, los costes de adaptación o modificación de las instalaciones más antiguas serían más elevados.

Razones para su implementación: Esta técnica es aplicada porque permite una mejora

importante en el control de calidad.

i. Desmineralización del agua de la Solución de Humectación

Descripción: El empleo de agua desmineralizada en la solución de humectación facilita la determinación de la cantidad de aditivo que debe ser añadido a la misma. Esto conduce a mejorar la calidad de la solución de humectación.

Beneficios ambientales alcanzados: Se emplean menos materias primas, y por tanto, se producen menos emisiones a la atmósfera.

Efectos adversos: La desmineralización del agua es un proceso que requiere el consumo de energía

Aplicabilidad: Las grandes plantas de impresión heat-set offset emplean esta técnica como medida complementaria al sistema de alimentación central de solución de humectación descrito en el apartado anterior.

Costes económicos: Técnica de **bajo coste** económico.

Razones para su implementación: Mejora del control de calidad.

j. Optimización de la Calidad del Agua de la Solución de Humectación.

Descripción: La dureza del agua es un factor que varía dependiendo del terreno en el que se halle instalada la planta. Este factor influye en gran medida en la calidad de la solución de humectación y en su grado de emulsificación en la tinta. Empleando un sistema de alimentación de agua que incluya filtrado, suavizado, ósmosis inversa y sistema de balance de dureza, es posible obtener el agua de alimentación apropiada para la solución de humectación. Por ejemplo, el contenido en calcio del agua de alimentación puede ser reducido mediante la ósmosis inversa, ajustando de esta manera la dureza del agua a un valor óptimo. (Un valor óptimo de dureza del agua se encuentra comprendido entre los 70 y los 140 ppm de carbonato cálcico, (CaCO₃))

Beneficios ambientales alcanzados: Mediante la optimización de la dureza del agua a emplear en la solución de humectación, se consumen menos aditivos y en caso de que se emplee, menos IPA. También se consume menos agua debido a que se producen menos erratas. El evitar las erratas reduce asimismo el consumo de materias primas y energía.

Efectos adversos: La ósmosis es un proceso que requiere el consumo de energía

Aplicabilidad: Aplicable a todas las plantas de impresión por offset

k. Offset sin agua (waterless offset)

Descripción: La impresión offset sin agua es una técnica de impresión que no necesita emplear agua para lograr que la tinta sólo cubra las zonas imagen de la plancha de impresión. Tanto las planchas como las tintas empleadas son de fabricación especial y están patentadas.

Beneficios ambientales alcanzados: Se consumen menos recursos y materias primas, y las emisiones procedentes de la solución de humectación desaparecen.

Efectos adversos: Ninguno

Datos operativos: Esta técnica tiene varias ventajas sobre el offset normal. La calidad de impresión es mejor y el tiempo de preparación de la prensa es más reducido. El funcionamiento del proceso es más suave. No obstante, una **desventaja sería que existe un único distribuidor**. El proceso de pre-impresión para el revelado de la plancha

se realiza mediante el sistema Computer-to-Plate, y la separación del color es realizada por medio de un ordenador.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable cuando se necesitan calidades muy altas en trabajos de impresión con colores plenos, y para tiradas cortas. Un ejemplo serían algunos catálogos ó libros con trabajos artísticos. Se pueden adaptar a este proceso cualquier planta de impresión heat-set offset.

Costes económicos: Las prensas, planchas y tintas son algo más caras que las empleadas en offset normal, sin embargo, este coste se ve compensado por la ausencia de gasto en isopropanol, agua y solución de humectación.

Razones para su implementación: Se alcanza una calidad de impresión muy alta.

2.2 Estudio de las Mejoras Técnicas Disponibles (BAT's) en el proceso de impresión: Técnicas de Reducción Durante el proceso:

2.2.1 Buenas prácticas ambientales

Descripción: Las buenas prácticas ambientales son un conjunto de recomendaciones y actuaciones sencillas y respetuosas con el medioambiente y con la propia gestión empresarial. Su fin es, además de preservar el entorno natural, ayudar a que las organizaciones asuman el medioambiente como un factor positivo de cara a optimizar la productividad y ahorrar tiempo y recursos. Las buenas prácticas ambientales **no requieren cambios técnicos en los equipos** y, por tanto, son técnicas a implantar durante el propio proceso de impresión, sin necesidad de cambiar ningún aspecto del mismo. Por esto son técnicas o medidas **fácil y rápidamente asumibles**.

Beneficios ambientales alcanzados: Desde un punto de vista medioambiental, la puesta en marcha de buenas prácticas permite:

- Promover la mejora continua de la actividad en relación con el medioambiente.
- Reducir el consumo de agua y energía.
- Disminuir y facilitar la retirada de los residuos y vertidos.
- **Reducir la emisión de COVs a la atmósfera**

Efectos adversos: Ninguno

Datos operativos: La puesta en marcha de las buenas prácticas ambientales permite optimizar el funcionamiento del proceso productivo que se esté llevando a cabo.

Aplicabilidad: Estas prácticas son aplicables a todas las empresas de impresión, y por supuesto en impresión offset, tanto heat-set como sheet-fed o cold-set.

Costes económicos: Estas medidas **no suponen costo alguno** para la empresa que lo lleve a cabo, al contrario, suponen una vía de ahorrar consumo tanto de recursos como de materias primas.

Razones para su implementación: Como puede deducirse de todo lo que se ha señalado, la implantación de buenas prácticas ambientales durante el proceso de impresión de cualquier planta industrial de impresión supone tanto una reducción de los costes derivados de una gestión inadecuada de los recursos naturales como una mejora de la imagen de la empresa, así como un aumento de su competitividad. Por tanto, no existe ninguna razón para no implantar estas técnicas en el ámbito global en todas las industrias del sector gráfico.

A continuación se van a enumerar aquellas prácticas que se consideran aplicables a las

industrias de impresión y enfocadas a una reducción de COVs

- Mezclar con cuidado los productos químicos de impresión, haciéndolo en las cantidades necesarias e inmediatamente antes de utilizarse. Así se mejorará el proceso y se reducirá los desperdicios y los derrames.
- Usar tintas de secado por radiación ultravioleta, cuyo contenido queda en forma sólida al 100 % sobre el papel y cartón. Esta técnica permite recuperar más fácilmente los disolventes.
- Utilizar aceites vegetales en vez de disolventes orgánicos (que contienen COVs) para la limpieza de las planchas. Aunque son algo más caros, empleados en las cantidades adecuadas, son más rentables y menos perjudiciales para el medio.
- Reutilizar los disolventes para limpieza de tintas al máximo, siempre que sus condiciones lo permitan.
- Trabajar a las velocidades de proceso adecuadas. Esta medida optimiza la producción y propicia una mínima generación de residuos.
- No abusar de los productos químicos en las operaciones de limpieza, puesto que esa práctica no asegura unos mejores resultados.
- Limpiar y recuperar embalajes, en especial contenedores y cilindros metálicos, así se conseguirá ahorrar gasto y se producirá menos residuos.
- Establecer una metodología de almacenamiento y extracción cuando exista caducidad en los productos (pinturas, disolventes, papeles y cartones, etc...)
- Comprar la cantidad necesaria de materias primas en lotes adecuados.
- Inspeccionar los materiales antes de su compra y aceptación.
- Utilizar los productos más antiguos y rotarlos según su fecha de caducidad.
- La compra de productos o materias primas a granel o en envases de mayor tamaño reducirá la producción de residuos de envases.
- Implantar sistemas de producción ágiles con reducción de stocks de productos que puedan caducar.
- Mantener los envases de productos tóxicos perfectamente cerrado para evitar fugas y derrames.
- Identificar correctamente todos los contenedores y nunca introducir en ellos productos diferentes a los señalados.
- Disponer de depósitos de recogida de productos tóxicos almacenados para evitar la contaminación del suelo o agua en caso de fugas.
- Estudiar la compra de materiales alternativos a los disolventes orgánicos, de menor incidencia medioambiental.
- Instalar los bidones de disolventes sobre una bandeja o balsa de retención para evitar derrames en caso de fugas.
- Gestionar los restos de revelado (fluidos, papel y películas) a través de empresas especializadas, puesto que es necesario para el medio ambiente, y en muchos casos, genera un rendimiento económico debido a los efluentes que poseen algo de contenido en plata.
- Enviar los papeles y películas dañadas a empresas especializadas en el reciclaje de los mismos.
- Emplear, siempre que sea posible, tintas que utilicen sistemas de base agua con escaso porcentaje de disolventes orgánicos (contenido en COVs) y no contengan hidrocarburos clorados.
- Estudiar alternativas a los disolventes orgánicos para la limpieza de las máquinas offset; así se podrán gestionar mejor los residuos de limpieza; no se emitirán contaminantes atmosféricos y los rodillos tendrán una vida más larga.

2.2.2 Limpieza de Herramientas y Equipos

a. Limpieza con disolventes de Punto de Inflamación > 40 °C

Descripción: La velocidad de evaporación de los disolventes determina la cantidad de disolvente que evaporará durante la operación de limpieza, así como la cantidad de trapos y paños contaminados que se han de almacenar después de esta operación. La velocidad de evaporación de los disolventes tradicionales, como por ejemplo el tolueno, el etil-acetato etc... es significativamente mayor que la velocidad de evaporación de los disolventes con un punto de inflamación de alrededor de los 40 °C. Consecuentemente, mediante el empleo de disolventes de punto de inflamación intermedio se puede reducir considerablemente la emisión de estos compuestos a la atmósfera durante la operación de limpieza. En teoría, la velocidad de evaporación de los disolventes puede ser empleada como criterio. Sin embargo, los proveedores de disolventes no suelen proporcionar al cliente esta clase de datos. Así pues se emplea como criterio el punto de inflamación, que sirve para estimar la velocidad de evaporación del disolvente en cuestión. Cuando el disolvente tiene un punto de inflamación bajo (< 40 °C), se debe indicar en el envase del mismo.

Beneficios ambientales alcanzados: La reducción de COVs que se logra mediante el empleo de estos disolventes es de cerca del 40 % de la que se logra mediante el empleo de disolventes de alto punto de inflamación. Existe menos riesgo de contaminación del suelo. Empleando disolventes de punto de inflamación intermedio también acarrea varias ventajas en la salud y la seguridad, ya que el personal está menos expuesto a los disolventes evaporados.

Efectos adversos: Como se evapora menos disolvente, aumenta la cantidad de los mismos que ha de ser tratada o eliminada. Por tanto, se producirán más residuos, así como se necesitará un consumo algo mayor de energía para su tratamiento.

Datos operativos: Los disolventes con un punto de inflamación comprendido entre los 40 °C y los 55 °C pueden ser útiles como un paso intermedio al cambiar los agentes de limpieza volátiles por otros agentes menos volátiles. Los disolventes de punto de inflamación intermedio puede que no sean tan efectivos y eficientes en la limpieza como los agentes tradicionales, de forma que la limpieza requerirá algo más de tiempo.

Aplicabilidad: Este método se aplica comúnmente en industrias de impresión **sheet fed offset**, pero puede ser aplicable a todo tipo de industrias.

Costes económicos: Debido a que estos disolventes tardan más en evaporar, se pierde algo de tiempo de producción en el proceso.

Razones para su implementación: Reducción de las emisiones de COVs y cumplimiento de la normativa referente a los mismos.

b. Limpieza con Disolventes de Alto Punto de ebullición (HBS)

Descripción: Los disolventes de alto punto de ebullición (HBS = High Boiling Solvents), cuyo punto de inflamación se encuentra alrededor de los 100 °C, muestran una velocidad de evaporación menor que los disolventes de punto de inflamación alrededor de 55 °C.

Beneficios ambientales alcanzados: Una de las ventajas principales es que se producen menos evaporación de disolventes durante el proceso de almacenaje de disolventes usados y trapos contaminados, comparando con la que se produce cuando se emplean disolventes de limpieza de puntos de inflamación menores. Otra ventaja es que se reduce el riesgo de contaminación del suelo, así como se reduce la exposición de

los operarios a los vapores de disolvente.

Efectos adversos: Como se evapora menos disolvente, aumenta la cantidad de los mismos que ha de ser tratada o eliminada. Por tanto, se producirán más residuos, así como se necesitará un consumo algo mayor de energía para su tratamiento. La limpieza con disolventes de alto punto de ebullición (HBS) requiere que se realice una limpieza posterior únicamente con agua. Por tanto, el consumo de agua y los efluentes aumentarán también. Los HBS suelen disolverse en agua. Las mezclas de agua + HBS pueden ser tratadas posteriormente a su empleo aplicando una filtración, tras la cual el HBS puede ser empleado nuevamente. Los residuos de agua se descargan después al sistema de alcantarillado local.

Datos operativos: Los disolventes HBS pueden emplearse tanto para la limpieza automática como para la limpieza manual.

Aplicabilidad: Estos disolventes pueden emplearse en todas las plantas de impresión, y son especialmente comunes en las **plantas offset**. Sin embargo, en los procesos de impresión heat-set y cold-set offset, se emplean mayoritariamente para la limpieza final de la prensa, en vez de para los demás procesos de limpieza. Estos disolventes son de uso habitual también en las plantas de **impresión de embalaje por flexografía y huecograbado**.

Costes económicos: Esta técnica se autofinancia por sí sola, excepto en aquellas plantas antiguas en las que se tengan que asumir altos costes de adaptabilidad.

Razones para su implementación: Reducción de las emisiones de COVs y cumplimiento de la normativa referente a los mismos.

c. Limpieza con Disolventes de Origen Vegetal (VCA)

Descripción: Los agentes de limpieza de origen vegetal (VCA) muestran menor velocidad de evaporación que los disolventes con un punto de inflamación alrededor de 55 °C. Los primeros agentes de limpieza vegetales en la industria gráfica fueron simples aceites vegetales refinados, que fueron considerados finalmente demasiado viscosos y difíciles de trasegar. La generación actual de VCAs son mono-ésteres de diferentes ácidos grasos con distintos grados de saturación y contenido graso.

Beneficios ambientales alcanzados: Los disolventes de origen vegetal provienen de una fuente renovable, y, por tanto, no incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero.

Efectos adversos: Como se evapora menos disolvente, aumenta la cantidad de los mismos que ha de ser tratada o eliminada. Por tanto, se producirán más residuos, así como se necesitará un consumo algo mayor de energía para su tratamiento. La limpieza con disolventes de origen vegetal (VCA) requiere que se realice una limpieza posterior únicamente con agua. Por tanto, aumenta el agua residual producida.

Datos operativos: La aplicación de disolventes de origen vegetal requiere un método de trabajo diferente comparado con los disolventes convencionales. Los resultados del empleo de los VCAs son, por tanto, variables, aunque la mayoría de los mismos son favorables. Este es el caso de la limpieza de prensas manual.

Aplicabilidad: Estos disolventes pueden emplearse en todas las plantas de impresión, y son especialmente comunes en las **plantas offset**. Sin embargo, en los procesos de impresión heat-set y cold-set offset, se emplean mayoritariamente para la limpieza final de la prensa, en vez de para los demás procesos de limpieza.

Costes económicos: Normalmente los VCAs son alrededor de 4 veces más caros que los disolventes de limpieza convencionales.

Razones para su implementación: Reducción de las emisiones de COVs y cumplimiento de la normativa referente a los mismos.

d. Limpiadores Automáticos de Alta Presión para Rodillos Humectantes

Descripción: Los rodillos de humectación pueden lavarse empleando agentes de limpieza y agua a alta presión. Esta técnica puede sustituir a la tradicional limpieza que empleaba disolventes de limpieza de bajo punto de inflamación.

Beneficios ambientales alcanzados: Se produce una reducción en el consumo global de disolventes de limpieza, y se eliminan las emisiones de COVs por parte de la limpieza de estos rodillos.

Efectos adversos: Se incrementa el consumo de energía y de agua. Aumenta la cantidad de agua residual que ha de ser vertida y/o tratada.

Datos operativos: El resultado óptimo se alcanza cuando la tinta es raspada para eliminarla de la superficie antes de comenzar la limpieza mediante presión.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable en todas las plantas de impresión offset.

Razones para su implementación: Reducción de las emisiones de COVs y cumplimiento de la normativa referente a los mismos.

e. Sistemas de Limpieza Automática para el Cilindro de Impresión y el Cilindro de Caucho.

Descripción: Los rodillos de impresión y de caucho se limpian generalmente de forma automática en las grandes plantas de impresión heat-set offset.

Beneficios ambientales alcanzados: Mediante la limpieza automática se puede consumir hasta un 10 % menos de agentes de limpieza que con la limpieza manual. También se emplean menos trapos, y, por tanto, disminuye la cantidad de residuos generados. La limpieza automática acarrea numerosos beneficios tanto ambientales como de seguridad y salud, ya que al emplearse menos disolventes para realizar la limpieza disminuyen también las emisiones de los mismo y, por tanto, la exposición de los operarios a estos vapores contaminantes.

Efectos adversos: La limpieza automática requiere del consumo de energía. Aunque se producen menos residuos sólidos porque se emplean menos trapos, se producen más residuos líquidos en forma de disolvente de limpieza contaminado. Sin embargo, este residuo líquido se puede filtrar, el disolvente puede ser re-utilizado y la parte acuosa se puede verter por el sistema de alcantarillado.

Datos operativos: La limpieza automática es actualmente de empleo habitual, y, por tanto, existen sistemas de limpieza automática standard. Algunas veces, los disolventes de limpieza contaminados son absorbidos por el papel, y, por tanto, eliminados junto con éste. En algunas plantas este papel contaminado se hace pasar por un horno con el objetivo de que las emisiones de los disolventes producidas sean tratadas por el sistema de tratamiento del gas residual.

Aplicabilidad: Este sistema es aplicable tanto en plantas nuevas como en plantas existentes.

Costes económicos: Para plantas nuevas, los costes de instalación de estos sistemas de limpieza automática son mucho menores que para plantas existentes. Los costes de operación se reducen debido a que se emplea menos tiempo para efectuar la limpieza (ahorro en tiempo productivo), así como por un menor consumo de disolventes de limpieza y una generación menor de residuos.

2.2.3 Disolventes Residuales y Soluciones a Residuos de Disolventes

La disminución de emisiones de COVs provenientes de los disolventes residuales (residuos líquidos) y de los disolventes que quedan impregnados en los trapos, pueden conseguirse con técnicas tan sencillas como las siguientes.

- a. Utilización de Trapos y Paños de Limpieza Desechables.**
- b. Utilización de Trapos y Paños de Limpieza re-usables.**
- c. Eliminación de disolventes de trapos y paños antes de su transporte**
- d. Recuperación de disolventes de limpieza residuales mediante destilación.**
- e. Filtración de mezclas de limpieza que contienen disolventes de alto punto de ebullición (HBS) y disolventes de origen vegetal (VCA).**
- f. Destilación de residuos de productos en base solvente**

2.2.4 Técnicas de Secado

Uno de los procesos en los que se consumen grandes cantidades de energía es el proceso de secado. Los hornos de secado se emplean para:

- Secado de pintura
- Secado de tintas
- Secado de adhesivos
- Secado del agua retenida u otros líquidos
- Solidificación de adhesivos o materiales de protección
- Tratamiento previo de herramientas.

a. Secado mediante Circulación de Aire Caliente con o sin aire deshumidificado

Descripción: Se llaman hornos de convección de aire. El aire caliente se hace circular por el horno para calentar la superficie o el objeto a secar. Este aire está en contacto directo con esta superficie o este objeto. El tiempo de secado es de 3 a 60 minutos, dependiendo de la aplicación a la que esté destinado el horno. En estos hornos, una corriente de aire caliente de unos 180 °C elimina del 80 al 90 % de los disolventes de las tintas que se emplean para la impresión en heatset offset, los cuales son en su mayoría hidrocarburos pesados de alto punto de ebullición (240°C-310 °C). De esta manera, al evaporarse los disolventes de la tinta, ésta se fija al papel. Para el secado de superficies recubiertas con pinturas o productos en base agua se emplea aire deshumidificado. Sin embargo, también se pueden emplear hornos de convección con una etapa adicional de deshumidificación. Debido al contenido en agua de estos productos, el empleo de esta etapa adicional reduce considerablemente el tiempo de secado. Los hornos se construyen como hornos planos, en forma de inyector, en forma de bandeja o de torres de secado. La energía consumida depende en gran medida de las pérdidas de calor en el horno.

Beneficios ambientales alcanzados: Con los hornos de convección de aire se puede ahorrar hasta un 25 % de la energía consumida con respecto a los hornos convencionales.

Datos operativos: Tanto la t^a como el tiempo de secado influyen en la calidad de la superficie a secar. Existe un riesgo de inclusión de polvo en la superficie húmeda, de forma que los tiempos de secado y la demanda de energía se elevan. Sin embargo, se puede lograr un alto nivel de automatización, y existe un alto grado de flexibilidad en el empleo de esta técnica. Debido al calentamiento constante del horno de convección, el riesgo de recalentamiento es bajo, incluso aunque existan pequeñas paradas de las cintas o los rodillos transportadores. El secado por hornos de convección de aire se puede combinar con el secado con hornos de infrarrojos (reactor térmico) para disminuir el tiempo de secado y reducir el consumo de energía.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable en todas los materiales que estén recubiertos ó impresos por productos que fijan por calor, tanto si son productos de base disolvente como si no lo son. No existen tampoco limitaciones en cuanto al espesor de la capa de pigmentación. La geometría del sustrato cubierto tampoco es relevante aunque debe ser resistente al calor. Los hornos de convección pueden ser empleados para el secado de la capa de barnices en base agua, o como una etapa de pre-secado. Son muy empleados en el secado de recubrimientos de contenedores de plástico, recubrimientos de bobinas, etc...

Costes económicos: En general, el consumo de energía empleado en el secado de las superficies cubiertas se eleva de un 2 a un 5 % del coste total de la energía consumida en la línea general de pintado (o impresión)

b. Secado mediante Hornos de Convección de Gas Inerte

Descripción: El gas inerte se calienta mediante gas ó vapor empleando un intercambiador de calor, o fuel-oil. Aplicando gas inerte en vez de aire normal se consigue aumentar la cantidad de disolvente que es capaz de transportar este gas, de forma que el secado se produce más rápidamente. (Se consiguen concentraciones de hasta 1200 mg/m³ ó incluso superiores).

Beneficios ambientales alcanzados: El gas inerte puede transportar una cantidad de solvente mucho mayor que el aire normal. En un proceso de secado mediante gas inerte, se puede emplear (como ejemplo) un volumen de 2000 m³ de gas inerte para transportar una cantidad de 400 kg/hora de disolvente. Mediante el secado con aire normal, se necesitaría un volumen 10 veces superior para transportar el 40 % del LEL (Limit Explosion Level). Se ahorra energía y se pueden diseñar los sistemas de tratamiento de gases residuales para capacidades inferiores que las necesarias en caso de emplear aire normal.

También se reduce la posibilidad de inflamación.

Efectos adversos: Ninguno

Datos operativos: Esta técnica es poco conveniente en plantas de impresión de embalajes flexibles.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable a todas las plantas nuevas y existentes. Sin embargo, en las plantas existentes, la adaptación será más dificultosa. Esta técnica es muy empleada como paso intermedio en la fabricación de cintas adhesivas.

c. Secado mediante Curado por Radiación Infrarroja

Descripción: Para curado infrarrojo la pieza de trabajo se seca mediante adsorción o mediante radiación infrarroja. El proceso de secado empieza desde el interior hacia la

superficie. La intensidad de la radiación infrarroja depende de la longitud de onda y, por tanto, de la temperatura de la radiación. La adsorción de los rayos depende de la superficie del objeto, del color de la luz y de su composición química. Debido al calor de la radiación, los disolventes se evaporan.

Beneficios ambientales alcanzados: Se necesita menos demanda de energía en comparación con los hornos que aplican aire convencional.

Datos operativos: Es una técnica de rápido secado (de 1 a 5 segundos) y, por tanto, requiere únicamente un periodo corto de refrigeración. La composición del disolvente necesita ser ajustada a la energía de la radiación. Existe un riesgo de formación de sombras en los bordes. Hay disponibles una gran variedad de radiadores infrarrojos, de acuerdo con la longitud de onda que sea necesaria. La trayectoria del rayo o el programa de las instalaciones controladas se aplican de acuerdo a las condiciones superficiales y de secado del sustrato.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable en todos los materiales que estén recubiertos o impresos por productos que fijan por calor, tanto si son productos de base disolvente como si no lo son. No existen tampoco limitaciones en cuanto al espesor de la capa de pigmentación. La geometría del sustrato cubierto tampoco es relevante aunque debe ser resistente al calor.

Costes económicos: Los costes de inversión son relativamente bajos, sin embargo, la adaptación de los hornos existentes puede ser más costosa.

d. Secado mediante Reactor Térmico

Descripción: Un reactor térmico es un radiador que emite radiación infrarroja así como calor por convección. La radiación infrarroja se genera por combustión de gas natural o propano.

Beneficios ambientales alcanzados: Se necesita menos demanda de energía en comparación con los hornos que aplican aire convencional.

Datos operativos: Dependiendo del sistema de impresión o entintado y del tipo de producción, el tiempo total de secado es del orden de 6 a 10 minutos.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable en todos los materiales que estén recubiertos o impresos por productos que fijan por calor, tanto si son productos de base disolvente como si no lo son. No existen tampoco limitaciones en cuanto al espesor de la capa de pigmentación. La geometría del sustrato cubierto tampoco es relevante aunque debe ser resistente al calor. Los reactores térmicos también se aplican en los sistemas de impresión con productos en base agua.

e. Secado mediante Curado por Radiación Ultravioleta

Descripción: Las descargas eléctricas que se dan en ciertos gases se emplean para producir radiaciones ultravioletas. Las lámparas de vapor de mercurio son las que se emplean más comúnmente para este propósito. La radiación da lugar a que se produzca un entrecruzamiento dentro de la capa de pintura o de tinta. Para que de comienzo este entrecruzamiento, es necesario que exista un fotoiniciador. Por tanto, el curado ultravioleta necesita de la presencia de un elemento fotoiniciador.

Beneficios ambientales alcanzados: Se necesita menos demanda de energía en comparación con los hornos que aplican aire convencional.

Efectos adversos: Se requiere el empleo de lámparas de vapor de mercurio, el cual es muy tóxico si es inhalado. También, como consecuencia de la radiación ultravioleta se produce ozono en el ambiente.

Datos operativos: Esta técnica emplea hornos o lámparas que requieren muy poco espacio en la planta, y el curado se produce en pocos segundos, por lo que se reduce bastante el tiempo de secado con respecto a otras técnicas.

Aplicabilidad: El curado por radiación ultravioleta es aplicable en sustancias tales como poli-ésteres insaturados, poli-acrilatos, resinas epoxi, etc... Es especialmente aplicable para capas claras y para aplicar capas muy gruesas de esmalte. En capas pigmentadas, la radiación ultravioleta es sólo aplicable para pequeños grosores. También se emplea el curado ultravioleta para secar tintas de curado ultravioleta empleadas en la industria gráfica. Las superficies o sustratos recubiertos o impresos deben ser resistentes a las radiaciones ultravioletas, y preferiblemente ser planas o bidimensionales. El curado de superficies de plástico tridimensionales es más complicado, sin embargo se pueden emplear para este curado sistemas que estén correctamente adaptados. El curado ultravioleta es ampliamente empleado para sustratos de papel o cartón.

Costes económicos: En comparación con los hornos convencionales, el consumo de energía puede ser educido hasta en un 70 %. Comparado con un horno convencional de gas, el consumo de energía se puede reducir hasta en un 40 – 50 %. La tendencia de los precios de estos hornos es a la baja. El costo operativo de una unidad de 12 lámparas de 5.6 W de potencia cada una es aproximadamente de 5 €/hora (coste de energía). También hay que tener en cuenta que para el manejo de estas lámparas se necesitan menos operadores. (Menos horas/hombre).

f. Secado mediante Curado por Haz Electrónico

Descripción: El curado por haz de electrones (Electrón Beau, EB), es hincado por un haz de electrones emitido de un tubo catódico caliente. La polimerización, y consecuentemente el endurecimiento de la pintura se produce por el impacto de los electrones sobre los monómeros de que consta la tinta. Se consigue implantar un alto grado de automatización en este proceso. Además, se requiere muy poco espacio en la planta para estos hornos.

Beneficios ambientales alcanzados: Se necesita menos demanda de energía en comparación con los hornos que aplican aire convencional.

Efectos adversos: La radiación a la que están expuestos los operadores introduce un factor de riesgo.

Datos operativos: Hay riesgo de que el sustrato se vuelva excesivamente frágil. Se pueden producir sombras sobre el mismo.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable a poli-ésteres insaturados, poli-acrilatos, resinas epoxi, etc. no hay límite de grosor de la capa a secar, ni de pigmentación de la misma. Todos los sustratos y geometrías son aplicables, especialmente papel, hojas y madera. Debido a los altos costes de inversión esta técnica sólo es conveniente y comúnmente aplicada en rendimientos de procesamiento superficiales grandes. El curado por haz electrónico es cada vez más aplicado para la fabricación de cintas adhesivas.

Costes económicos: La instalación de hornos de curado por haz electrónico supone una inversión económica muy alta en comparación con los hornos de secado convencionales.

g. Secado mediante Horno Microondas

Descripción: En este proceso la capa de pintura húmeda se seca mediante microondas electromagnéticas. Las dos técnicas disponibles son secado por microondas y secado por hornos de alta frecuencia. Debido al impacto de estas ondas electromagnéticas se produce una oscilación de los dipolos, y consecuentemente, la energía electromagnética es transferida como energía calorífica. De esta manera, el agua retenida en el sustrato se evapora rápidamente.

Aplicabilidad: Esta técnica es exclusivamente aplicable a los recubrimientos, pinturas y tintas en base agua, y para sustratos que no contengan trazas de metales.

h. Secado mediante Hornos de Alta Frecuencia (HF)

Descripción: Los hornos HF están constituidos por un generador de alta frecuencia, una unidad transmisora, un colector de electrones y una zona apropiada para la succión del agua evaporada. La evaporación y el secado tienen lugar desde el interior de la tinta o pintura hacia el exterior. El calentamiento que se produce es homogéneo.

Aplicabilidad: Esta técnica es exclusivamente aplicable a los recubrimientos, pinturas y tintas en base agua, y para sustratos que no contengan trazas de metales

2.3 Estudio de las Mejoras Técnicas Disponibles (BAT's) en el Proceso de Impresión: Técnicas de "End-of-Pipe" o final de proceso:

Aquellos compuestos de los que no se puede prescindir por necesidades del proceso de impresión, o no pueden ser sustituidos, dan lugar a ciertas emisiones de COVs que son arrojadas a la atmósfera en ausencia de un sistema de tratamiento o eliminación de los mismos. En esta sección se van a describir varias técnicas de abatimiento de los COVs que son producidos como consecuencia del proceso productivo en una planta de impresión offset. De entre todas estas técnicas, y dependiendo de las características de cada actividad productiva, se tendrá que sopesar y valorar cual o cuales resultarán más apropiadas para cada una de las empresas de impresión offset. Dentro de las técnicas de abatimiento, se pueden distinguir dos tipos: Las **técnicas destructivas** y las **técnicas no destructivas**, pudiendo a su vez clasificar dentro de ellas las siguientes técnicas:

Técnicas destructivas:

- Tratamiento biológico
- Oxidación térmica: Recuperativa, no recuperativa y regenerativa
- Oxidación catalítica.

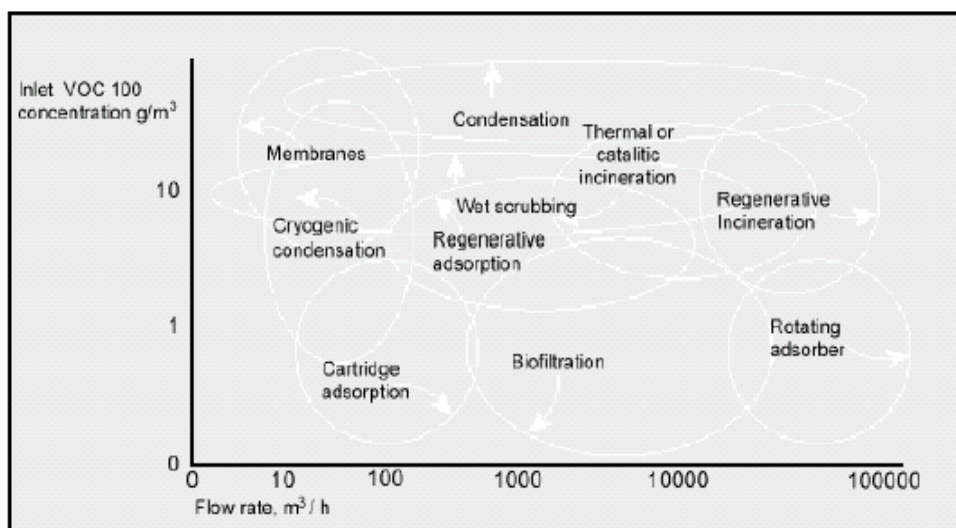
Técnicas no destructivas:

- Condensación
- Membranas
- Absorción con agua o compuestos orgánicos
- Adsorción en carbón activo: Desorción con vapor y desorción con nitrógeno.

A la hora de aplicar cualquier tecnología de tratamiento del gas residual conteniendo COVs hay que tener en cuenta una serie de parámetros o condiciones que pueden ser:

- Contenido de polvo, sustancias o partículas sólidas en el gas residual
- Concentración de COVs en el gas residual a la entrada de la instalación de tratamiento. (en g/m^3)
- Caudal y temperatura del gas residual: en m^3 y $^{\circ}\text{C}$.
- Posibilidad de reutilizar el disolvente en el propio proceso
- Posibilidad de recuperar el calor tras la operación de depuración del gas residual.
- Características del combustible a emplear: Gas Natural, Gas oil, etc...
- Servicios disponibles: vapor, agua de refrigeración, aire comprimido.
- Otros datos: espacio disponible, situación prevista, observaciones.

La siguiente tabla muestra un esquema general de los rangos de aplicación de cada técnica en función de la concentración de COVs del gas residual:



2.3.1 Técnicas Destructivas: Sistemas Térmicos y Oxidativos para la eliminación de los COVs

a. OXIDACIÓN térmica:

Descripción: Se trata de una simple oxidación de los compuestos orgánicos volátiles en una cámara de combustión mediante una reacción química de oxidación con el oxígeno del aire (el aire en este caso actúa como comburente). Al elevarse la T^a por encima de la T^a de combustión de los COVs, éstos se descomponen en CO_2 y vapor de agua. La T^a necesaria para que tenga lugar la combustión (que depende de la naturaleza de cada compuesto) puede alcanzarse mediante resistencias eléctricas o mediante una llama de gas (por ejemplo de gas natural).

Beneficios ambientales alcanzados: Se pueden alcanzar eficacias de abatimiento de COVs de hasta el 99 % o superiores.

Efectos adversos: Se necesita el empleo de fuel adicional para mantener las temperaturas de combustión. También, si estas temperaturas son muy altas, pueden dar lugar a la formación de NO_x , y si la combustión se realiza sin exceso de aire (es decir,

con oxígeno insuficiente), se pueden producir emisiones de CO.

Datos operativos: Las concentraciones de disolventes no son suficientes para permitir una incineración autotérmica. Los disolventes contenidos en el gas residual se oxidan y destruyen normalmente a la temperatura de unos 700 – 750 °C. Las combustiones a altas temperaturas pueden dar lugar a la formación de NO_x, por lo que las temperaturas de combustión se suelen limitar al rango de 900 – 1100 °C. Los incineradores térmicos pueden estar integrados dentro del horno de secado, o pueden aplicarse como un sistema de tratamiento central para varios hornos.

Aplicabilidad: Esta técnica es más efectiva para flujos pequeños o medianos, para los cuales el consumo de fuel es pequeño. Esta técnica no es muy aplicada en la Industria gráfica, ya que se han desarrollado tecnologías más alcanzadas que permiten la oxidación y destrucción de COVs con un consumo energético mucho menor, como son la oxidación térmica recuperativa y la regenerativa.

Costes económicos: Los costes del equipo necesario para esta técnica son muy bajos, aunque hay que tener en cuenta el coste energético.

b. Oxidación sin llama:

Descripción: Se trata de un incinerador en el cual se encuentra un lecho cerámico en el cual se produce la transferencia de calor. Esta técnica puede considerarse como un sistema intermedio entre la oxidación térmica y la oxidación regenerativa.

Efectos adversos: Se producen emisiones de NO_x, CO₂ y CO. Se pueden conseguir menores emisiones de NO_x aplicando temperaturas de combustión menores, en el rango de 800 – 850 °C

Datos operativos: Este sistema es sensible a la presencia de polvo en la el gas de entrada, no obstante se pueden tolerar una cierta cantidad de polvo en el combustible.

Aplicabilidad: Esta técnica es más efectiva para flujos pequeños o medianos intermitentes, ya que el consumo de fuel durante los periodos de parada es muy bajo.

c. Oxidación Térmica Recuperativa:

Descripción: El principio de funcionamiento de este sistema es el mismo que el explicado en el punto A de este apartado: la destrucción de los compuestos orgánicos volátiles se realiza por oxidación térmica, mediante la cual los COVs se descomponen, al alcanzarse la T^a de combustión de los mismos, en CO₂ y vapor de agua. La diferencia entre el primer método explicado y éste es que mediante el empleo de esta técnica se recuperan gran parte de la energía consumida. El principio de recuperación de energía se basa en el hecho de que la corriente de aire que ha sido purificada y que sólo contiene CO₂ y vapor de agua, posee a la salida de la cámara de combustión una T^a muy elevada que puede ser aprovechada para calentar el aire residual cargado de COVs que va a entrar en dicha cámara de combustión. De esta forma que se consigue reducir de forma muy notable el consumo de combustible auxiliar necesario para elevar la T^a del aire residual entrante hasta su T^a de combustión. La utilización del calor latente contenido en la corriente de aire purificada para calentar el aire residual frío se realiza en un intercambiador de calor que dependiendo del equipo empleado puede estar incorporado o no en el propio incinerador. (Incineradores de oxidación térmica recuperativa)

Beneficios ambientales alcanzados: Se pueden alcanzar eficacias de abatimiento de

COVs de hasta el 99 % o superiores. Además, en comparación con la técnica de la simple oxidación se pueden llegar a recuperar hasta el 50 – 70 % de la energía consumida.

Efectos adversos: Debido a las altas temperaturas de combustión, se producen emisiones de NO_x, CO₂ y CO. Sin embargo, estas emisiones se pueden limitar si se reduce la T^a de combustión hasta situarla en el rango de aproximadamente 800 – 850 °C.

Datos operativos: Esta técnica es muy aplicada en la industria la impresión (utilizando fuel adicional):

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable a plantas nuevas y existentes.

d. Oxidación Térmica Regenerativa

Descripción: Este sistema de oxidación es generalmente un sistema de dos lechos, los cuales están repletos de rellenos cerámicos. Uno de los lechos se emplea para calentar la corriente de gas que va a ser tratada, y el otro es calentado por los humos que ascienden tras la oxidación. La dirección del caudal de gas a través de cada lecho se invierte periódicamente cada 90 – 120 segundos para mantener la eficacia de destrucción, de forma que la energía recuperada y almacenada en el lecho de recuperación de calor calienta después el aire de entrada (es decir, adopta el papel del precalentador). Se invierten, por tanto, los papeles de ambos lechos. Algunos COVs no quemados son emitidos durante este cambio o inversión. Una vez alcanzada la temperatura de funcionamiento, (régimen estacionario de operación) la energía térmica liberada por la incineración de los compuestos orgánicos es suficiente para mantenerlo operativo. Por tanto, no es necesario el empleo de fuel adicional en este sistema, lo cual supone un considerable ahorro.

Beneficios ambientales alcanzados: Se pueden alcanzar eficacias de destrucción del rango de 95 – 99.5%. La concentración de carbono en el gas residual de salida procedente de los COVs que se puede alcanzar es de hasta 20 mgC/Nm³.

Efectos adversos: Este sistema no produce emisiones significativas de CO ni CO₂, debido a que emplea temperaturas de combustión más bajas. Por tanto, se puede considerar en este sentido ventajosa frente a la incineración térmica convencional. Las emisiones de NO_x se pueden reducir empleando temperaturas de combustión menores. La concentración de NO_x en la corriente de salida suele ser típicamente de 70 mg/m³.

Datos operativos: Cuando la concentración de compuestos orgánicos en el gas residual es del orden de 1 – 1.5 g/m³, no se necesita el empleo de combustible adicional. La energía térmica latente en la corriente gaseosa limpia a su salida del sistema de tratamiento es empleada para calentar el gas residual mediante lechos alternativos de intercambio térmico con medio cerámico. Cuando la concentración de compuestos orgánicos en el gas residual es del orden de 4 – 6 g/m³ el calor sobrante en exceso puede ser recuperado y empleado por ejemplo en el proceso de producción. Este sistema es sensible a la presencia de polvo en la el gas de entrada, no obstante se pueden tolerar una cierta cantidad de polvo en el combustible.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable especialmente cuando el flujo o caudal de gas residual es muy elevado. Los incineradores térmicos regenerativos se emplean

comúnmente en la industria Gráfica en los siguientes procesos:

- Plantas de impresión de embalaje por flexografía y huecograbado.
- Plantas de impresión mediante el sistema heat-set offset u offset de bobinas por secado al calor.

Costes económicos: La inversión necesaria y los costes operativos para la puesta en marcha de este sistema de tratamiento de COVs está determinada principalmente por el caudal de gas que necesita ser tratado. La inversión se puede estimar de la siguiente manera: se parte de una inversión mínima de $2 \cdot 10^5$ (doscientos mil) € para una capacidad del sistema de tratamiento de unos $10000 \text{ m}^3/\text{h}$, y se añade 10 – 15 € por cada m^3/h adicional en el que se necesite incrementar la capacidad del sistema de tratamiento. El coste energético del combustible adicional es muy bajo o nulo, por lo que el consumo energético de los ventiladores eléctricos determina principalmente el coste operativo del sistema. Este coste operativo puede estimarse en unos 15000 € anuales para el tratamiento de una cantidad aproximada de unos $10000 \text{ m}^3/\text{h}$. La recuperación y transporte del exceso de calor requiere una inversión adicional. Sin embargo, si se emplea de forma productiva todo el calor recuperado, se consigue un ahorro considerable de consumo energético que puede compensar la inversión realizada en este sentido

e. Oxidación Catalítica

Descripción: La oxidación de los COVs se realiza en presencia de un catalizador (normalmente platino). Gracias a la presencia de este catalizador, la T^a de combustión puede reducirse hasta 250 – 400 °C. También se puede aplicar en este caso una recuperación del calor latente del gas limpio de salida.

Beneficios ambientales alcanzados: Mediante la aplicación de este sistema de abatimiento, se consiguen eficiencias de destrucción situadas entre 95 – 99 %. En la industria de impresión esta eficiencia se puede alcanzar bajo las condiciones siguientes: Caudal entre 1000 y $30000 \text{ m}^3/\text{h}$ y concentración de COVs entre 1 – $2 \text{ g}/\text{Nm}^3$. Comparada con otras técnicas oxidativas, el nivel de NOx que se produce en el proceso de oxidación es bastante más reducido. Se necesita menos combustible auxiliar que en los procesos oxidativos térmicos convencionales. La aplicación de un catalizador en combinación con un sistema de recuperación del calor residual en el gas limpio requiere menos consumo de energía que la aplicación de una oxidación térmica recuperativa. Los niveles de emisión normales de la industria gráfica son 20 – $50 \text{ mgC}/\text{Nm}^3$.

Efectos adversos: Se producen emisiones de CO, CO₂ y NOx. Algo de combustible auxiliar es necesario.

Datos operativos: La presencia de contaminantes que pueden envenenar el catalizador debe comprobarse. Es posible que el catalizador se envenene en presencia de compuestos halogenados. Esta técnica es también muy sensible a la presencia de polvo y gotas en suspensión en el gas de entrada, así como a cambios en la concentración de COVs en el gas residual.

Aplicabilidad: Esta técnica es aplicable en la industria de la impresión

h. Plasma a Baja Temperatura

Descripción: En el gas residual se crea un plasma en condiciones de baja temperatura, mediante la recirculación del gas residual a través de dos electrodos entre los que se ha creado un campo de corriente alterna, de 20 – 30 KV. En el plasma, los vapores de COVs

reaccionan muy deprisa con el oxígeno y dan lugar a la formación de CO_2 y vapor de agua. En el plasma, las moléculas de gas están parcialmente ionizadas. Esta condición es alcanzable bajo temperaturas extremadamente altas, aunque también se puede conseguir a T^a ambiente si se emplea suficiente energía.

Beneficios ambientales alcanzados: Mediante la aplicación de este sistema se alcanzan eficiencias de destrucción entre 97 – 99 %, sin necesidad de calentar el gas residual. La instalación de esta técnica es más compacta comparada con la necesaria para la oxidación térmica, y, además, consume mucha menos energía.

Efectos adversos: El consumo de energía eléctrica es en este caso de 0.5 – 0.3 kWh por cada 1000 m^3 de gas residual tratado.

Datos operativos: Pueden disponerse diferentes modelos de esta técnica. Por ejemplo, se puede rellenar el espacio comprendido entre los dos electrodos con pequeñas bolas de cristal para amplificar el campo eléctrico creado.

Aplicabilidad: Esta técnica ha sido comercializada recientemente para eliminar ciertas emisiones de olores, así como para el tratamiento de gases residuales que contengan COVs. Por el momento esta técnica se usa como sistema piloto y proyecto de demostración para el tratamiento de emisiones de COVs en el secado de madera pintada, aunque se espera que se comercialice para un amplio abanico de procesos. En teoría no existen restricciones en cuanto a la concentración de COVs en el gas residual, aunque esta técnica se ha aplicado a concentraciones relativamente bajas. Pueden tratarse pequeños o grandes caudales.

Costes económicos: Al ser una técnica tan novedosa en su empleo, no existen por el momento datos de los costes económicos de su implementación, sin embargo, si se puede asegurar que es más barata que la oxidación térmica convencional, o la adsorción.

i. Oxidación ultravioleta

Descripción: El aire cargado de disolventes orgánicos es reconducido a una serie de lámparas ultravioletas. Las moléculas de los COVs se fragmentan con las ondas cortas, y se forma ozono con el oxígeno del aire. El ozono reacciona con las moléculas de COVs fragmentadas, lo cual conduce a que se produzca una oxidación parcial. En la unidad siguiente, que contiene un catalizador (normalmente TiO_2), continúa la oxidación, tanto del ozono como de las moléculas de COVs, de forma que el exceso de ozono se elimina.

Beneficios ambientales alcanzados: En un gas residual con una concentración de 0.5 g/Nm^3 , la eficacia de destrucción es del 95 %. La concentración de COVs en el gas tratado puede llegar a ser de alrededor de 25 – 50 mg/Nm^3 .

Efectos adversos: El consumo de energía entre las lámparas de UV y el ventilador eléctrico es en total de aproximadamente 50 KWh por cada 1000 m^3 de gas residual tratado.

Datos operativos: La temperatura del gas residual no debe ser superior a 60 °C, y la humedad relativa debe ser menor del 85 %. Esta técnica fue originalmente desarrollada para reducir malos olores y para la destrucción de algunas sustancias tóxicas. Sin embargo, esta técnica está siendo cada vez más empleada para la completa destrucción de COVs, especialmente en corrientes de gases que posean concentraciones bajas de estos compuestos (alrededor de 0.5 g/Nm^3 , y algunos picos ocasionales de 1 g/Nm^3)

Aplicabilidad: Esta técnica no es muy aplicable en el sector gráfico, aunque en

ocasiones puede ser empleada si la concentración de COVs en el gas residual es reducida, del orden que se ha indicado (0.5 g/Nm^3)

Costes económicos: La oxidación por lámparas UV es una técnica más barata en comparación con la adsorción sobre carbón activo o con cualquiera de las técnicas de oxidaciones térmicas, para gases que contengan una concentración de COVs específica y reducida, para la cual esta técnica pueda ser aplicada.

2.3.2 Técnicas destructivas: Tratamiento Biológico:

Descripción: El aire cargado de disolventes orgánicos es reconducido a través de un sistema de biofiltración (o bio – scrubber) en donde unas bacterias destruyen los compuestos orgánicos por biodegradación. Este sistema requiere generalmente de un pre-tratamiento de humidificación para saturar la corriente gaseosa antes de entrar al biofiltro. Después se reconduce al biofiltro, en donde los contaminantes contenidos en el flujo de aire se trasfieren a una película de agua que recubre el medio biológico activo. Los microorganismos presentes en este medio oxidan los contaminantes generando CO_2 agua y sales comunes.

Beneficios ambientales alcanzados: Se alcanzan niveles de destrucción entre el 75 – 95 %. La eficacia de destrucción depende del tipo de contaminante a tratar, de las concentraciones y de la T^a . La biofiltración es un sistema apropiado cuando las condiciones de concentración y composición son las más homogéneas.

Efectos adversos: Este sistema puede dar lugar a la aparición de malos olores.

Datos operativos: Este sistema fue probado en una planta de Heat-set offset, sin embargo, el resultado no fue muy satisfactorio debido al constante cambio en las concentraciones de los compuestos orgánicos, y a la variación de disolventes orgánicos empleados. La T^a del gas residual no debe exceder los 40°C .

Aplicabilidad: El tratamiento biológico es aplicable para corrientes de aire diluidas, y, por tanto, es muy aplicado para el control de olores. Los biofiltros son especialmente aplicables para el tratamiento de bajos niveles de contaminantes hidrofóbicos, como hidrocarburos y compuestos aromáticos (tolueno, xileno, etc...) también puede aplicarse para el tratamiento de contaminantes que se disuelvan fácilmente en agua, como por ejemplo: éteres, esteroides, cetonas, alcoholes y compuestos que contengan nitrógeno. Esta técnica no es muy aplicable en el sector gráfico, ya que no es eficiente cuando la concentración de disolvente es mayor de 1.5 g/m^3 . Sin embargo, si la concentración de COVs es muy baja, este sistema puede emplearse, aunque no se recomienda para este sector.

Costes económicos: Los costes de inversión están alrededor de los 5000 – 20000 euros, para una capacidad de $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ de gas residual. Los costes operativos varían desde 10 – 20 euros por cada 1000 m^3 de gas tratados.

2.3.3 Técnicas No Destructivas: Condensación: Enfriamiento Indirecto en un Intercambiador de Calor

Descripción: La corriente de gas rica en COVs se enfría y se condensa en un intercambiador de calor empleando como fluido refrigerante agua fría u otro fluido, a temperaturas por encima de los 0°C

Beneficios ambientales alcanzados: Los COVs que son condensados pueden ser

reutilizados. La eficacia de eliminación es mayor para corrientes concentradas, sin embargo, es un proceso por lo general de baja eficacia.

Efectos adversos: Se requiere energía para la condensación. El agua residual necesita ser tratada antes de vaciarla al sistema de saneamiento.

Datos operativos: Este proceso es muy útil en corrientes concentradas con componentes orgánicos poco volátiles (como los empleados en heat-set offset), sin embargo, es mejor emplearlo en combinación con otra técnica de tratamiento.

Aplicabilidad: La técnica de la condensación aplicando temperaturas por encima de los 0 °C es sólo aplicable para compuestos orgánicos de baja volatilidad. Por tanto, esta técnica es muy apropiada para los procesos de impresión en heat-set offset, ya que los disolventes que emplea este proceso de impresión son hidrocarburos de alto peso molecular.

2.3.4 Técnicas No Destructivas: Adsorción por Carbón Activo.

a. Adsorción por carbón activo y posterior recuperación (no en planta productora de COVs)

Descripción: La corriente de gases cargada de COVs es conducida a través de un adsorbedor de carbón activo. Este carbón puede estar contenido en un recipiente que se coloque a la salida de los gases en el respiradero. Una vez esta saturado el lecho, le recipiente que contiene el carbón activo se devuelve al distribuidor para su regeneración. Si se emplea una clase de carbón activo que no puede ser regenerado, el carbón activo debe ser eliminado tras su utilización por incineración.

Beneficios ambientales alcanzados: El carbón que se emplea por primera vez por lo general adsorbe un mayor nº de disolventes que el carbón que ha sido regenerado. Sin embargo, la eficacia de destrucción de COVs para ambos tipos de carbón es la misma, del orden del 99 %. Se alcanzan concentraciones de < 20 mg/m³.

Efectos adversos: La cantidad total de materia que es incinerada es muy grande, debido a que no solamente el disolvente, sino también el carbón es incinerado. Consecuentemente, se consume más cantidad de carbón activo. La regeneración del carbón activo fuera de la planta productora de los compuestos contaminantes requiere que esta clase de carbón sea suficientemente consistente como para poder ser transportado sin que sufra deterioro.

Datos operativos: Cuando el gas residual contiene diferentes tipos de disolventes, la recuperación de los mismos tras ser adsorbidos en el carbón activo es un proceso complicado. La regeneración en este caso se realiza por compañías especializadas. El sistema es sensible a la presencia de gránulos de polvo en el gas, porque pueden dar lugar a obstrucción del lecho de carbón activo. Solo pueden ser adsorbidas y desorbidas pequeñas moléculas. Los contenedores de carbón activo son especialmente apropiados para pequeños flujos poco concentrados. Se emplean generalmente para eliminar olores. Para flujos muy cargados o concentrados, se requieren frecuentes cambios de cartucho. La adsorción no es nunca aplicable para compuestos reactivos como aldehídos y cetonas, porque pueden polimerizar en el carbón activo, dando lugar a un sobrecalentamiento. Estos polímeros no pueden ser desorbidos posteriormente, por lo

que la técnica de adsorción no es aplicable para compuestos como el MEK (Metil – Etil – Cetona) y similares. Tampoco es aplicable a gases con un alto contenido en humedad, ya que el vapor residual también ejercerá adsorción sobre el carbón activo, reduciendo la capacidad de adsorción disponible del carbón activo. Para evitar este problema se pueden emplear zeolitas hidrofóbicas en lugar de carbón activo, aunque este material es más caro que el carbón activo.

Aplicabilidad: Esta adsorción sobre carbón activo es especialmente aplicable para plantas que empleen varios tipos diferentes de disolventes, empleando para cada tipo de disolvente un contenedor de carbón activo diferente, para que la regeneración sea más sencilla.

Costes económicos: La oxidación del gas residual en la propia planta resulta una técnica de eliminación de COVs más barata que el empleo de carbón activo con regeneración posterior fuera de la planta, o que la incineración del carbón activo contaminado no regenerable. Sin embargo, esta técnica resulta muy apropiada para pequeños flujos poco cargados, resultando una técnica muy económica y de bajo coste de inversión y operación.

b. Adsorción por carbón activo y posterior recuperación en la misma planta

Descripción: Los COVs contenidos en la corriente de gas residual se hacen pasar por un lecho de carbón activo, sobre el cual quedan adsorbidos las moléculas de estos COVs. En este caso se trata de un **sistema de doble lecho**: en el primer lecho se realiza la adsorción de los vapores de disolventes orgánicos, y en el otro se produce la regeneración de los mismos. El sistema se invierte periódicamente para permitir la regeneración de los dos lechos. La desorción se suele realizar mediante vapor caliente (nitrógeno, aire, vapor de agua), pero puede realizarse también mediante vacío (se ejerce una presión de vacío para desorber los disolventes orgánicos) La adsorción puede ser aplicada como un pre-tratamiento para alcanzar una corriente más concentrada que pueda ser por ejemplo subsecuentemente incinerada de forma más económica. El diseño de tambor rotatorio está especialmente indicado para este caso. La adsorción se realiza por una de las caras, y la desorción por la opuesta. Los tambores rotatorios de adsorción están diseñados para caudales elevados.

Beneficios ambientales alcanzados: Se pueden alcanzar eficiencias de destrucción de un 99 %.

Efectos adversos: En los procesos de desorción en los que se emplee vapor de agua para recuperar el disolvente adsorbido, se genera agua residual. El vapor condensado contiene trazas de disolventes, que pueden ser extraídos mediante una destilación. El agua empleada puede verterse tras ser tratada.

Datos operativos: En procesos donde se aplican mezclas de disolventes, como por ejemplo en la impresión de embalaje por flexografía y huecograbado, la adsorción y posterior recuperación de los disolventes es más complicada. Para separar la mezcla de disolventes del vapor de desorción se emplea una destilación multicomponente. Este sistema es sensible a la presencia de gránulos de polvo en la corriente de gases, ya que este polvo puede dar lugar a obstrucción del lecho de carbón activo. La adsorción no es nunca aplicable para compuestos reactivos como aldehídos y cetonas, porque pueden

polimerizar en el carbón activo, dando lugar a un sobrecalentamiento. Estos polímeros no pueden ser desorbidos posteriormente, por lo que la técnica de adsorción no es aplicable para compuestos como el MEK (Metil – Etil – Cetona) y similares. Tampoco es aplicable a gases con un alto contenido en humedad, ya que el vapor residual también ejercerá adsorción sobre el carbón activo, reduciendo la capacidad de adsorción disponible del carbón activo. Para evitar este problema se pueden emplear zeolitas hidrofóbicas en lugar de carbón activo, aunque este material es más caro que el carbón activo.

Aplicabilidad: Esta adsorción sobre carbón activo es especialmente aplicable **para concentraciones de aproximadamente 4 g/m³ de COVs** que han de ser eliminados de la corriente de gas residual. Sin embargo, también puede aplicarse para **concentraciones de 10 ó hasta 12 g/m³**. En general, es aplicable a corrientes que estén poco o moderadamente concentradas. Sólo las pequeñas moléculas pueden ser adsorbidas por el lecho de carbón activo. Esta técnica es aplicable, aunque no es de uso común, en plantas de impresión de embalaje por flexografía o huecogrado, y en menor medida en plantas de impresión heat-set (aunque para estas últimas no es recomendable debido a la variación en los disolventes empleados)

Costes económicos: Para el caso de la impresión de embalaje por flexografía y huecogrado, así como para la impresión en heat-set offset, esta técnica es más cara que cualquier sistema de eliminación de COVs por oxidación térmica. La inversión para la recuperación de los disolventes puede ser del orden de 0.5 a 1 millón más que estos sistemas de tratamientos térmicos. Los costes operativos están entre los 0.15 y los 0.25 € por Kg de disolvente recuperado. Cuando el consumo de disolvente es menor de 500 toneladas anuales, no se recomienda el empleo de esta técnica, por que no se compensa el gasto de inversión realizado.

c. Separación mediante “Air-Stripping” de los disolventes orgánicos del vapor empleado para la regeneración del lecho de carbón activo.

Descripción: El vapor que es empleado para la regeneración del lecho de carbón activo (es decir, para la operación de desorción), contiene compuestos orgánicos que deben ser eliminados. Para eliminar dichos compuestos, este vapor condensado se recircula a una columna de separación mediante burbujas de aire o “air stripping”. El aire cargado de disolventes orgánicos que resulta de esta operación se puede recircular de nuevo al lecho de adsorción, aunque también puede dirigirse a un sistema de oxidación fotocatalítica en donde se purifica este aire cargado de COVs.

Beneficios ambientales alcanzados: Se pueden recuperar gran parte de los disolventes empleados. La corriente de vapor condensada puede tener concentraciones de COVs desde 1 a 10 g/m³.

Efectos adversos: El disolvente contaminante se transmite del agua residual al aire del stripper. Es, por tanto, muy importante que este aire contaminado se recircule de nuevo al adsorbedor para poder alcanzar una reducción de emisiones integrada y total.

Aplicabilidad: Este sistema es aplicable en todos los casos.

Costes económicos: Los costes de Inversión están alrededor de los 100.000 – 200.000 euros.