



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

01177  
5  
2e1

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
Facultad de Ingenieria

EVALUACION DE LAS EMISIONES Y TECNICAS DE CONTROL  
DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES GENERADOS  
EN LA IMPRESION DE ENVOLTURAS PLASTICAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRIA EN INGENIERIA  
( AMBIENTAL )

P R E S E N T A

MARIA DEL CARMEN CRUZ ROSAS

259201

CIUDAD UNIVERBITARIA, MEXICO, D. F.

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES Y TÉCNICAS DE CONTROL DE COMPUESTOS  
ORGÁNICOS VOLÁTILES GENERADOS EN LA IMPRESIÓN DE ENVOLTURAS  
PLÁSTICAS**

**JURADO**

**PRESIDENTE:** M EN C. VICENTE FUENTES GEA

**VOCAL:** DRA. RINA GUADALUPE AGUIRRE SALDIVAR

**SECRETARIO:** M EN I. ANN GODELIEVE WELLENS PURNAL

**SUPLENTE:** M EN I. ANA ELISA SILVA MARTINEZ

**SUPLENTE:** M EN I. RODOLFO SOSA ECHEVERRIA

**A Dios, a quien le debo todo**

**A mis padres  
Porque de ellos he recibido siempre  
amor y apoyo, con gratitud**

**A mi esposo Horacio  
Que me ha alentado para lograr  
este sueño**

**A mis hermanos  
Por compartir la alegría de  
alcanzar una meta**

**A la Dra. Rina Aguirre  
Por su valiosa ayuda para la  
la realización del presente trabajo**

**A los miembros del jurado  
Por su tiempo dedicado a la  
revisión de este trabajo**

**A quienes de una u otra forma  
cooperaron en este trabajo  
Ma. de los Angeles Barba y Gerardo Osorio**

# EVALUACION DE LAS EMISIONES Y TÉCNICAS DE CONTROL DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLÁTILES GENERADOS EN LA IMPRESIÓN DE ENVOLTURAS PLASTICAS

## INDICE

<b>Introducción</b>	iv
<b>Objetivo</b>	v
<b>Capítulo 1 Auditorías ambientales</b>	
1.1 Definición	1
1.2 Tipos de auditorías ambientales	2
1.3 Beneficios de la auditoría	3
1.4 Fases de la auditoría	3
1.4.1 Fase de pre-auditoría	4
1.4.2 Fase de auditoría (trabajo de campo o actividades en el sitio)	6
1.4.3 Fase post-auditoría	7
1.5 Fundamento legal	9
1.6 Marco de aplicación	10
1.5.1 Internacional	10
1.5.2 Nacional	11
1.7 Requisitos para la realización de una auditoría ambiental	12
<b>Capítulo 2 Auditoría ambiental en materia de contaminación atmosférica a una instalación de envolturas plásticas</b>	
2.1 Proceso productivo	15
2.1.1 Materias primas	18
2.1.2 Productos	20
2.2 Resultados en materia de contaminación a la atmósfera	21
2.2.1 Emisiones de solventes	22
2.2.2 Emisiones de gases de combustión	29
2.3 Dictamen en materia de contaminación al aire	31
2.3.1 Deficiencias por la emisión de compuestos orgánicos volátiles	31
2.3.2 Deficiencias en equipos de combustión	32
<b>Capítulo 3 Compuestos orgánicos volátiles, evaluación y tecnologías de control</b>	
3.1 Definiciones	34
3.2 Normatividad	34
3.2.1 En México	35
3.2.2 En Estados Unidos	38

3.3 Métodos de medición de compuestos orgánicos volátiles	40
3.4 Tecnologías disponibles para el control de compuestos orgánicos volátiles	41
3.4.1 Adsorción	42
3.4.2 Absorción	44
3.4.3 Incineración	44
3.4.4 Filtración biológica	49
3.4.5 Condensación	50
3.4.6 Oxidación avanzada en fase vapor	50
<b>Capítulo 4 Selección y diseño del equipo de control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles</b>	
4.1 Selección del tipo de control de emisiones de COV's	53
4.2. Diseño básico del incinerador térmico para el control de emisiones de COV's	54
4.2.1 Balance de masa y energía	58
4.2.2 Dimensionamiento del equipo	60
4.2.3 Costos de inversión	61
4.3. Características del incinerador catalítico para el control de emisiones de COV's	62
4.3.1 Costos de inversión	64
4.4 Características del equipo seleccionado	65
<b>Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones</b>	68
<b>Bibliografía</b>	69
<b>Apéndice I</b> Lista de verificación aplicada al caso de estudio	
<b>Apéndice II</b> Datos de entalpía y densidad del aire	

## Indice de Figuras

1.1	Proceso de auditoría ambiental	13
2.1	Diagrama de bloques del proceso productivo	16
2.2	Emisiones a la atmósfera de tintas, fotopolímeros, galvanoplastia, flexograbado y rotograbado	22
2.3	Emisiones a la atmósfera de laminación y borseadora	23
2.4	Emisiones a la atmósfera de lavado de equipo y recuperación de solvente	23
2.5	Localización de las emisiones fugitivas de compuestos orgánicos volátiles	25
3.1	Fenómeno de adsorción	42
3.2	Sistema de lechos fijos de carbón para control de COV'S	43
3.3	Dos arreglos de incineradores catalíticos	48
3.4	Biofiltro	49
3.5	Oxidación avanzada en fase vapor	51
4.1	Diagrama esquemático de un incinerador térmico	56

## Indice de Tablas

2.1	Materias primas para arte y fotografía	19
2.2	Materias primas para elaboración de tintas	19
2.3	Materias primas rotograbado y flexografía	19
2.4	Materias primas para laminación	20
2.5	Producción total	20
2.6	Puntos de emisiones fugitivas	24
2.7	Emisiones conducidas	26
2.8	Resultados de mediciones de COV's	27
2.9	Cantidad de solventes (en litros) empleados en impresión	27
2.10	Cantidad de tintas con solventes (en kg de mezcla pigmento - solvente)	28
2.11	Cantidad de solvente empleado (% en peso) de acuerdo al tipo de tinta	28
2.12	Cantidad de solvente (en kg) empleado de acuerdo al tipo de tintas	28
2.13	Total de solventes emitidos (Tabla 2.9 + Tabla 2.12) en kg	29
2.14	Resultados del muestreo isocinético y de gases caldera 200 C.C.	30
3.1	Normas de calidad de aire	35
3.2	Lista de Guías Técnicas para Control por fuentes estacionarias	39
3.3	Temperaturas de operación para incineradores catalíticos	46
3.4	Comparación de las tecnologías de control de compuestos orgánicos volátiles	52
4.1	Características de inflamabilidad de los contaminantes presentes en la corriente de aire	55
4.2	Datos de los contaminantes a eliminar de la corriente	59
4.3	Costo de incineradores térmicos	62
4.4	Cantidad de catalizador utilizado en incineradores catalíticos	63
4.5	Costo de Incineradores catalíticos	64
4.6	Valores comparativos de operación e inversión	66

## Introducción

El presente trabajo analiza la contaminación a la atmósfera generada por una empresa de elaboración de envolturas plásticas, que se incluye en el giro industrial artes gráficas por los procesos de impresión de flexografía y rotograbado que realiza. Se utilizan los resultados obtenidos mediante una auditoría ambiental, realizada de octubre a diciembre de 1995, en la cual la sustentante participó como auditor líder, coordinando el trabajo del equipo auditor. Se plantean soluciones técnicas a las deficiencias detectadas en materia de contaminación atmosférica. La información que se utiliza para el desarrollo del trabajo es la estrictamente necesaria por el compromiso de confidencialidad firmado durante la auditoría.

En la *auditoría ambiental*, se evalúan tanto el grado de cumplimiento legal de la empresa con respecto a la normatividad aplicable, como los medios de que dispone la misma para el control de la contaminación, incluyendo recursos humanos y materiales.

En este trabajo se describe la parte de auditoría relacionada con los problemas de contaminación al aire, si bien la auditoría verificó además de estos aspectos lo relativo a riesgo ambiental, seguridad e higiene industrial, contaminación al agua y al suelo así como el manejo de residuos sólidos no peligrosos y residuos peligrosos.

El proceso de elaboración de envolturas plásticas que aquí se analiza, plantea la problemática de contaminación al aire, por la evaporación de los solventes (compuestos orgánicos volátiles) usados para imprimir la película plástica. Esta es una actividad común en México, ya que actualmente un gran número de productos de consumo se distribuyen empacados en película plástica impresa, como es el caso del pan de caja, golosinas, frituras, etc.

La importancia de los compuestos orgánicos volátiles (COV's) se debe a que participan en las reacciones fotoquímicas que se suceden en la atmósfera y que dan origen al ozono. En estas reacciones complejas intervienen, además de los compuestos orgánicos volátiles los óxidos de nitrógeno, por lo que las estrategias para el control del ozono deben basarse en el control de sus precursores. Por otra parte, algunos de los COV's son tóxicos.

La situación en las principales zonas urbanas del país en relación a la problemática originada por el ozono, según el Primer Informe Sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas, (INE, 1997) es la siguiente, en 1996, en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se excedió la norma de ozono 327 días, en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), se excedió 212 días, en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) la norma no se cumplió en 25 días y en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) en 53 días. Esto indica que el ozono es uno de los contaminantes principales que exceden las normas de calidad de aire en diferentes regiones del país.

Existe una gran variedad de fuentes de emisión de compuestos orgánicos volátiles tanto fijas como móviles, que comprenden tanto las operaciones de transporte, procesos industriales, operaciones de recubrimiento de superficies, utilización de solventes como desengrasantes, limpieza en seco, etc. (EPA, 1992).

Las fuentes fijas de emisión de estos compuestos se han clasificado según la EPA (EPA, 1992) en los siguientes grupos:

- Almacenamiento, transporte y comercialización de COV's
- Procesos industriales
- Recubrimientos de superficie industriales
- Recubrimientos de superficie no industriales
- Otros usos de solventes
- Otras fuentes varias
- Vehículos

De acuerdo con los datos de inventario de los Estados Unidos de 1981 se ha calculado que en ese año los procesos industriales emitieron 9.770 gigagramos de compuestos orgánicos volátiles.

La principal fuente de emisión de este tipo de contaminantes fueron los procesos de recubrimiento de superficie (18.4%), el almacenamiento y transferencia de derivados de petróleo (14.9%), otros usos de solventes orgánicos (14.9), las refinerías de petróleo (9.7%) y las instalaciones de producción de productos químicos orgánicos (7.8%). Las artes gráficas representaron un 2.6% del total de emisiones (EPA, 1992).

Por otra parte en México, el Primer Informe sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas, 1996 (INE, 1997) describe y analiza las tendencias de calidad del aire en las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Toluca y Ciudad Juárez además de incorporar los inventarios de emisiones de estas áreas metropolitanas.

En este primer informe, se reportan para la ZMVM, una emisión de 8,787.80 ton/año de hidrocarburos generada por las artes gráficas, lo que corresponde a un 0.89 % de las emisiones totales, mientras que para la ZMG el valor reportado es de 1,311.59 ton/año (0.91%), en la ZMM 1,026 ton/año (0.82%) y por último, para Toluca (ZMVT) 587 ton/año (1.24%).

Del total de las emisiones de hidrocarburos, las fuentes móviles en estas zonas metropolitanas contribuyeron en un rango entre un 56 % hasta un 66%.

En relación al marco normativo, en México sólo se ha abordado la problemática originada por las estaciones de servicio (gasolineras) y por los separadores de aceite-agua de las refinerías de petróleo, estando aún pendientes todas las demás fuentes de emisión de compuestos orgánicos volátiles.

En este trabajo se muestra que la emisión de compuestos orgánicos volátiles provenientes de una instalación que realiza actividades de impresión de película plástica por flexografía es significativa y se selecciona y diseña el equipo de control de este tipo de emisiones.

## **Objetivo**

El objetivo de este trabajo es:

- Seleccionar y diseñar el equipo de control para las emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de una instalación con actividad de arte gráfica a partir de los resultados obtenidos de una auditoría ambiental.

Para el cumplimiento de este objetivo se considera pertinente cumplir con las siguientes metas:

- Revisar los conceptos generales y procedimiento de las auditorías ambientales que se realizan en México.
- Aplicar la metodología de una auditoría ambiental para identificar la problemática de contaminación a la atmósfera generada por una instalación de impresión de envolturas plásticas.
- Estimar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de los procesos de rotograbado y flexografía que realiza la instalación.
- Revisar los conceptos sobre compuestos orgánicos volátiles, normatividad nacional e internacional, métodos de medición.
- Revisar las tecnologías actualmente disponibles para el control de esta contaminación y diseñar el equipo de control económicamente más viable.

El primer capítulo de este trabajo comprende una breve revisión bibliográfica de los conceptos generales de la auditoría ambiental y el capítulo dos muestra los resultados obtenidos en relación con la contaminación al aire después de la aplicación de la metodología a una instalación cuya actividad es la elaboración de envolturas plásticas.

En el capítulo tres se realiza una revisión de las características principales de los compuestos orgánicos volátiles, técnicas de medición y tecnologías de control disponibles.

Mientras que en el capítulo cuatro se selecciona y dimensiona el equipo de control más adecuado. Finalmente, las conclusiones del trabajo sobre el equipo de control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles de la impresión por flexografía como último capítulo.

# Capítulo 1

## AUDITORIAS AMBIENTALES

---

La auditoría ambiental desde el punto de vista metodológico persigue en primera instancia la determinación del grado de cumplimiento en materia de legislación ambiental de una instalación. El verificar el cumplimiento de esta legislación es de gran importancia ya que su incumplimiento puede provocar desde notificaciones, revocaciones de permisos y multas, hasta la clausura parcial o total de la empresa (Lindgren, 1989).

Un segundo objetivo, de gran importancia, es la determinación de los riesgos ambientales sobre los trabajadores y la comunidad, debidos a los procesos productivos y operación de las instalaciones. Esto incluye la evaluación de la contaminación durante la operación normal de la planta así como la posible liberación incontrolada de sustancias tóxicas, un incendio o explosión.

Otra finalidad de una auditoría es servir como herramienta de gestión para la organización de la propia industria: revisión de la estructura organizacional, capacitación del personal; y la elaboración de planes de contingencia, programas de mejoramiento y mantenimiento industrial (Lindgren, 1989).

### 1.1 DEFINICIÓN

El término auditoría como lo señala la norma mexicana NOM-CC-7-1990 (D.O.F., 1991) significa una "verificación metódica e independiente que permite conocer por medio de evidencias objetivas si las actividades y resultados satisfacen las disposiciones y requisitos preestablecidos y si éstos están implantados de manera eficaz y adecuada para alcanzar los objetivos".

La aplicación de estos principios de auditoría se ha dado a diversas áreas tales como la contable, financiera, seguridad y calidad, dando origen a diversos tipos de auditorías que tienen en común la metodología aplicada, la contrastación contra estándares y la documentación de lo observado.

Siguiendo esta filosofía, se ha definido la llamada *auditoría ambiental*, diseñada con el fin de prevenir y/o disminuir la contaminación generada por los procesos productivos. Las siguientes definiciones muestran los diferentes enfoques que se han dado a esta herramienta:

"La auditoría ambiental es una revisión sistemática, documentada, periódica y objetiva de las operaciones de una instalación y prácticas relacionadas para asegurar el cumplimiento de los requerimientos ambientales." (EPA, 1986).

"La auditoría es un método de verificar que las regulaciones, políticas de la compañía y buenas prácticas de operación se cumplen durante el funcionamiento de las instalaciones productivas." (ANIQ, 1993)

"La auditoría ambiental es un medio para medir el desempeño de los programas ambientales de una instalación, contra estándares u objetivos." (Lindgren, 1989).

"Una auditoría ambiental es un examen cuidadoso de los registros de operación de una compañía o instalación y prácticas ambientales para obtener información acerca del cumplimiento de los requerimientos legales ambientales, tanto federales, estatales como locales." (Rusel, 1992).

"La auditoría ambiental es una evaluación objetiva de los elementos de un sistema que determina si son adecuados y efectivos para proteger el ambiente." (PROFEPA, 1994).

"La auditoría medioambiental es un instrumento de gestión que comprende una evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva del funcionamiento de la organización, del sistema de gestión y el equipo destinados a la protección del medio ambiente." (DOCE, 1992).

De estas definiciones se concluye que la auditoría ambiental debe ser una revisión sistemática para evaluar el grado de cumplimiento en materia ambiental.

Para lograr este objetivo se debe: tener acceso a registros y documentos de la instalación, realizar pruebas de verificación, muestreo y análisis durante el funcionamiento de la planta, y comparar los resultados contra los estándares correspondientes.

## 1.2 TIPOS DE AUDITORIAS AMBIENTALES

Una forma de clasificar las auditorías ambientales es a partir de su *alcance*. El *alcance* debe estar claramente definido; una *auditoría integral* debe comprender el total de los aspectos ambientales (contaminación del agua, aire, suelo, ruido, riesgo ambiental, manejo de sustancias peligrosas, higiene, seguridad y respuesta a emergencias ambientales), y en una *auditoría sectorial* solo uno o algunos de estos aspectos son considerados.

Al establecer el *alcance* de la auditoría se deben definir aspectos como: las instalaciones que se van a revisar, por ejemplo, proceso productivo, almacenes o áreas de servicio; si se verificarán únicamente documentos o se realizarán pruebas y muestreos en la instalación. Es importante que estos aspectos se especifiquen claramente ya que el proceso de auditoría involucra recursos económicos y humanos que deben ser dirigidos hacia objetivos claros, de otra forma es posible que no se obtengan los beneficios esperados.

Otros criterios para clasificar las auditorías son con base en el personal que la realiza y el motivo por el cual se efectúa.

De acuerdo con el personal que conduce la auditoría estas pueden ser: *internas*, realizadas por un grupo de empleados de la propia empresa o *externas*, cuando se realizan por una compañía contratada por la empresa o bien por la autoridad competente.

Cuando las auditorías se realizan previo a la compra de una instalación se denominan de *adquisición*, si se efectúan al terminar sus actividades productivas se habla de auditorías de *clausura*. Pueden también realizarse dentro de un ciclo de administración al implantar un

nuevo programa empresarial, para monitorear su grado de cumplimiento y en tal caso denominan *auditorías de cumplimiento* (Romero, 1991).

En México, se realizan auditorías *voluntarias*, en las cuales la administración empresarial decide efectuar la auditoría a sus instalaciones sin haber sido obligada a ello por ninguna autoridad, situación similar a lo establecido en la Comunidad Económica Europea. También se realizan auditorías *obligatorias*, en las cuales la autoridad establece a la industria el plazo para la realización de la misma y para la presentación de un plan de acción.

Es de esperar, que cuando una auditoría se realiza en forma *voluntaria* la industria obtenga mayores beneficios ya que el compromiso para realizar las acciones para el mejoramiento ambiental lo promueve la propia empresa.

### **1.3 BENEFICIOS DE LA AUDITORIA**

El beneficio más significativo de la auditoría ambiental para la industria es tanto el aumento de la efectividad de la gestión ambiental, como el aumento de la seguridad debida al cumplimiento de la legislación (Greeno et al, 1987).

En términos generales, la implantación de un programa de auditoría ambiental en una instalación deberá lograr lo siguiente (Romero, 1991):

- Aumento de la credibilidad externa, ya que una instalación auditada, demuestra a la comunidad, y a la autoridad, su voluntad para lograr el cumplimiento con la normatividad ambiental. Es decir, su deseo por disminuir el riesgo y la contaminación.
- Establecimiento de los criterios prioritarios para el control de la contaminación. No obstante que siempre existen puntos de mejora, se deben identificar aquellos que debido al riesgo asociado requieren de acción inmediata.
- Optimización del presupuesto dirigido a la solución de problemas ambientales. Las inversiones deben dirigirse a problemas prioritarios.
- Asegurar a los directivos que las medidas de control adoptadas son las adecuadas, estableciendo la confianza en las buenas prácticas de manufactura.
- Proporcionar seguridad a todos los miembros de la empresa sobre el cumplimiento de los requerimientos legales.
- Prevenir consecuencias graves al ambiente en caso de accidentes mayores, y facilitar la toma de decisiones sobre medidas de mitigación y descontaminación.
- Capacitación de personal. El personal de la industria que apoya la auditoría, recibe retroalimentación de especialistas y logra conocer mejor los aspectos de gestión ambiental que deben tenerse en cuenta durante la práctica diaria de su actividad.

### **1.4 FASES DE LA AUDITORIA**

Como la propia definición de la auditoría lo señala, la revisión se debe realizar siguiendo un método. Las fases en el desarrollo de la auditoría son pre-auditoría, auditoría y post-auditoría, que incluyen: la planeación, el desarrollo en campo y el reporte y seguimiento respectivamente.

La planeación o etapa de *pre-auditoría*, consiste en una visita preliminar, la respuesta a un cuestionario y la elaboración del plan de auditoría; es indispensable para optimizar el tiempo y asegurar que todos los aspectos sean revisados. El desarrollo en campo o *auditoría* propiamente dicha, comprende las entrevistas, toma de muestras y análisis, así como recorridos de inspección. Durante la fase *post-auditoría* se elabora el informe de auditoría y el plan de seguimiento de las acciones recomendadas para el mejoramiento ambiental de la empresa, también llamado programa de protección ambiental.

#### 1.4.1 Fase de pre- auditoría

El éxito de una auditoría ambiental depende en gran medida de una buena planeación de las actividades a realizar. Para realizar ésta planeación además de la visita preliminar y la revisión de información proporcionada por la empresa es importante analizar las respuestas al cuestionario conocido como de pre-visita.

Por tanto el cuestionario pre-visita debe estar diseñado para que el equipo auditor se familiarice con las instalaciones y sus procesos antes de realizar la evaluación en sitio. Esto permitirá que la auditoría se realice en menor tiempo. Además de un buen diseño del cuestionario es importante que sea llenado de manera precisa por los responsables de la instalación para evitar modificaciones al plan de auditoría y reducir el tiempo que dedican los empleados de la empresa para apoyar al auditor.

El contenido del cuestionario pre-visita varía dependiendo de los objetivos y alcances de la auditoría, pudiendo ser simplemente una lista de los documentos que deberán ser presentados al equipo auditor o datos de la instalación como: planos, datos analíticos, diagramas de flujo, bitácoras de operación, etc. También se puede incluir una serie de preguntas en relación a la estructura organizacional, equipos de control con que se cuenta, responsables de áreas, etc. (Greeno et al, 1987).

Adicionalmente, es útil solicitar por anticipado, cuando existan, los siguientes documentos:

- copia de todos los permisos ambientales, bien sea municipales, estatales o federales, así como planes de emergencia
- copia de las inspecciones y correspondencia que se haya mantenido con las autoridades en materia ambiental
- diagrama esquemático de la instalación (lay-out), mostrando límites, colindancias, edificios, equipo, áreas de almacenamiento, planos de drenaje, etc.
- organigrama, incluyendo nombres y responsabilidades.

Con base en esta información se diseña la *auditoría*: se selecciona el equipo auditor; se asignan responsabilidades; se establece la duración, costo y calendario de los trabajos a realizar; se elaboran los formatos para recabar información durante los trabajos de campo (check-lists); y se diseñan las campañas de muestreo y análisis.

#### Equipo auditor

La selección del equipo auditor apropiado es uno de los pasos críticos durante el proceso de pre-auditoría. El número de auditores dependerá en gran medida del tamaño de la instalación

a auditar y de la complejidad de los procesos, es recomendable que no sea mayor de cinco miembros (uno por cada medio a analizar: agua, aire, residuos sólidos, residuos peligrosos, riesgo). Se puede aceptar que el equipo auditor sea menor, mínimo formado por dos personas, para no depender de un criterio único.

En el grupo auditor debe existir un *líder* o jefe auditor, cuya función es coordinar las actividades de la auditoría. El jefe auditor debe tener experiencia en actividades de auditoría, sus planteamientos deben ser *objetivos* (no influenciado emocionalmente), que posea facilidad para darse a entender y para formular preguntas, capacidad para rastrear información y espíritu investigador (Newton, 1989).

Debido a la gran variedad de procesos productivos, es recomendable que el equipo auditor tenga apoyo de un especialista en el giro que se esté auditando. La auditoría es una actividad que se realiza en equipo y que se enriquece con los puntos de vista de cada uno de los auditores por lo tanto, éstos deben ser personas críticas que puedan tomar decisiones en el transcurso de la auditoría y seleccionar puntos que deban revisarse más profundamente (Roig, 1992).

Dentro del equipo auditor puede participar como apoyo, personal de la empresa, cuidando que este personal no forme parte directa de las operaciones que van a ser auditadas.

### Duración y costo

La duración y costo de la auditoría dependerá del tamaño y complejidad de la instalación a auditar, puede comprender desde un día de visita y el salario de un par de auditores para el caso de un almacén pequeño, hasta varias semanas para una instalación química compleja en la que el costo será considerablemente más elevado (Lindgren, 1989).

### Formatos de inspección

Los formatos que se emplean en la auditoría para recabar información, deben prepararse con anterioridad. Estos formatos, también llamados *protocolo de auditoría*, sirven como guía a los auditores para realizar las visitas de inspección durante la auditoría. Su utilidad estriba en que se asegura la consistencia de la información recabada y se registran los pormenores de la inspección.

Los formatos más usados son las *listas de chequeo* o *procedimientos a aplicar* (checklists), en apego a los *Términos de Referencia*, bibliografía y experiencia (PROFEPA, 1994, Librizzi, 1990), estos deben incluir al menos:

- una lista de verificación
- documentos mínimos a revisar en el sitio
- aspectos a revisar durante los recorridos

En México deben considerarse las leyes y reglamentos federales, las de carácter estatal o las municipales, según su ámbito de aplicación, así como las normas oficiales mexicanas cuando éstas existan. En Estados Unidos se publican listas de chequeo elaboradas especialmente para auditorías (Bowman, 1988).

El resultado de la *pre-auditoría* se plasma en el documento conocido como *Plan de Auditoría*, que además incluye los alcances establecidos para la auditoría, así como los equipos necesarios para su realización.

#### **1.4.2 Fase de auditoría (trabajo de campo o actividades en el sitio)**

El corazón de una auditoría es el trabajo en campo, ya que es donde se recopilará la mayor cantidad de información sobre las condiciones de operación, política y procedimientos internos, riesgos potenciales a los trabajadores y afectación al ambiente.

Al inicio de la auditoría, se debe realizar una reunión con el personal que la atenderá, para informar de los objetivos que se persiguen, presentar el equipo auditor, resaltar la confidencialidad con que se manejará la información y solicitar la completa colaboración del personal de la instalación.

Las herramientas a utilizar en esta fase incluyen:

- La revisión a detalle de los permisos, registros y otros documentos
- La observación directa de los procesos productivos
- La entrevista con el personal involucrado
- La aplicación de los checklists
- La revisión de análisis químicos existentes
- La toma de muestras y análisis para verificación

Toda la información obtenida durante la inspección a la instalación deberá documentarse en una bitácora. Además se pueden elaborar notas de campo que junto con la bitácora podrán ser usadas por otros miembros del equipo auditor, y servirán como soporte a las conclusiones del estudio. En las notas se puede asentar los diagramas de flujo, la descripción narrativa de lo observado, ejemplos de lo que se quiere señalar, etc. Para que las notas sean útiles deben ser legibles y ordenadas (Roig, 1991).

Durante esta fase se entrevista al personal de planta y para mejores resultados es recomendable que se busque un clima de confianza y el momento oportuno. El auditor debe tener la habilidad para ser claro en sus preguntas y para obtener información útil que le permita aclarar ambigüedades o contradicciones existentes, por lo que debe ser concreto y específico en las preguntas y respetar al entrevistado. En ocasiones lo expresado en una entrevista conduce al auditor a la necesidad de entrevistar a otra persona que puede ser del mismo o de otro departamento. La entrevista puede conducirse con la ayuda de un cuestionario. El auditor debe tomar en cuenta durante las entrevistas, el nivel de conocimientos de la persona que está siendo entrevistada y la lógica de las respuestas. Además se debe verificar por otros medios que la información que se ha proporcionado sea correcta (Greeno et al, 1987).

Durante el desarrollo en campo se realizan también recorridos a todas las áreas a auditar, donde se observa, escucha y hasta "huele" la operación de los procesos y las condiciones de las áreas de trabajo y del equipo y maquinaria. En esta actividad de observación es donde, por regla general, se obtiene el mayor cúmulo de información. Es muy importante que se realicen varios recorridos, pues es probable que las condiciones de operación cambien de un momento

a otro. Durante los recorridos por la instalación es recomendable el uso de la fotografía para apoyar las conclusiones del estudio.

En el trabajo de campo se incluyen la toma de muestras y análisis. Los sitios de muestreo y los parámetros son establecidos en el Plan de Auditoría y deberán ser representativos de la población universal. Debido a que los resultados de estos muestreos apoyarán las conclusiones y recomendaciones derivadas de la auditoría, deben ser realizados por personal especializado miembro de un laboratorio certificado. Esto significa que se realicen bajo normas mexicanas o métodos reconocidos a nivel internacional. Las muestras pueden ser seleccionadas a juicio del auditor o de manera sistemática. Se puede diseñar la campaña de muestreo con base en el criterio del equipo auditor cuando el tamaño de la población hace no razonable el muestreo sistemático. Los criterios para el muestreo sistemático que se utilizan más frecuentemente son los siguientes: muestreo en bloques, muestreo aleatorio o muestreo estratificado (Greeno et al, 1987).

Durante los trabajos en el sitio se revisan los archivos de registros ambientales de la instalación. Estos registros incluyen bitácoras, controles internos, resultados de muestreos y análisis realizados con anterioridad, inspecciones efectuadas por autoridades o terceros, etc. Es importante que se revisen los archivos y se haga un seguimiento de los datos asentados en los registros. Se puede escoger al azar alguna fecha y pedir información sobre el registro correspondiente o tener a la disposición el registro histórico de los datos. Los principales documentos que pueden servir como evidencias para establecer un incumplimiento o formular una recomendación deben ser fotocopiados.

Es importante señalar que el trabajo en campo puede mostrar situaciones que no se podían haber previsto al elaborar el Plan de Auditoría por lo que en ocasiones es necesario un ajuste en dicho Plan. Estos ajustes deben ser discutidos por el jefe auditor con el personal de la planta. Asimismo se pueden encontrar evidencias de un peligro inminente en el momento de la auditoría, en estos casos el auditor en jefe debe informar de inmediato a los responsables para que se tomen medidas correctivas.

#### *1.4.3 Fase post-auditoría*

Esta fase comprende la elaboración del informe de la auditoría, que incluye la descripción de la situación ambiental de la empresa, las deficiencias detectadas y las medidas de acción necesarias para su corrección. Además, se debe plantear un programa de trabajo para realizar las correcciones necesarias y el seguimiento para asegurar que estas se realicen.

#### Reporte

Una vez que se obtiene toda la información y se concluye el trabajo en campo, se procede a elaborar el Informe de Auditoría. Este proceso involucra el análisis de la información recopilada, la identificación de deficiencias observadas y la revisión minuciosa de los documentos proporcionados por la empresa. Durante este proceso se hace necesario reuniones de consulta para aclaraciones con la empresa.

En el *reporte de auditoría*, se asientan los resultados de la auditoría, evidencias encontradas, conclusiones y recomendaciones que servirán de base para formular el plan de acciones

correctivas o preventivas. El reporte abarcará todos los aspectos que se revisaron durante la visita a la instalación y debe ser un documento útil para la toma de decisiones.

Este documento debe proporcionar una visión completa de la situación de la empresa frente a los requerimientos legales y procedimientos internos. Parte medular de este documento son las deficiencias o requerimientos no cumplidos, los cuales se deben sustentar mediante resultados del laboratorio, fotografías o haciendo referencia a documentos específicos. No debe establecerse deficiencias con base en apreciaciones subjetivas por parte del auditor. Se debe evitar la generalización de situaciones observadas, la mención de individuos o de fallas personales y debe limitarse a referir hechos observados o de los que se tenga constancia.

La redacción del informe debe ser clara, concisa y precisa. Se debe evitar el uso de términos imprecisos, como las palabras "algunos, pocos, no todos", etc. En vez de ellos se debe preferir el uso de cantidades específicas como "de las diez muestras tomadas, se encontró que dos, ...", "tres de los cinco tambores observados ....". Asimismo se debe evitar el uso de palabras extremistas como alarmante, descuidado, criminal, peligroso, deplorable, deshonesto, fraudulento, incompetente, negligente, terrible, etc.

Es muy valioso que, una vez que se han identificado las situaciones de no cumplimiento, se presenten al personal de la empresa para su discusión. En la reunión para este fin se pueden solicitar opiniones respecto a alternativas de solución y su costo.

En el reporte, el auditor debe proporcionar la información suficiente, de tal forma que el lector pueda entender clara y fácilmente, sus alcances y resultados. En el reporte se incluyen mapas de localización de la instalación, planos de la planta, diagramas de flujo de las operaciones, y cualquier información útil en cuanto a la gestión ambiental de la empresa. Como anexos al informe se integran copia de los documentos revisados y analizados, las fotografías que se tomaron durante los recorridos y los resultados de los muestreos y análisis efectuados.

Las recomendaciones para prevenir o corregir las deficiencias, se priorizan de acuerdo con la importancia del impacto ambiental producido, es decir, las acciones se ordenarán en orden de importancia de mayor a menor, las que no pueden dejar de realizarse y las que pueden realizarse a más largo plazo.

El reporte de la auditoría ambiental se presenta en tres volúmenes, Resumen ejecutivo, Informe de auditoría y Anexos.

### Seguimiento

El proceso de auditoría no termina con la elaboración del informe, sino que debe establecerse un programa de acciones a realizar para mejorar los aspectos que se encuentren fuera del cumplimiento legal, o que represente un riesgo para los trabajadores, población o entorno. Sin la elaboración de este programa llamado plan de seguimiento, la auditoría no reportaría beneficio alguno a la empresa.

El plan de seguimiento debe establecerse señalando plazos, responsables y montos de las inversiones requeridas, para lograr que la instalación cumpla la normatividad ambiental y minimice su impacto al entorno.

La auditoría como parte de un sistema de administración ambiental no se realiza por única vez, sino que después de un periodo establecido de tiempo (dependiendo del tipo de proceso auditado) es necesario volver a revisar la operación de la instalación. La auditoría en esta forma se integra a un sistema de administración ambiental que propicia la mejora continua.

## **1.5 FUNDAMENTO LEGAL**

La realización de auditorías ambientales en México se fundamenta legalmente en el reglamento de funcionamiento interno de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), órgano desconcentrado de la actual Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

En el artículo 21 del acuerdo que regula la organización y funcionamiento interno del INE y de la PROFEPA se establece que corresponden a la Unidad de Planeación de Auditorías Ambientales, entre otras, las siguientes atribuciones (D.O.F. ,1992):

- I. Promover el establecimiento de un sistema de identificación de profesionales y empresas capacitadas para la realización de auditorías y peritajes ambientales;
- IV. Diseñar y ejecutar programas de capacitación técnica para la realización de peritajes y auditorías ambientales;
- VI. Formular normas, procedimientos y programas para la realización y seguimiento de auditorías ambientales y supervisar su cumplimiento.
- VII. Promover en los grupos y cámaras industriales, la realización, bajo su supervisión, de auditorías ambientales.

El art. 25 de este mismo acuerdo establece que le corresponden a la Unidad de Operación, las siguientes atribuciones:

- I. Realizar auditorías ambientales a las empresas o entidades públicas o privadas de jurisdicción federal respecto de los sistemas de explotación, almacenamiento, transporte, producción, transformación, comercialización, uso o disposición de desechos, de compuestos o actividades que por su naturaleza constituyen un riesgo potencial para el ambiente, verificando los sistemas o dispositivos necesarios para el cumplimiento de la normatividad ambiental, verificando las medidas y capacidad de las empresas para prevenir o actuar en caso de contingencias o emergencias ambientales.
- III. Determinar, como resultado de las auditorías ambientales, las medidas preventivas y correctivas, acciones, estudios, proyectos, obras, procedimientos y programas que deberá realizar la empresa u organismo auditado, así como los plazos para su cumplimiento, las infracciones a las disposiciones jurídicas aplicables y las sanciones correspondientes en cada caso.
- VI. Coordinar y realizar, en su caso, por sí misma o a través de terceros, las auditorías y peritajes ambientales necesarios para prevenir emergencias o contingencias ambientales derivadas de actividades que constituyan un riesgo potencial al ambiente.

Para el cumplimiento de estas atribuciones la Unidad de Operación de auditoría ambiental realiza las siguientes actividades:

- Sistema nacional de identificación de profesionales y empresas especializadas en auditorías ambientales.
- Programa de capacitación técnica para realizar auditorías y peritajes ambientales.
- Diseño de instrumentos normativos en materia de auditorías ambientales.
- Promoción de auditorías ambientales entre grupos y cámaras industriales.
- Auditorías ambientales con el sector público y privado, en las etapas de concertación, desarrollo y seguimiento.

El 16 de diciembre de 1996, se publicaron las modificaciones a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, que han incluido en el capítulo IV Instrumentos de la Política Ambiental, la sección VII referente a la Autorregulación y Auditorías Ambientales, que señala que las organizaciones empresariales podrán desarrollar procesos voluntarios de autorregulación ambiental, lo que incluye el cumplimiento de normas voluntarias o especificaciones técnicas más estrictas que las normas oficiales mexicanas, y el establecimiento de sistemas de certificación de procesos o productos para inducir patrones de consumo que sean compatibles o que preserven, mejoren o restauren el medio ambiente.

En el artículo 38 Bis se establece que los responsables del funcionamiento de una empresa podrán en forma voluntaria, a través de la auditoría ambiental realizar el examen metodológico de sus operaciones, respecto de la contaminación y el riesgo que generan, así como el grado de cumplimiento de la normatividad ambiental y de los parámetros internacionales y de buenas prácticas de operación e ingeniería aplicables, con el objeto de definir las medidas preventivas y correctivas necesarias para proteger el medio ambiente (D.O.F., 1996).

En México la aplicación de una auditoría ambiental es una acción concertada o acuerdo de voluntades entre la industria y la PROFEPA (no es obligatoria), quienes suscriben un convenio para su realización. Los beneficios que obtiene la empresa que firma este convenio es la suspensión de cualquier verificación o inspección mientras se desarrolla la auditoría y el programa calendarizado de las acciones que se deriven de la auditoría, lo que implica que con la aprobación de la autoridad será posible el programar inversiones.

Anteriormente, el compromiso de ejecutar el plan de acción derivado de la auditoría ambiental se respaldaba mediante una fianza del 10 % del monto de inversión estimada, sin embargo, esto ha sido eliminado para disminuir los costos y con ello fomentar la realización de la auditoría.

## **1.6 MARCO DE APLICACION**

### **1.6.1. Internacional**

La experiencia de otros países en auditorías ambientales es amplia y su desarrollo permite que sea considerada incluso como una herramienta para la toma de decisiones en relación a la adquisición y venta de bienes, y para determinar la responsabilidad ambiental en la operación de procesos productivos.

En la *Comunidad Económica Europea* se ha publicado la Propuesta del Reglamento del Consejo que permite que las empresas del sector industrial se adhieran con carácter voluntario

a un sistema comunitario de auditoría ambiental. En este sistema comunitario se tendrán auditores ambientales acreditados, lista de los centros que están adheridos al programa y un logotipo eco-auditoría que podrá usar la instalación que se audite. También, se señalan los aspectos que deberán ser revisados durante la auditoría y la periodicidad de realización dependiendo del grado de riesgo que represente la actividad.

Entre los beneficios esperados de una eco-auditoría además de los ya señalados anteriormente incluyen: reducción de costos de producción por ahorro de materia prima e insumos, y por reciclaje y venta de subproductos y residuos, aumento de productividad por participación en el mercado de productos innovadores y demanda de productos verdes, y beneficios estratégicos por, mejor imagen pública, evitar la publicidad negativa, mejoramiento de la productividad, motivación de los empleados, y mejores relaciones con autoridades, población y grupos ecologistas.

En los Estados Unidos, la declaración de la política de auditorías ambientales (Policy Statement Act), recoge el planteamiento de la administración estadounidense en la materia. Esta política impulsa el desarrollo, implementación y actualización de los programas de auditoría existentes, debido a su ayuda para asegurar el cumplimiento legal ambiental y para conducir el manejo integral de riesgos ambientales (EPA, 1986).

La Organización Mundial de Normalización (ISO por sus siglas en inglés) por recomendación de la Cumbre de Río, instaló en 1993 el Comité Técnico para incorporar el factor ambiental en la gerencia administrativa. Se concibió la serie ISO 14000 con los siguientes capítulos:

- sistema de administración ambiental (ISO 14000 y 14001)
- auditorías ambientales (ISO 14010, 14011 y 14012)
- etiquetado ambiental (ISO 14020, 14024 y 14025)
- desempeño ambiental (ISO 14031)
- análisis de ciclo de vida (ISO 14040, 14041, 14042 y 14043)
- normas para productos (ISO 14060)

A manera de resumen se puede decir que la norma ISO 14000 se basa en el cumplimiento y verificación de la política ambiental que cada empresa elabore y aplique en sus instalaciones y procesos.

### 1.6.2. Nacional

En México se giraron 10 instrucciones presidenciales derivadas de la reunión "Prevención de Desastres", del 24 de abril de 1992; la instrucción 1 se refiere a la auditorías ecológicas a las empresas potencialmente riesgosas, considerándose como prioritarios los giros de la industria química, petroquímica, pinturas y solventes, plaguicidas, resinas, aceiteras, petrolera y gaseras. Además, en junio de ese año fue publicado el *Reglamento Interno de la Secretaría de Desarrollo Social*, creándose el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Medio Ambiente (PROFEPA). En los documentos de creación se señala que la PROFEPA tiene entre otras atribuciones la de "realizar auditorías ambientales y peritajes a las empresas o entidades públicas y privadas de jurisdicción federal, respecto de los sistemas de explotación, almacenamiento, transporte, producción, transformación, comercialización, uso y disposición de desechos, de compuestos o actividades que por su naturaleza constituyen un

riesgo potencial para el ambiente, verificando los sistemas y dispositivos necesarios para el cumplimiento de la normatividad ambiental, así como las medidas y capacidad de las empresas o entidades para prevenir y actuar en caso de contingencias y emergencias ambientales".

En el informe de la situación ambiental del país 1993-1994 (Sedesol,1995) se señala que desde la creación de la PROFEPA se hablan iniciado 369 auditorías ambientales en 29 entidades federativas incluyendo el Distrito Federal, de las cuales 194 se encontraban aún en proceso. Entre los giros auditados destacan el de la industria química, del acero, automanufactura, cervecera, curtiduría, resinas, textil, vidriera y cementera así como empresas paraestatales como Pemex y Ferrocarriles Nacionales.

Por otra parte, en septiembre de 1993, la Unidad de Operación de la Subdirección de Auditoría Ambiental de la PROFEPA estableció los *Términos de Referencia* que señalan los aspectos y metodología para auditar ambientalmente una instalación. Es importante señalar que estos términos orientaban la realización de la auditoría ambiental hacia la disminución del riesgo ambiental y el uso de recursos para la atención de emergencias.

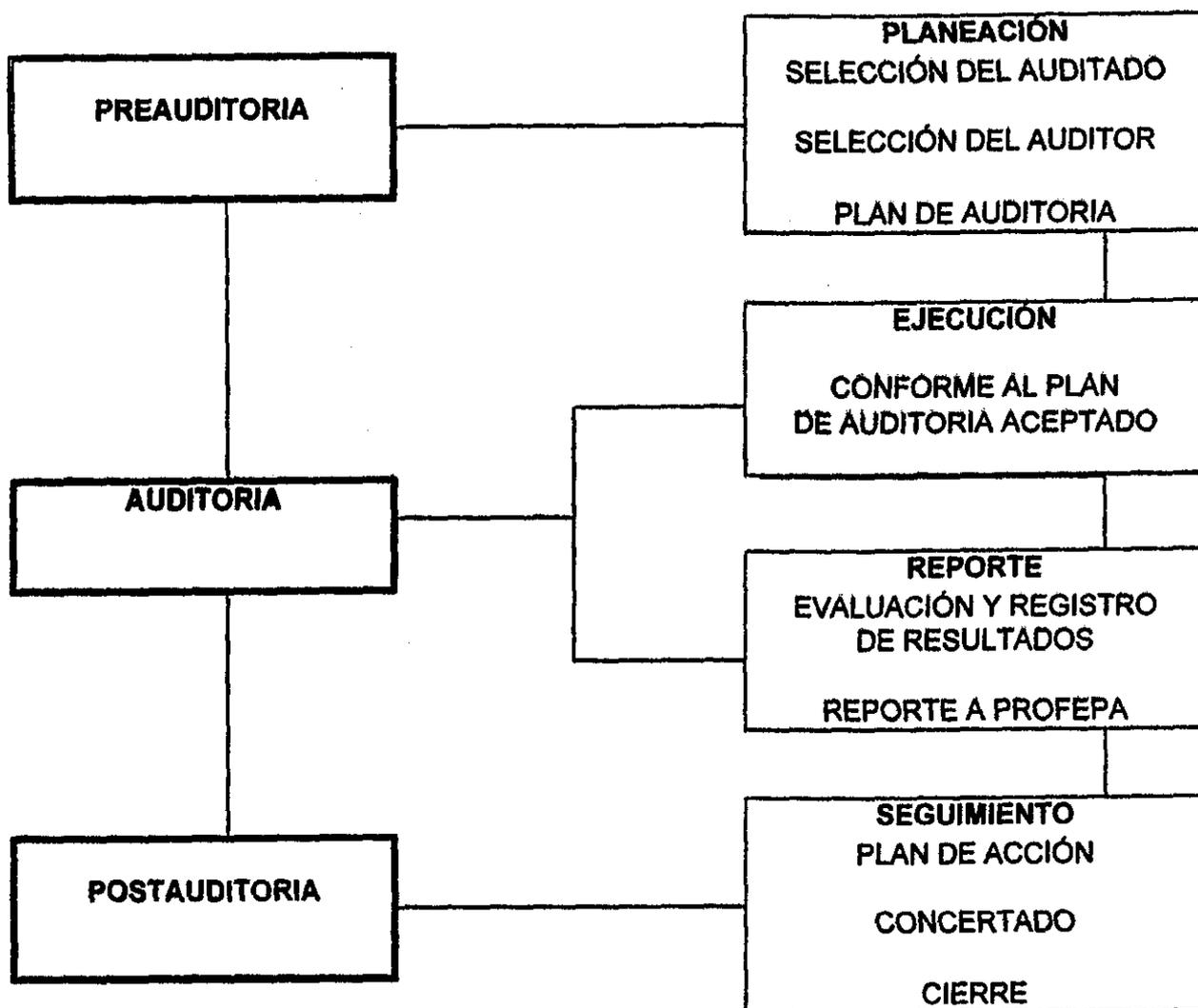
En noviembre de 1994 la autoridad emitió una nueva versión de *Términos de Referencia* en la cual la auditoría se enfoca al análisis de la problemática ambiental y riesgo como un sistema en el que se deben revisar todos los componentes del mismo. En este caso la actividad industrial se considera como un sistema, con diversos componentes, tales como herramientas, maquinaria y personal. En estos términos la auditoría verificará que el sistema cumpla con la normativa correspondiente y opere de tal forma que se logre la disminución del riesgo y/o contaminación ambiental. Como resultado final del proceso de auditoría, se integrará el Programa de Protección Ambiental de la instalación, que incluye todas las acciones tendientes a controlar la contaminación y el riesgo ambiental generado por la operación de dicha instalación.

## **1.7 REQUISITOS PARA LA REALIZACIÓN DE UNA AUDITORIA AMBIENTAL**

La auditoría en México debe ser realizada por una empresa o persona física que esté inscrita en el Sistema Nacional de Empresas y Personas Capacitadas para la Realización de Auditorías y Peritajes Ambientales. En el caso de compañías en que el personal de los departamentos de seguridad y protección ambiental es el suficiente y está capacitado puede ser realizado por personal de la propia empresa.

En ambos casos, es necesaria la labor de supervisión que puede ser realizada directamente por la PROFEPA o bien una empresa designada por ella. La supervisión se realiza para comprobar que la auditoría se realiza conforme a los *Términos de Referencia*, los cuales en su parte "B", señalan las características de los trabajos de planeación de la auditoría, desarrollo en campo, registro y reporte, así como seguimiento. El costo por la realización de la auditoría y de la supervisión puede ser cubierto por la empresa o bien por la autoridad.

El proceso global de la auditoría se esquematiza en la figura 1.1 (PROFEPA, 1994).



**Figura 1.1 Proceso de auditoría ambiental**

Como aspectos relevantes del proceso de auditoría que se sigue en México, podemos anotar que el reporte de la auditoría se presenta en todos los casos a PROFEPA y que una vez que ésta tiene en su poder el Resumen Ejecutivo se procede a concertar con la empresa el plan de acción, estableciendo un programa de actividades durante el cual la autoridad podrá verificar el grado de avance de dicho programa.

Una vez revisados los conceptos generales sobre la auditoría ambiental se puede afirmar que ésta se encuentra en proceso de desarrollo y será cada vez de mayor aplicación en la solución de problemas ambientales. Lo anterior se debe a que como producto se obtiene un *Plan de Acción*, que incluye las medidas a realizar, jerarquizadas en función del riesgo y contaminación

que representan. Esto permite que se destinen los recursos económicos y que efectivamente se realicen estas acciones durante la fase de seguimiento.

La auditoría se encamina a ser usada dentro de los llamados sistemas de administración ambiental, por ejemplo las normas ISO 14000, para lograr la mejora continua en materia de protección ambiental con lo cual no será de aplicación única como hasta ahora sino programada.

En México se ha enfocado a evaluar el cumplimiento legal ambiental e identificar los riesgos de operación de las instalaciones.

El verificar el cumplimiento dificulta el sustentar deficiencias en aquellos casos donde no exista norma oficial mexicana a aplicar. Si bien los *Términos de Referencia* (PROFEPA, 1994) indican que es válido utilizar normativa internacional, esta no puede ser considerada como obligatoria de cumplimiento por parte de una empresa establecida en nuestro país.

En el siguiente capítulo se presentará el proceso de auditoría ambiental en materia de contaminación atmosférica, aplicado a una instalación que fabrica película plástica impresa para envolturas, en apego con lo establecido por los *Términos de Referencia para la Realización de Auditorías Ambientales*, revisión 2, noviembre de 1994.

## Capítulo 2

# AUDITORIA AMBIENTAL EN MATERIA DE CONTAMINACION ATMOSFERICA A UNA INSTALACION DE ENVOLTURAS PLASTICAS

---

El caso de estudio se describe a continuación, empezando por el proceso productivo ya que es fundamental para poder establecer los orígenes y causas de los problemas de contaminación generados por la actividad de la instalación.

La planta se dedica a la fabricación y venta en el mercado nacional de empaques, película, tintas y bolsas impresas, para productos alimenticios y tiene una capacidad instalada de producción de 14 ton/día de bolsa y 20 ton/día de película impresa (polietileno o polipropileno). La producción hasta octubre de 1995 fue de 6500 toneladas, las cuales se dividen de la siguiente manera: 2500 toneladas de bolsa y 4000 toneladas de película de impresión.

La planta opera en tres turnos de 6:00 a 15:00 hrs, de 15:00 a 23:00 hrs y de 23:00 a 6:00 hrs, 206 días al año y se ubica en una de las zonas metropolitanas más importantes del país, que es considerada como zona crítica por los problemas de contaminación atmosférica que presenta, cuenta con 409 trabajadores de los cuales 134 son empleados y 275 son obreros.

### 2.1 PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo se describe en función de los dos tipos de impresión que realiza la empresa auditada, *rotograbado* y *flexografía*. En la figura 2.1 se presenta el diagrama de bloques del proceso que se describe a continuación:

- 1) Arte, en el departamento de arte se utiliza un diseño de tamaño real, proporcionado por el cliente o creado en planta con separación de colores. En el departamento de fotografía para cada color se crean positivos o negativos, los que se utilizarán en *Rotograbado* o *Flexografía*, respectivamente.
- 2) Rotograbado, el proceso de impresión de las películas de polietileno o polipropileno, por *rotograbado*, se puede describir como impresión de bajo relieve y utiliza rodillos metálicos con la figura a imprimir horadada donde se deposita la tinta.

Los cilindros metálicos se preparan mediante tratamientos electroquímicos de niquelado, cobrizado y cromado así como el grabado mecánico con punta de diamante. El niquelado se realiza únicamente en cilindros nuevos, el cobrizado proporciona al cilindro una capa metálica que puede grabarse con facilidad, el objetivo del cromado es proporcionar dureza y por consiguiente mayor durabilidad al cilindro.

Para la reutilización de un cilindro, el primer paso es el decromado con soluciones de ácido sulfúrico para posteriormente quitar mecánicamente la capa de cobre. A continuación se elimina grasa mediante inmersión en una solución desengrasante. Después se efectúa el cobrizado, el pulido mecánico con abrasivos y el grabado de la figura a imprimir haciendo pequeñas horadaciones con una punta de diamante.

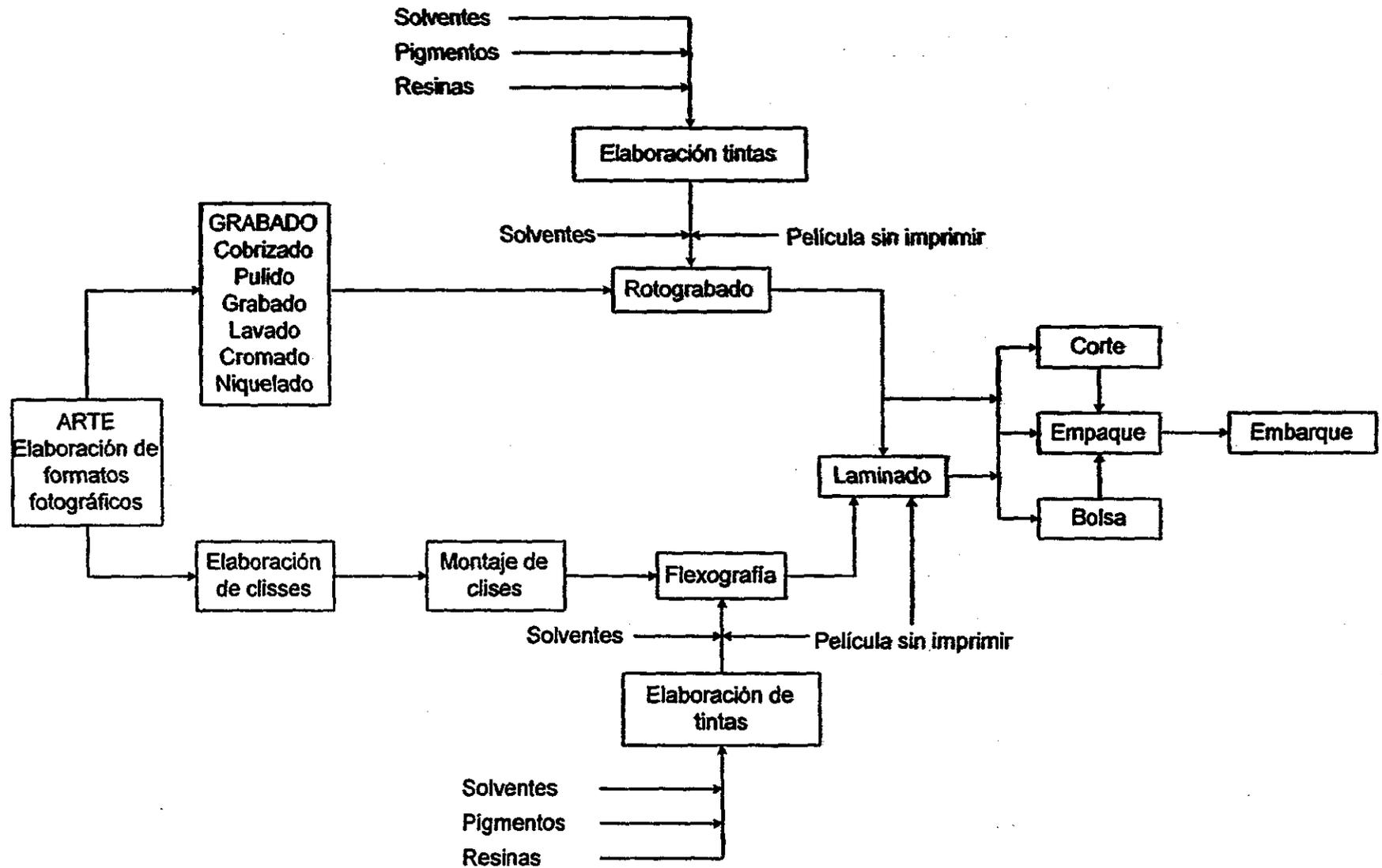


Fig. 2.1 Diagrama de bloques de proceso

El cilindro ya grabado se lava mediante inmersión en solución alcalina, para posteriormente su cromado mediante baño electrolítico en una máquina cromadora y finalmente otro pulido mecánico.

El cilindro ya grabado se pasa a un equipo de prueba del estándar de calidad que se tiene implantado, lo que se conoce como prueba de registro.

El siguiente paso es la impresión, utilizando los cilindros ya probados. Para esto se corre la película plástica entre los cilindros entintados. La tinta se recoge de unas tinajas abiertas, y se seca es decir, se elimina el contenido de solventes, en un *horno de secado*.

Existen tres máquinas de rotograbado, las cuales tienen 6, 5 y 4 estaciones de entintado respectivamente y que aplican un color diferente cada una pasando posteriormente a un horno de secado también diferente. El secado se realiza con aire calentado con vapor generado por una caldera de 200 C.C. que utiliza diesel como combustible. La película impresa se embobina en rollos.

Una vez realizada la impresión y al cambio de producto, las tinajas que contuvieron las tintas de diferentes colores y los cilindros sucios, se llevan a la zona de lavado de tinajas donde en una máquina lavadora que esporea solvente, se limpian. El solvente sucio de estas labores de limpieza, se destila en un equipo de recuperación que opera a vacío. El solvente recuperado se reutiliza en el lavatinas y las colas de la destilación se manejan como residuos peligrosos.

### 3) Flexografía

El proceso de impresión por *flexografía*, se puede describir como una impresión por alto relieve que utiliza un polímero plástico como matriz. El polímero con el grabado es llamado *clisse*. En forma muy simple es equivalente a un sello de goma que se entinta para imprimir.

Para la elaboración del *clisse*, se coloca el negativo obtenido en arte, sobre una placa virgen de monómero y se expone a radiación ultravioleta. El monómero por la exposición a la radiación polimeriza formándose la figura. El exceso de monómero sin reaccionar se lava con percloroetileno en un equipo cerrado.

Las placas plásticas con el dibujo, se fijan, utilizando adhesivos, sobre cilindros metálicos. Se realizan pruebas de registro para verificar la calidad de impresión del *clisse* ya montado sobre el cilindro.

En las máquinas de *flexografía* el relieve del *clisse* se entinta; girando el cilindro dentro de recipientes abiertos que contienen la tinta. Dos de las cuatro máquinas de *flexografía* tienen cuatro estaciones de entintado, mientras que las otras dos tienen seis. Posteriormente, para secar la tinta, se pasa a un *horno de secado* que contiene aire calentado con vapor generado por la caldera. La película impresa se embobina en rollos.

Las tinajas de tinta y equipo sucio de este proceso también se llevan a la zona de lavatinas, como en el caso de rotograbado.

#### 4) Preparación de tintas

La impresión sobre las películas utiliza tintas, las cuales son preparadas mezclando los solventes y las resinas utilizando molinos y dispersores. A la mezcla se le adiciona el pigmento con lo que se obtiene una solución coloreada llamada *tinta*.

#### 5) Laminación

El objetivo del proceso de laminación es unir dos películas, una de polietileno y otra metálica. Una de las dos laminadoras, utiliza un adhesivo bajo en solventes, mientras que en la segunda se utilizan adhesivos base solvente.

#### 6) Corte y formación de bolsa

El proceso de corte tiene por objeto obtener rollos con un ancho menor a los obtenidos en rotograbado, flexograbado o laminación.

Una parte de los rollos ya impresos se utilizan para formar bolsas, en máquinas que cortan, doblan y sellan los bordes para conformarlas.

El análisis de la contaminación que genera esta actividad industrial, parte de la revisión de las materias primas utilizadas para la elaboración del producto. A continuación se presenta la lista de materias primas para cada proceso productivo y la de productos terminados.

##### 2.1.1 *Materias primas*

La materia prima principal es película de polietileno o polipropileno que se recibe en rollos de diferentes tamaños. La película es un material combustible, pero no inflamable, ni tóxico. Los otros materiales que se utilizan en el proceso de impresión son las tintas compuestas de pigmentos y solventes.

El volumen de producción de la planta origina altos consumos de solventes, como se observa en los consumos de materias primas del orden de cientos de miles de litros al año, principalmente etanol, isopropanol y acetato de etilo. Los disolventes están catalogados como materiales peligrosos debido a sus bajos puntos de inflamación y cabe señalar que las cantidades que se manejan rebasan las cantidades de reporte del listado de actividades consideradas altamente riesgosas.

El resto de los materiales son auxiliares en los procesos productivos, como son los reactivos para el tratamiento de los cilindros para rotograbado y los solventes utilizados en la elaboración de *clisses*.

En las tablas 2.1 a 2.4 se presentan los consumos por departamento de cada materia prima reportados hasta octubre de 1995 y su comparación contra las cantidades de reporte de los listados de actividades de alto riesgo (D.O.F. 1992).

Tabla 2.1 Materias primas para arte y fotografía

Materia prima	Consumo previsto 1995	1º. y 2º listados de AAR.
Percloroetileno	2,400 litros	N/A
Película fotográfica	100 rollos	N/A
Fotopolímero	700 hojas	N/A
Revelador fotográfico	200 litros	N/A
Fijador fotográfico	150 litros	N/A

AAR Actividades altamente riesgosas

N/A: No Aplica

Tabla 2.2 Materias primas para elaboración de tintas

Materia Prima	Consumo previsto en 1995 (kg)	1º. y 2º listados de AAR.
Resinas diversos tipos	250,000	N/A
Pigmentos diversos colores	252,722	N/A
Solventes		
Heptano	2,748	20,000 kg
Tolueno	24,108	100,000 kg
Alcohol etílico	530,508	20,000 kg
Alcohol isopropílico	51,180	100,00 kg
Acetato de etilo	884,580	20,000 kg

AAR Actividades altamente riesgosas

N/A: No Aplica

Tabla 2.3 Materias primas rotograbado y flexografía

*Preparación de cilindros rotograbado*

Materia prima	Consumo previsto en 1995	1º. y 2º listados de AAR.
Alcohol butílico	1,200 litros	200,000 kg
Acido sulfúrico	2,400 litros	N/A
Acido crómico	600 kg	N/A
Sal de níquel	250 kg	N/A
Sal desengrasante	1500 kg	N/A
Chips de cobre	10,800 kg	N/A
Barras de plomo	7,200 kg	N/A

AAR Actividades altamente riesgosas

N/A: No Aplica

## Rotograbado y Flexografía

Materia prima	Consumo previsto en 1995	1° y 2° listados de AAR.
Película de polipropileno	4,500,000 kg	N/A
Película de polietileno	3,300,000 kg	N/A
Alcohol etílico	420,000 litros	20,000 kg
Acetato de etilo	750,000 litros	20,000 kg
Alcohol isopropílico	250,000 litros	100,000 kg
Crisanol	12,600 litros	N/A

AAR Actividades altamente riesgosas

N/A: No Aplica

**Tabla 2.4 Materias primas para laminación**

Materia prima	Consumo previsto en 1995	1° y 2° listados de AAR.
Tysel	49,000 kg	N/A
Adcote	44,000 kg	N/A
Catalizador	30,600 kg	N/A
Película de polietileno	60,000 kg	N/A
Película de polipropileno metalizada	500,000 kg	N/A
Película de polipropileno	600,000 kg	N/A

AAR Actividades altamente riesgosas

N/A: No Aplica

De las tablas 2.1 a 2.4 se observa que las materias primas que rebasan las cantidades de reporte de sustancias inflamables son: alcohol etílico, alcohol isopropílico y acetato de etilo. Además estos compuestos son moderadamente tóxicos ya que sus Threshold Limit Value (TLV) son 1000 ppm, 400 ppm y 4000 ppm respectivamente (Sax, 1974). También se observa que se manejan otros solventes percloroetileno y tolueno, de mayor toxicidad TLV= 100 ppm y 200 ppm en cantidades no significativas.

### 2.1.2 Productos

Los productos que se elaboran son película impresa, en diferentes tamaños o cortes, y bolsas impresas en las cuales, la película impresa se corta y dobla para formar una bolsa. Los productos no son considerados como materiales peligrosos, sino solamente son difíciles de biodegradar y combustibles. El reporte de producción de enero a octubre de 1995 que se presenta en la tabla 2.5 indica que la producción es variable dependiendo de la época del año.

**Tabla 2.5 Producción total**

Mes	Toneladas
Enero	846
Febrero	683
Marzo	702
Abril	808

**Tabla 2.5 Producción total (cont.)**

Mes	Toneladas
Mayo	685
Junio	653
Julio	498
Agosto	581
Septiembre	539
Octubre	562

## **2.2 RESULTADOS EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN A LA ATMÓSFERA**

En materia de contaminación al aire, durante la auditoría ambiental se realizaron las siguientes actividades:

- Aplicación de la lista de verificación para identificar y localizar todas las fuentes de emisión, el contaminante presente en cada chimenea, flujo volumétrico, gasto de emisión y dispositivos de control (ver Apéndice I).
- Revisión de los documentos la licencia de funcionamiento, el inventario de emisiones, cédula de operación, bitácora de operación y mantenimiento, resultado de monitoreos anteriores, calibración y certificación de los equipos utilizados para las mediciones.
- Inspección de cada chimenea para corroborar los datos proporcionados y evaluar la eficiencia de los dispositivos de control, su mantenimiento y los registros de muestreo. Durante los recorridos se identificaron fuentes de emisión fugitivas
- Pruebas y monitoreos. Se realizó el monitoreo de las emisiones provenientes de uno de los tres equipos de combustión con que cuenta la instalación, siendo este el que está en operación la mayor parte del tiempo, ya que las otras dos se utilizan como reserva. Para emisiones a la atmósfera se decidió no efectuar monitoreos de emisiones en los ductos que conducen compuestos orgánicos volátiles debido a que el marco legal actual no ha establecido límites máximos de emisión para este tipo de compuestos y a que la empresa cuenta con muestreos de este tipo de emisiones, los cuales se presentan en la tabla 2.8.

Los resultados de estas actividades se presentan a continuación destacando el que se pudo detectar que la emisión principal a la atmósfera se debe al uso de solventes en la preparación de tintas, los cuales son emitidos en su totalidad a la atmósfera, bien sea como emisiones fugitivas o conducidas. La otra fuente de contaminación son los equipos de combustión, que se utilizan para generar el vapor que calienta el aire con el cual se seca o evapora el solvente de la tinta ya aplicada.

### 2.2.1 Emisiones de solventes

Para la identificación de las emisiones de solventes, se han elaborado las figuras: 2.2, 2.3 y 2.4 que a continuación se describen. En la figura 2.2 se incluyen los procesos productivos de impresión de película plástica:

- Preparación de tintas, la emisión en esta área pueden ser de tolueno, heptano, etanol, acetato de etilo o polvos de pigmento.
- Rotograbado, los cilindros grabados se revisan y limpian manualmente, empleando papel o estopa impregnada con solvente. Esta emisión de solvente no es conducida. Impresión-rotograbado, se emiten acetato de etilo y alcohol etílico en las cuatro líneas de rotograbado a través de los ductos de los hornos de secado.
- Flexografía, en la preparación de formatos fotográficos se emplean dos equipos para el lavado y secado del fotopolímero que emite acetato de etilo y alcohol butílico. También se emiten solventes provenientes de las tintas para pruebas y de la limpieza del material utilizado. Por último, se emite alcohol isopropílico y acetato de etilo en las cuatro líneas de impresión de flexograbado a través de los ductos de los hornos de secado.

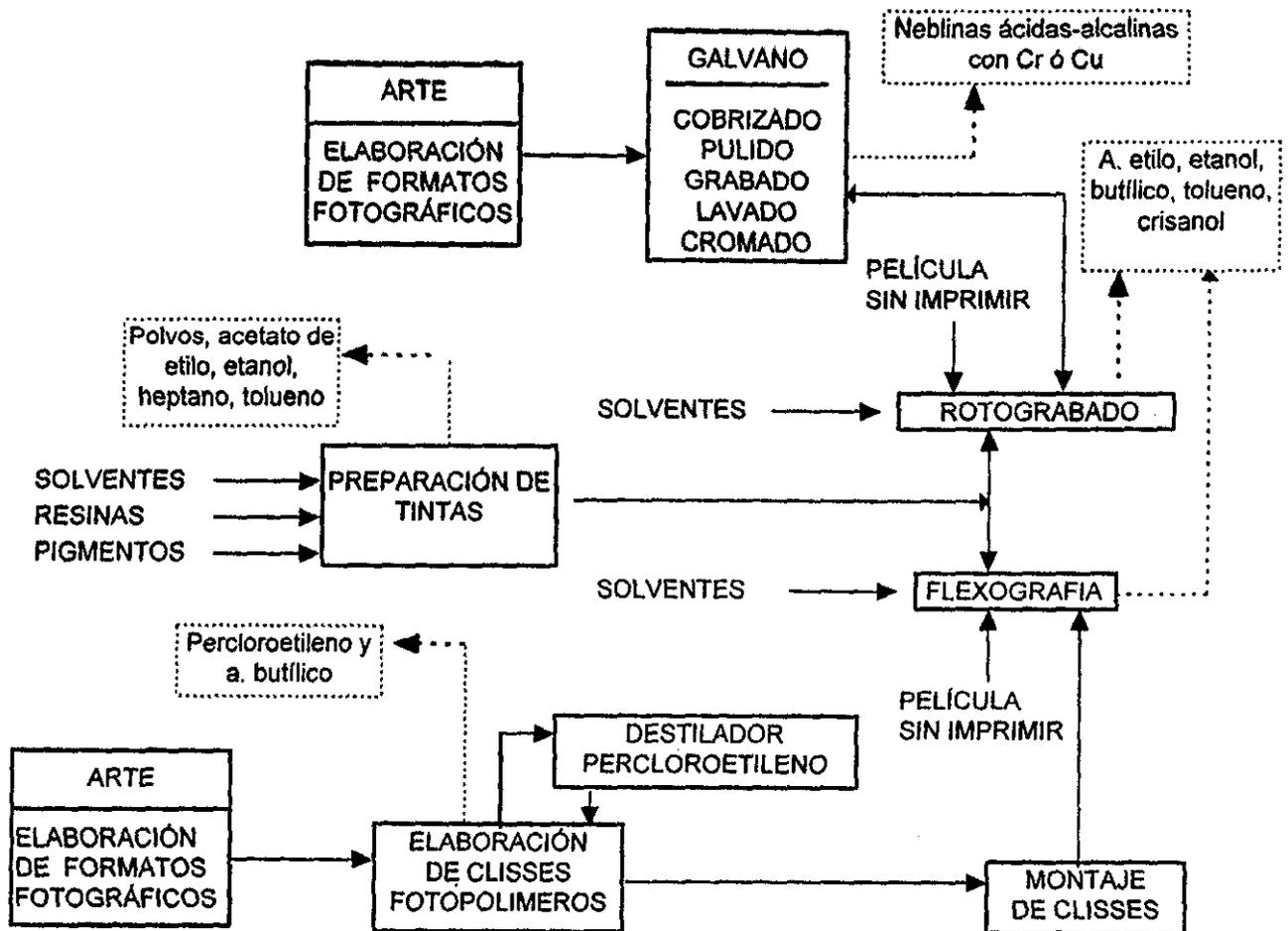
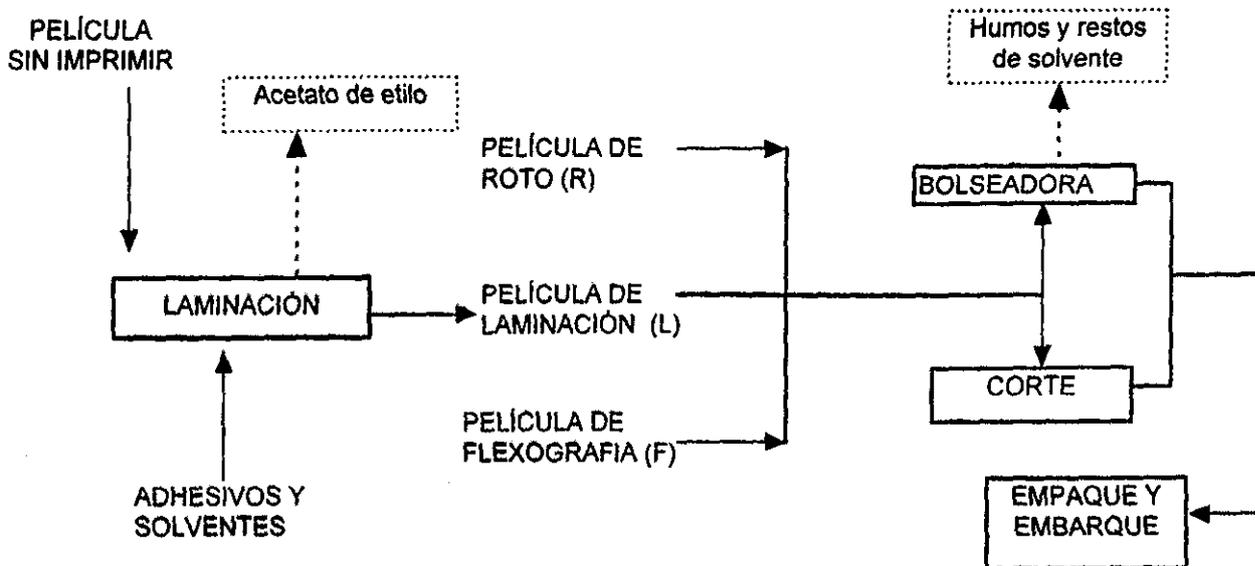


Fig. 2.2 Emisiones a la atmósfera de tintas, fotopolímeros, galvanoplastia, flexograbado y rotograbado

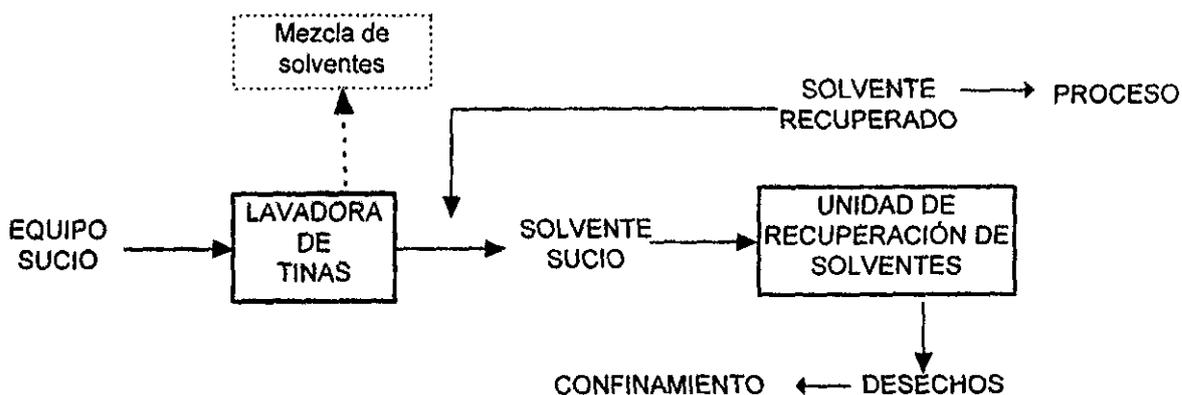
En la figura 2.3, se incluyen los puntos de emisión de los procesos productivos de:

- Laminación  
En una de las dos máquinas de laminación se emite acetato de etilo y solvente del adhesivo, ya que la otra utiliza un adhesivo sin solventes.
- Bolseadoras  
Humos y restos de solvente son emitidos en las máquinas bolseadoras.



**Fig. 2.3 Emisiones a la atmósfera de laminación y bolseadora**

En la figura 2.4, se señalan las emisiones provenientes del equipo de lavado de equipo y recuperación de solventes. El ducto de extracción del lavador de tinajas consta de baffles de separación para retener partículas líquidas de solvente, los vapores de solventes se emiten a la atmósfera.



**Fig. 2.4 Emisiones a la atmósfera de lavado de equipo y recuperación de solvente**

## Identificación de las emisiones fugitivas

Durante el trabajo de campo, se observaron las fuentes de emisión fugitivas que se presentan en la tabla 2.6 y su localización en la figura 2.5.

**Tabla 2.6 Puntos de emisiones fugitivas**

AREA/EQUIPO/PROCESO	CONTAMINANTE
Ocho bombas despachadoras de solvente durante el llenado de recipientes.	Acetato de etilo- etanol
Área de rodillos y tintas de impresoras flexo 3,4,6 y 7 durante la impresión y la adición de solvente a las tintas para conservar viscosidad.	Mezcla de solventes
Área de adhesivo de laminadora	Acetato de etilo
Área de prueba de registro durante limpieza de cilindros con papel o estopa impregnada de solvente	Mezcla de solventes
Área de prueba de registro de flexo durante preparación y aplicación de tintas de prueba y limpieza de material	Mezcla de solventes
Malla vibradora para filtración de tintas usadas	Mezcla de solventes

\* Mezcla de solventes: acetato de etilo, alcohol etílico, alcohol butílico, tolueno y crisanol

Debido a que en estos puntos se encuentran trabajadores expuestos a las emisiones y a que son operaciones continuas (excepto la malla vibradora para filtración de tintas), es necesario que se instalen sistemas de extracción para estas emisiones.

Es importante mencionar que la empresa ya ha instalado sistemas de extracción que disminuyen la concentración de solventes en el ambiente laboral. Esto se pudo concluir con los resultados de las mediciones que realiza el personal de la planta en el medio ambiente laboral de los compuestos orgánicos volátiles totales con un equipo Microtip (detector de fotoionización). En las áreas de tinta y rodillos de las impresoras de rotograbado se tienen instalados extractores a nivel de piso, uno por cada máquina (23 en total) que conducen los vapores de solventes del área laboral al horno de secado de la impresora para ser conducidos por los ductos de extracción al exterior del edificio. En bolseado, cada bolseadora tiene una campana de extracción que conduce los humos y restos de solvente al exterior del edificio.

En el área de almacén de barnices y solventes, el molino y las tres dispersoras, tienen en la parte superior un ducto de extracción que se une al ducto principal para conducir las emisiones al exterior.

La lavadora de tintas con ducto de extracción al exterior, evita que el operador esté en contacto con los solventes durante el lavado del equipo impregnado de tinta empleada en rotograbado y flexografía. La maquinaria en el área de galvanoplastia cuenta con extracción de neblinas al exterior del edificio y el ducto de la cromadora 2 tiene un separador de placas para la retención de neblinas con cromo.

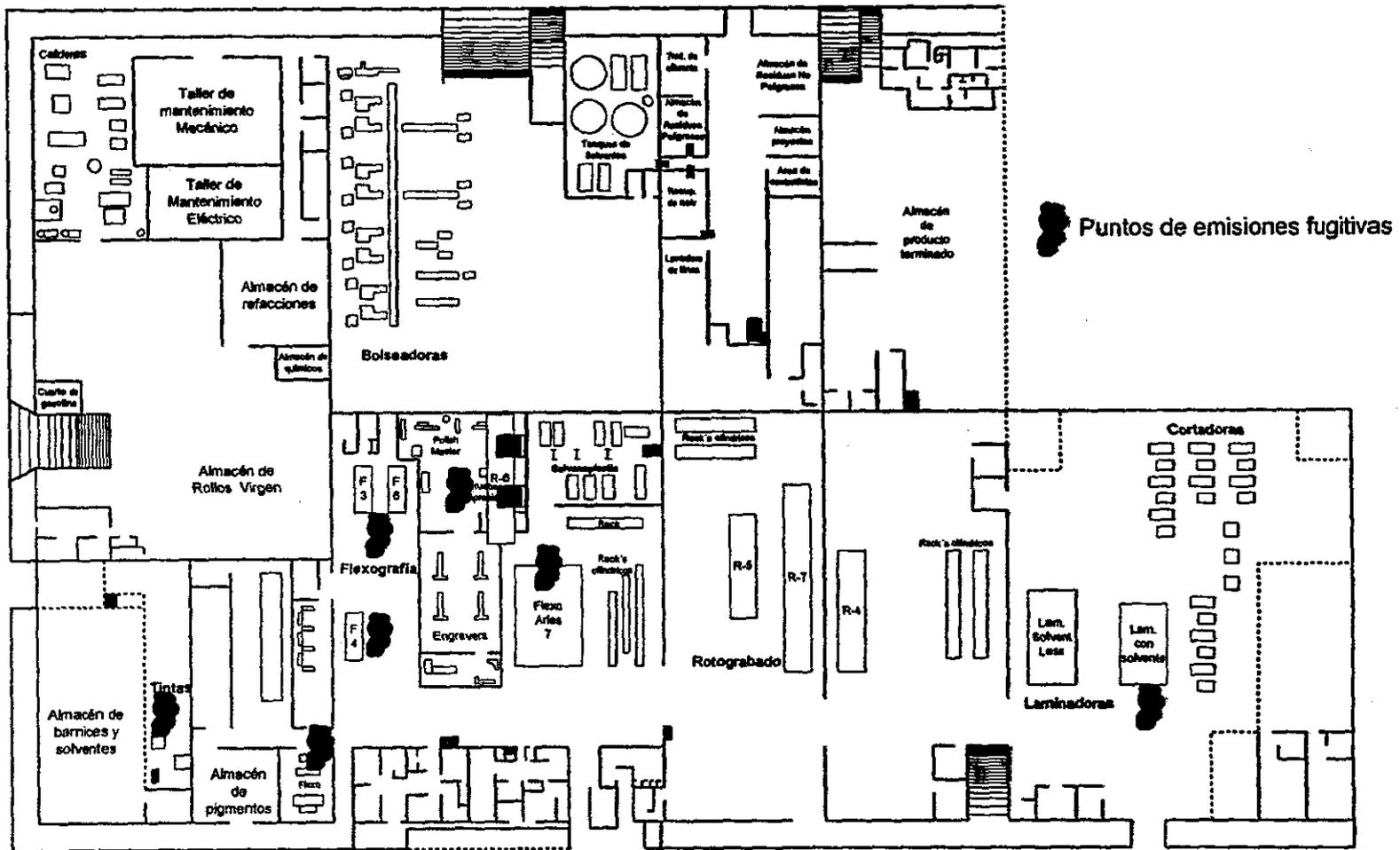


Fig. 2.5 Ubicación de las emisiones fugitivas de compuestos orgánicos volátiles

### Identificación de emisiones conducidas y cuantificadas

De la inspección de cada uno de los ductos se determinó el tipo de contaminante que conduce. En forma resumida se presenta en la tabla 2.7 el contaminante principal conducido y el número de ductos y el área o equipo generador.

**Tabla 2.7 Emisiones conducidas**

Área/equipo	Ductos	Contaminante principal
Flexograbado	5	Mezcla de solventes*
Rotograbado	24	Mezcla de solventes*
Laminadora	1	Acetato de etilo
Fotopolímeros	4	Percloroetileno-butílico
Molienda y dispersión de tintas	1	Polvos, tolueno, heptano, etanol, acetato de etilo
Bolseadoras	1	Humos, solventes
Cromadora 1	1	Neblinas alcalinas con cromo
Cobrizadora	1	Neblinas ácidas con cromo
Desengrasadora	1	Neblinas alcalinas
Cromadora 2	1	Neblinas ácidas con cromo
Lavador de tintas	1	Mezcla de solventes*
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>	

\* Mezcla de solventes : Acetato de etilo, alcohol etílico, alcohol butílico, tolueno, crisanol (propil-metil-glicol).

La empresa cuenta con resultados de emisión de COV's realizados en los ductos provenientes de hornos de secado de tintas, que incluyen gasto, temperatura y concentración de acetato de etilo, alcohol etílico, tolueno en el ducto. Durante el secado se evapora el solvente incluido en la tinta así como el que se añade en las máquinas de impresión para lograr la viscosidad de la tinta adecuada. Estos valores se presentan en la Tabla 2.8 y no pueden ser comparados contra ninguna norma oficial mexicana, ya que en el momento de la auditoría no existe norma que limite la emisión de este tipo de compuestos.

Cabe resaltar que las mediciones fueron realizadas por una empresa que cuenta con acreditaciones del Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Prueba, SINALP y que los resultados se obtuvieron de 3 muestreos realizados durante 0.5 hora, en un día en el que se imprimía una cierta figura relacionada con un área de impresión determinada y con ciertos tipos de tinta y que son los datos proporcionados por la empresa a las firmas de ingeniería para un primer cálculo del equipo de control, es decir los valores pueden ser considerados como la condición promedio. El método empleado fue el 18 de la EPA que consiste en la captura de los compuestos orgánicos volátiles en filtro de carbón activado y su posterior análisis por cromatografía de gases.

**Tabla 2.8 Resultados de mediciones de COV's**

Ducto	Temperatura °C	Gasto m <sup>3</sup> /s	Conc. de etanol (ppm)	Conc. de acetato de etilo (ppm)	Conc. de isopropanol (ppm)
1	55	0.87	23.08	12.15	7.517
2	38	0.77	37.28	26.60	15.40
3	61	1.436	15.88	4.11	4.62
4	38	2.3245	8.80	9.79	4.63
	Subtotal flexografía	5.4015			
5	51	4.1238	8.12	3.59	4.38
6	53	2.5985	11.10	5.46	6.49
7	53	4.2435	13.34	1.85	24.83
8	46	11.2890	19.16	0.23	5.13
	Subtotal rotograbado	22.254			
	TOTAL	27.6555			

De esa tabla se observa que las corrientes provenientes de los hornos de secado de flexografía y rotograbado son de flujo de gases total de casi 28 m<sup>3</sup>/s y que la concentración de cada uno de los compuestos orgánicos es baja, menor a 40 ppm.

Debido a que la empresa planea reubicar el proceso de rotograbado a otra planta y a eliminar el proceso de fabricación de tintas, las corrientes de COV's más importantes provendrán de las máquinas de flexografía las que como gasto total suman 5.4 m<sup>3</sup>/s .

*Estimación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles*

Para evaluar la emisión total de solventes se realizó un balance de materiales, con los datos proporcionados por la empresa de consumos de solventes y tintas de enero a septiembre 1995. Se calcularon las cantidades de solvente utilizados para la preparación de cada tipo de tinta así como las que se utilizan en el área de impresión. Esta información para facilitar su manejo se presenta en las tablas 2.9 a 2.13.

Es importante señalar que se consideró que la cantidad de solvente empleado es la misma que el emitido ya que, como hemos dicho, no se cuenta con ningún tipo de equipo de control de emisiones.

**Tabla 2.9 Cantidad de solventes (en litros) empleados en impresión**

Solvente	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
Etanol	36552	37944	33474	48975	32808	28039	24434	35602	19650	297473
Isopropanol	31941	25605	25613	26283	29246	25105	14040	27641	45067	220542
Acetato etilo	75092	66215	61480	77625	66531	58485	51596	59470	56759	573255

**Tabla 2.10 Cantidad de tintas con solventes (en kg de mezcla pigmento - solvente)**

Tinta tipo	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	total
Blanco Roto	10380	6504	7466	7302	9030	5950	6463	5733	6483	65311
Color Roto	8922	4613	6315	6725	8313	4950	4875	5609	6124	56446
Blanco Flexo	22543	17837	22913	27037	16411	24510	14528	16533	11890	174205
Color Flexo	16630	14321	13233	25215	14370	18335	8529	9687	8580	128800
Blanco lamin.	15519	30726	24739	25212	11272	12436	4352	15893	15034	155483
Color lamin.	15519	30726	24739	25212	11572	12436	4352	15893	15034	155483
<b>Total</b>	<b>84615</b>	<b>89828</b>	<b>92708</b>	<b>109669</b>	<b>70945</b>	<b>85870</b>	<b>47378</b>	<b>65962</b>	<b>57992</b>	<b>705565</b>

**Tabla 2.11 Cantidad de solvente empleado (% en peso) de acuerdo al tipo de tinta**

Tinta tipo	Heptano	Tolueno	Etanol	IPA	Crisanol	Ac. Etilo
Blanco Roto	0.0	3.6	0.7	0.0	0.4	24.3
Color Roto	0.0	0.0	32.3	0.0	11	22.3
Blanco Flexo	0.7	2.8	24.3	2.9	0.8	16.3
Color Flexo	0.0	4.0	23.8	30.0	2.3	1.7
Blanco lamin.	0.0	0.0	51.3	0.0	0.0	0.0
Color lamin.	0.0	0.0	76.4	0.0	0.0	0.0

**Tabla 2.12 Cantidad de solvente (en kg) empleado de acuerdo al tipo de tintas**

Tinta tipo	Heptano	Tolueno	Etanol	IPA	Crisanol	Ac. Etilo
Blanco Roto	0.0	2279	457	0.0	261	15870
Color Roto	0.0	0.0	18232	0.0	6209	12587
Blanco Flexo	1219	4878	42331	5052	1394	28395
Color Flexo	0.0	5156	30678	38670	2965	2191
Blanco lamin.	0.0	0.0	79763	0.0	0.0	0.0
Color lamin.	0.0	0.0	95668	0.0	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>1219</b>	<b>12313</b>	<b>279442</b>	<b>43722</b>	<b>10829</b>	<b>59043</b>

**Tabla 2.13 Total de solventes emitidos (Tabla 2.9 + Tabla 2.12) en kg**

	Heptano Kg	Tolueno Kg	Etañol Kg	IPA Kg	Crisanol Kg	Ac. etilo Kg
Impresión	0.0	0.0	297473	220542	0.0	573255
Tinta	1219	12313	279442	43722	10829	59043
Total / 9 meses	1219	12313	576915	264264	10829	632298
Tótal / mes	135	1368	64101	29362	1203	70255
Total / año	1620	16416	769212	352344	14436	843060

IPA : Alcohol isopropílico

Ac. etilo: Acetato de etilo

Del análisis de la información anterior se concluye que la empresa auditada emite 1,997,000 kg o 1,997 ton de solventes por año (tendencia 1995) y considerando 206 días de operación, resulta una emisión diaria de casi 9.7 toneladas sin control.

Como se discutirá en el capítulo siguiente, debido a la ausencia de un límite máximo permisible de emisión en México, se puede comparar este valor con lo establecido en el Acta de Aire Limpio (Lee, 1991) que señala que deben ser controladas las emisiones de fuentes fijas que rebasen una emisión de 10 ton/año en la ciudad de Los Angeles, 50 ton/año en zonas serias y 100 ton/año en zonas moderadas y marginales, esto es, se tiene una emisión no controlada de COV's que es casi 20 veces lo establecido en Estados Unidos para zonas no críticas. Es importante recordar que la instalación se encuentra en una zona metropolitana del país considerada como crítica por los niveles de contaminación que se presentan.

Además, a nivel nacional existen numerosas fuentes fijas de emisión de compuestos orgánicos volátiles que actualmente no están reguladas que incluyen tanto actividades industriales (petroquímica, recubrimiento de superficies, desengrase, etc.) como actividades de servicio (lavado en seco).

### *2.2.2 Emisiones de gases de combustión*

Para el secado de las tintas se emplea aire calentado por medio de vapor que se genera en tres calderas que queman diesel como combustible. Sus capacidades son 80 C.C., 100 C.C., y 200 C.C., respectivamente y son de tipo tubos de agua.

Las emisiones provenientes de los equipos de combustión se conducen a través de una chimenea por caldera, siendo las emisiones gases de combustión (CO, NOx, SOx) y partículas.

#### 2.2.2.1 Equipos de muestreo para emisiones y de control

La empresa cuenta con un analizador de gases Orsat para la determinación de gases de combustión y con un equipo Micro Tip de la marca Photovac, que trabaja con un detector de fotoionización y que es capaz de medir la concentración total de solventes. Este

instrumento se calibra con gas isobutileno y se ha utilizado para medir concentraciones en ambiente laboral, sirviendo para localizar puntos de máxima emisión.

### 2.2.2.2 Bitácoras y reportes de muestreo y mantenimiento

No existe bitácora de muestreo y análisis para emisiones de calderas, ya que los muestreos no se realizan con la frecuencia que señala la NOM-085-ECOL/1994 (D.O.F., 1994).

Existen un formato de mantenimiento relacionado con la contaminación al aire o bitácora del *Historial de mantenimiento* que incluye el programa anual y los trabajos realizados conforme a lo dispuesto por la S.T.P.S. En este documento también se llevan bitácoras para los siguientes equipos: motobomba de diesel, planta de emergencia, cromadoras, cobrizadoras, desengrasadoras, rotograbadoras 4, 5, 6 y 7, flexograbadoras 3, 4, 6 y 7, laminadoras 1 y 2, lavadora de tinas y procesadora de clises.

Cabe mencionar que los trabajos de mantenimiento preventivo anotados en las hojas de registro de los equipos mencionados, corresponden a las fecha establecidas en el programa anual.

### *Evaluación de emisiones en caldera*

Como parte del programa de auditoría se realizó el muestreo de gases y partículas a la caldera de 200 C.C. con base en lo señalado en la NOM-085-ECOL-1994.

Durante el primer muestreo de partículas se liberó vapor para mantener la caldera funcionando en fuego alto y el segundo muestreo se realizó a fuego bajo, como opera normalmente. La diferencia de concentración de partículas es mínima.

**Tabla 2.14 Resultados del muestreo isocinético y de gases caldera 200 C.C.**

Parámetro	Unidades	Método de medición	Resultados	Máximo Permitido
Partículas	mg/m <sup>3</sup>	NOM-AA-10	15.2 (1) 10.8 (2)	425
NO <sub>x</sub>	ppm	Quimiluminiscencia	92	300
CO	ppm	Electroquímica	724	No aplica
Neblinas de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ppm	NOM-AA-56	1.4	No aplica
SO <sub>2</sub>	ppm	NOM-AA-56	6.2	2100
Exceso de Aire	%	Cálculo NOM-085-ECOL/1994	374	50

(1) Primera corrida definitiva

(2) Segunda corrida definitiva

Con base en los resultados obtenidos se concluye que las emisiones de partículas sólidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-085-ECOL/1994 para Zonas Críticas.

En relación al exceso de aire, éste no cumple el máximo permitido de exceso de aire ya que rebasa 6.48 veces dicho límite. Por lo tanto, es necesario carburar la caldera para que la cantidad de oxígeno alimentado permita una combustión eficiente aún en fuego bajo.

## **2.3 DICTAMEN EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN AL AIRE**

La empresa cuenta con licencia de funcionamiento y ha presentado los inventarios de emisiones anualmente, que incluyen datos de las emisiones de gases de combustión provenientes de las calderas así como los compuestos orgánicos volátiles conducidos, por lo que ha cubierto lo establecido en los art. 17 y 18 del reglamento de la L.G.E.E.P.A. en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica.

Además, la auditada ha elaborado un programa de minimización de emisiones y desechos. Este programa incluye la reducción del consumo de solventes en la impresión mediante la operación a viscosidades más altas, el uso de charolas para tapar los rodillos de las impresoras así como la adquisición de una laminadora que utiliza un adhesivo base agua.

Se tiene contemplado en el programa, además el cierre de las operaciones relativas a la fabricación de tinta y el traslado de la línea de rotograbado a otra planta del grupo, en una zona que no es crítica para las emisiones.

Sin embargo se dictaminaron deficiencias en relación a los dos tipos de emisiones principales que genera, compuestos orgánicos volátiles y gases de combustión.

### *2.3.1 Deficiencias por la emisión de compuestos orgánicos volátiles*

Durante los recorridos por la instalación fue posible detectar la existencia de puntos de generación de emisiones fugitivas, principalmente en la malla vibradora para filtración de tintas y en el área de los alimentadores de tintas de máquinas de flexografía. Ver puntos de emisiones fugitivas en la figura 2.5. La emisión no conducida contamina el aire que respiran los trabajadores y además no cumple con lo señalado en el artículo 23 del Reglamento de la L.G.E.E.P.A. en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica. La empresa deberá instalar un sistema de extracción de las emisiones en las áreas antes señaladas y verificar que con ello se logra proteger la salud de los trabajadores expuestos.

Durante la revisión documental se determinó que no se han cuantificado las emisiones de percloroetileno y alcohol butílico provenientes de los ductos del área de arte, así como tampoco las de acetato de etilo, alcohol isopropílico del extractor de emisiones fugitivas de la máquina de rotograbado 7. No se han medido tampoco las emisiones de alcohol

El control de las emisiones se había intentado con anterioridad por la sustitución del tipo de tintas a unas con menor contenido de solventes, sin embargo, este método presenta la limitante que al disminuir el contenido de solventes se aumenta la viscosidad de la tinta llegando un momento en que no se obtiene la calidad de impresión necesaria. Por lo tanto se determinó la necesidad de instalar un equipo de control para estas emisiones que por otra parte ya había sido solicitado por la autoridad.

Para la selección del equipo más adecuado, que se realiza en el capítulo 3, se deben considerar las siguientes características de la corriente de gases a tratar.

- Gasto de 5.4 m<sup>3</sup>/s, considerando únicamente el flujo de gases proveniente de flexografía ya que el proceso de rotograbado se trasladará a otra planta
- Concentración de COV's menor a 50 ppm, para cada compuesto individual y a la suma ponderada de corrientes y de concentración de cada componente
- Variaciones en la concentración debidos a cambios en la figura a imprimir, ya que en función del área a imprimir, se utilizará una mayor o menor cantidad de tinta y por ende se emitirá una menor o mayor cantidad de solventes.

## Capítulo 3

# COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES, EVALUACION Y TECNOLOGÍAS DE CONTROL

---

El mayor problema de contaminación detectado durante la auditoría es la emisión a la atmósfera de casi 2,000 toneladas al año de solventes sin ningún control. Los solventes para tintas usadas para la impresión de la película plástica incluyen: acetato de etilo, alcohol isopropílico y alcohol etílico, los cuales son compuestos orgánicos volátiles. Es por ello que en el presente capítulo se revisan conceptos generales sobre los compuestos orgánicos volátiles, normatividad, métodos de medición y tecnologías de control de estas emisiones.

### 3.1 DEFINICIONES

Un compuesto orgánico volátil (COV) es cualquier compuesto orgánico, que cuando se libera a la atmósfera, puede permanecer el tiempo suficiente para participar en las reacciones fotoquímicas. La mayoría de los compuestos orgánicos que pueden ser considerados volátiles tienen presiones de vapor mayores a 0.1 mmHg a 20 ° C y 760 mmHg (EPA, 1992). Se excluyen el monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbónico, carburos metálicos, carbonatos metálicos y carbonatos de amonio y se incluyen en forma no limitativa fracciones de petróleo, petroquímicos y solventes.

Los compuestos orgánicos volátiles conforman una clase importante de contaminantes al aire. Esta clase incluye no sólo a los hidrocarburos puros sino también a los hidrocarburos parcialmente oxidados (ácidos orgánicos, aldehídos, cetonas), así como a compuestos que contengan cloro, azufre, nitrógeno u otros átomos en la molécula. Dentro de esta clase existen cientos de compuestos, cada uno con sus propias características y propiedades.

En la NOM-075-ECOL-1995, (D.O.F., 1995) se ha definido a los compuestos orgánicos volátiles como las sustancias químicas constituidas principalmente por hidrocarburos volátiles que participan en reacciones fotoquímicas en la atmósfera contribuyendo a la formación de ozono.

### 3.2 NORMATIVIDAD

El establecimiento de límites de emisión de compuestos orgánicos volátiles por la autoridad está justificada ya que estos contaminantes primarios son precursores del ozono (contaminante secundario) y por su propia toxicidad. En este trabajo se revisa únicamente lo relativo a fuentes fijas de emisión excluyendo las emisiones de vehículos que representan un 40% del total en los E.U.A. (EPA, 1992) y en el caso de ciudades mexicanas entre 56% y 66% del total (INE, 1997).

En México, el marco normativo es muy limitado y en el caso de fuentes estacionarias de COV's solo ha considerado las emisiones provenientes de gasolineras y de separadores de aceite en refinерías.

En Estados Unidos se han establecido límites tanto a nivel federal como a nivel estatal para este tipo de compuestos, para fuentes fijas de emisión existentes y nuevas, así como medidas para prevenir las emisiones por fugas en equipos.

### 3.2.1 En México

Actualmente se cuenta con una norma oficial mexicana que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de los separadores de agua-aceite de las refinerías de petróleo (NOM-075-ECOL-1995) publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de diciembre de 1995 (D.O.F., 1995). Esta norma establece que se deben controlar como mínimo el 95% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en separadores agua-aceite, realizándose a través del uso de cubiertas de techo fijo o flotante.

Además, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 6 de septiembre de 1995 (D.O.F. 1995), una norma oficial mexicana que regula la contaminación atmosférica y establece los requisitos, especificaciones y parámetros para la instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo ubicadas en el Valle de México, NOM-092-ECOL-1995. En ella se establece que la eficiencia de los equipos de recuperación de vapores de gasolina debe ser superior al 90% en prueba de laboratorio, mientras que la eficiencia en sitio deberá ser no menor de 80%.

Es decir, que no se ha publicado ninguna norma oficial mexicana para fuentes de emisión distintas a los separadores agua-aceite para refinerías de petróleo y gasolineras. El caso de estudio es una instalación del giro artes gráficas que no está normada.

Por otra parte, se han elaborado Programas para mejorar la calidad del aire en distintas ciudades del país, que se basan en el cumplimiento de las normas para la protección de la salud, cuyos límites se presentan en la tabla 3.1. (INE, 1997).

**Tabla 3.1 Valores normados para los contaminantes**

Contaminante	Exposición aguda		Exposición crónica
	Concentración y tiempo	Frecuencia máxima aceptable	Para protección de la salud de la población susceptible
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.11 ppm (1 hora)	1 vez/3 años	-
Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0.13 ppm (24 horas)	1 vez al año	0.03 ppm
Bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	0.21 ppm (1 hora)	1 vez al año	-
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas)	1 vez al año	-
Partículas suspendidas totales (PST)	260 µg/m <sup>3</sup> (24 hrs)	1 vez al año	75 µg/m <sup>3</sup>
Partículas fracción respirable (PM10)	150 µg/m <sup>3</sup> (24 hrs)	1 vez al año	50 µg/m <sup>3</sup>
Plomo (Pb)	-	-	1.5 µg/m <sup>3</sup>

Estos programas son de competencia de autoridades federales, estatales y municipales. A continuación se presenta una síntesis de los programas de calidad del aire de cuatro zonas metropolitanas en el país (INE, 1997).

### Zona Metropolitana del Valle de México

En marzo de 1996, se dio a conocer el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2001 conocido como PROAIRE.

Los instrumentos y acciones del PROAIRE son entre otras las siguientes:

- Nueva normatividad de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles para la industria y los servicios (incluyendo distribución y uso de gas LP y recuperación de vapores en gasolinera).
- Reingeniería para el control de óxidos de nitrógeno en la termoeléctrica Valle de México y sustitución paulatina de la termoeléctrica Jorge Luque con sistemas de generación más eficientes.
- Normatividad de calidad más estricta para combustibles industriales y de servicios (gas LP, gasóleo y combustóleo).
- Nueva estructura de precios y reordenamiento de mercado de combustibles industriales y de servicios, para favorecer aquellos de mayor calidad ambiental.
- Reestructuración y ampliación del transporte público de superficie y ampliación de los sistemas de transporte colectivo no contaminante: metro, trolebus y trenes elevados.
- Normas crecientemente estrictas para vehículos nuevos y en circulación.

### Zona Metropolitana de Monterrey

El 18 de marzo de 1997, se dio a conocer el Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000 PACADAM, cuyas acciones principales incluyen:

- Establecer convenios con las pedreras para controlar y reducir las emisiones de partículas.
- Introducir combustibles más limpios para uso industrial y vehicular en el Área Metropolitana de Monterrey.
- Reforzar el Programa de Verificación vehicular
- Ampliar y reforzar la red de monitoreo atmosférico
- Diseñar e instrumentar el Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales.
- Renovar la flota de transporte público y de flotillas de uso intensivo.
- Crear rutas de transporte para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte masivo de pasajeros.
- Promover la ampliación de la red del metro.
- Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de partículas, precursores de ozono y bióxido de azufre.
- Desarrollar esquemas de autorregulación industrial y comercial.
- Diseñar e instrumentar campañas de abatimiento de emisiones de partículas por acción del viento sobre superficies erosionadas.

### Zona Metropolitana de Guadalajara

El Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2001, incluye medidas tales como:

- Revisar y actualizar el Programa de Contingencias Ambientales
- Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de precursores de ozono.
- Introducir combustibles más limpios para uso industrial y vehicular en la Zona Metropolitana de Guadalajara.
- Ampliar y modernizar el Programa de Afinación Controlada, aplicando la normatividad.
- Limitar el asentamiento de nuevas industrias potencialmente contaminantes.
- Controlar las emisiones de partículas y bióxido de azufre en industrias altamente contaminantes.
- Mejorar los procesos de combustión e instalar sistemas de control en establecimientos industriales y de servicios.
- Formar un grupo de trabajo con el sector industrial para promover la adopción voluntaria de esquemas de autorregulación.
- Promover la instalación de equipos para la recuperación de vapores en terminales de recibo y distribución de combustibles y gasolina.
- Promover la conversión de flotillas de carga y transporte público de pasajeros a gas natural comprimido incorporando convertidores catalíticos.

### Zona Metropolitana del Valle de Toluca

Si bien esta zona no está considerada como crítica, se ha dado a conocer el 10 de junio de 1997, Aire Limpio: Programa para el Valle de Toluca, entre sus principales medidas se tienen las siguientes:

- Actualización del programa de verificación vehicular adoptando los límites estrictos establecidos en la NOM-041-ECOL-1997.
- Eliminación del suministro de gasolina con plomo y proveer gasolinas con características similares a las establecidas en la NOM-086-ECOL-1994 para zonas metropolitanas.
- Promoción de combustibles menos contaminantes en la industria, comercios y servicios.
- Fomentos al transporte institucional y de personal.
- Desarrollo de infraestructura vial y mejora de las condiciones de vialidad en zonas críticas.
- Control de emisiones fugitivas por almacenamiento y distribución de gas L.P.
- Autorregulación y auditoría ambiental
- Recuperación de vapores en estaciones de servicio.

De estos programas se concluye que en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, de Monterrey y de Guadalajara, se están programando acciones enfocadas a la disminución de precursores de ozono, compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno. El mecanismo que se ha planteado en las ciudades de Monterrey y Guadalajara es la firma de convenios con las industrias generadoras de estas emisiones, mientras que en la Ciudad de México, se optó por la normatividad de la emisiones de óxidos de nitrógeno y de COV's, estando incluidas únicamente los giros de distribución de gasolina y de gas LP.

### 3.2.2 En Estados Unidos

De acuerdo con lo previsto en el Acta de Aire Limpio de 1971 y sus adiciones en 1990, la EPA *Environmental Protection Agency* tiene autoridad para clasificar las regiones que exceden los estándares de ozono en categorías de "severa", "seria", "moderada" o "marginal", siendo Los Angeles, California la región con la peor calidad de aire en los Estados Unidos designada como "extrema" (Lee, 1991). Se ha definido para Los Angeles una fuente principal de emisión cualquier instalación que emite 10 toneladas de compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno anualmente. En las regiones clasificadas como "serias" las fuentes principales serán las que emitan 50 toneladas al año. En las regiones moderadas y marginales el límite será de 100 toneladas.

Para dimensionar el problema del caso de estudio, cabe recordar que emite 1,997 toneladas al año de solvente y está ubicada en una zona crítica de emisión, es decir casi 20 veces lo establecido en Estados Unidos para regiones moderadas y marginales.

De acuerdo con la calidad de aire en las regiones de los Estados Unidos, cada estado debería preparar un Plan De Puesta en Práctica Estatal para alcanzar los estándares de calidad de aire ambiente nacionales. La Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos ha especificado que estos planes, en el caso de que en el estado no se cumplan los estándares para oxidantes fotoquímicos, debería contener como mínimo regulaciones para el control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de fuentes fijas. Estas regulaciones deberían impulsar la adopción de la tecnología de control razonablemente disponible considerando los costos de su adopción (EPA, 1992).

Para impulsar el cumplimiento de los estándares de calidad de aire, se impondrán sanciones económicas importantes a las regiones que no las cumplan. En las regiones de moderadas o peores se deben instalar dispositivos de recuperación de vapores en gasolineras e instituir la inspección de las emisiones vehiculares y programas de mantenimiento (Lee, 1991). Además de que los límites se imponen de manera gradual, siendo más estrictos para fuentes nuevas.

Para ayudar a los estados en la definición de estas tecnologías de control, la Oficina de Planeación y Estándares de la Calidad del Aire preparó una serie de Guías Técnicas para Control (CTG por sus siglas en inglés). Cada documento trata sobre un tipo de fuente estacionaria en particular. Las fuentes estacionarias de emisión de compuestos orgánicos volátiles se han dividido en tres categorías. Originalmente fueron desarrollados con la idea de que los controles agregados se utilizarían para controlar la mayoría de las emisiones de COV's. Se pensó que los cambios a proceso o formulaciones no se usarían para el control de los COV's.

Las Guías Técnicas para Control, cuyo listado se presenta en la tabla 3.1., contienen una breve descripción de la categoría de la fuente y de las técnicas de control, además que presentan en forma tabular la información relativa a:

- Instalaciones afectadas - tipos de operaciones, instalaciones o equipo que cubre la Guía
- Número de instalaciones afectadas a nivel nacional
- Estimación de las emisiones anuales del tipo de fuente

- Estimación de las emisiones de una instalación típica
- El tamaño estimado de una instalación que emitiría 100 ton/año de COV sin control
- El límite de emisiones recomendado
- El porcentaje de reducción de COV por instalación si se aplican los controles recomendados
- Costos

**Tabla 3.2 Lista de Guías Técnicas para Control por fuentes estacionarias.**

GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III
1. Recubrimiento de superficie de envases	1. Recubrimiento de superficie de partes y productos metálicos	1. Grandes tintorerías de lavado en seco de petróleo
2. Recubrimiento de superficie de bobinas metálicas	2. Recubrimiento de superficie de paneles de madera	2. Manufactura de resinas de polietileno de alta densidad, polipropileno y poliestireno
3. Recubrimiento de superficie de telas	3. Manufactura de productos farmacéuticos sintéticos	3. Fugas de equipos provenientes de plantas de gas natural o de procesamiento de gasolina
4. Recubrimiento de superficie de productos de papel	4. Manufactura de llantas de hule	4. Fugas provenientes de fabricación de productos químicos orgánicos sintéticos y polímeros
5. Recubrimiento de superficie de automóviles y camiones livianos	5. Manufactura de aceite vegetal	5. Almacenamiento de volúmenes en tanques de techos flotantes y fijos
6. Recubrimiento de superficie de muebles metálicos	6. Artes gráficas * Rotograbado y Flexografía	6. Procesos de oxidación de aire
7. Recubrimiento de superficie de alambres de transformadores	7. Sistema de lavado en seco con percloroetileno	
8. Recubrimiento de superficie de electrodomésticos grandes	8. Fugas de equipos de refinerías de petróleo	
9. Terminales de carga de gasolina para camiones tanque	9. Almacenamiento de petróleo líquido en tanques de techo flotante externo	
10. Plantas de distribución de gasolina	10. Fugas de tanques de gasolina de camiones y sistemas de recolección de vapor	
11. Estaciones de servicio		
12. Tanques de almacenamiento de petróleo de techo fijo		
13. Fuentes diversas de refinerías		
14. Asfalto rebajado		
15. Limpieza de metales con solvente (desengrasado)		

Como se observa existe una Guía para el giro industrial Artes Gráficas - Rotograbado y Flexografía, al cual pertenece el caso de estudio.

Esta guía recomienda que para el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles en las instalaciones de rotograbado y flexografía se utilicen tintas al agua (25% de elementos orgánicos, 75% de agua) o con alta cantidad de sólidos (60% de material no volátil) o el uso de equipos de captura y control (adsorción en carbono o incineración).

Se estima que estas acciones reducen la emisión de COV en los siguientes porcentajes:

- Reducción en un 75% de COV en procesos de impresión donde se emplea rotograbado
- Reducción en un 65% de COV en donde se usan procesos de empaquetamiento con rotograbado; o
- Reducción de un 60% de COV en donde se emplean procesos de impresión flexográficos.

Para fuentes nuevas de emisión, en el caso de imprentas con rotograbado, se establece el límite como el 16% del contenido total de agua y solventes en las tintas. El control se realiza sobre todo en el análisis del contenido de solventes en las tintas debiéndose reportar semestralmente. Además se establecen requisitos para el control de emisiones fugitivas provenientes de fugas en los equipos y en los tanques de almacenamiento de disolventes (EPA,1992).

### 3.3 METODOS DE MEDICION DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES

Para el control de las emisiones de compuestos orgánicos es importante contar con información relativa a la cantidad que se emite, es por ello que se han revisado los métodos para su cuantificación. Debido a que en México no se cuenta con métodos se ha recurrido a los incluidos en el Apéndice A de la Parte 60 del Code of Federal Regulations, 1991. De los 28 métodos incluidos se identificaron los siguientes relativos a la medición de compuestos orgánicos volátiles.

Método 18	Medición de emisiones gaseosas de compuestos orgánicos por cromatografía de gases.
Método 21	Determinación de fugas de compuestos orgánico volátiles
Método 24.	Determinación de contenido de materia volátil, contenido de agua, densidad, volumen de sólidos y peso de sólidos en recubrimientos de superficie
Método 24 A	Determinación de contenido de materia volátil y densidad de tintas para impresión y recubrimientos relacionados.
Método 25	- Determinación de emisiones orgánicas totales no metano como carbón
Método 25A	Determinación de concentración total orgánica usando un analizador de ionización de flama.
Método 25B	Determinación de concentración orgánica gaseosa usando un analizador de infrarrojo no dispersivo

Los métodos 24 y 24A se aplican al control del contenido de compuestos orgánicos volátiles de tintas y recubrimientos, lo cual no aplica al caso de estudio ya que se conoce la formulación de las tintas empleadas en el proceso de impresión. Mientras que el método 21 se refiere a fugas en las líneas que manejan solventes. El control de las posibles fugas en las tuberías que manejan los solventes se ha considerado necesario en una segunda fase de control de estas emisiones. Los métodos 18 y 25 se refieren a la cuantificación de emisiones conducidas de COV's, y son de interés para la selección del método de control de éstas.

El principio del método 18 es la captura de los compuestos orgánicos volátiles y su posterior análisis y cuantificación mediante cromatografía de gases con detectores de ignición a la flama, fotoionización o captura de electrón. Se aplica al análisis de casi el 90% de los orgánicos gaseosos totales que se emiten de una fuente fija. Este método no determina compuestos que (1) son poliméricos, (2) que pueden polimerizar antes del análisis o (3) que tienen presiones de vapor muy bajas a condiciones de chimenea o instrumento.

Para establecer las condiciones óptimas de separación en la columna de cromatografía, es necesario realizar con anterioridad a la prueba una corrida llamada *pre-prueba*, en la que se recolecta una muestra del gas y se analiza. También se determina la presión en la chimenea y

la humedad. Una vez realizado esto se recolecta la muestra definitiva. La colección de la muestra se puede hacer en bolas de vidrio o en bolsas Tedlar. También se acepta el muestreo en carbón activado o tenax. Dependiendo de las condiciones de la chimenea puede ser necesario mantener calentamiento en la bolsa para evitar condensación. Se deben preparar curvas de calibración para la cuantificación individual de cada compuesto. Este método no debería ser utilizado por personal que no esté familiarizado con la técnica de cromatografía de gas.

El método 25A aplica a la medición de compuestos orgánicos totales en forma de vapores que consisten principalmente de alcanos, alquenos y/o arenos. La concentración se expresa en términos de propano (u otro gas de calibración adecuado) o en términos de carbón. El principio consiste en la extracción de una muestra de gas a través de una línea caliente, y un filtro de fibra de vidrio hacia un analizador de ionización de flama.

El equipo para la medición consiste en una porción de muestreo, un filtro de partículas, una bomba y el analizador que tiene un detector de ionización a la flama. Se utiliza un cilindro de gas con concentración conocida para la calibración del equipo.

El método 25B, se aplica a la medición de compuestos orgánicos totales gaseosos de vapores de alcanos si bien se pueden analizar otros materiales orgánicos usando el procedimiento general de este método pero utilizando un gas de calibración adecuado y fijando el analizador en la banda adecuada.

Durante la auditoría a la instalación de envolturas plásticas, se constató que en México no existe norma oficial mexicana relativa a la emisión de compuestos orgánicos volátiles, siendo éste el mayor problema de contaminación detectado. La dificultad incluso abarca los métodos para medir las emisiones, del que tampoco se cuenta con norma en México.

Esta situación destaca el hecho de que la normatividad ambiental nacional debe continuar su revisión y mejora, para que se cuente con el marco regulatorio que indique los requerimientos para preservar el ambiente para todos los giros industriales y actividades ya que en el caso de la contaminación atmosférica en México se cuenta con un número reducido de normas de emisión para fuentes fijas.

A nivel nacional existen numerosas fuentes fijas de emisión de compuestos orgánicos volátiles que incluyen tanto actividades industriales (petroquímica, recubrimiento de superficies, desengrase, etc.) como actividades de servicio (tintorerías en seco) que actualmente no están reguladas.

### **3.4 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA EL CONTROL DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES**

Con el fin de conocer todas las tecnologías existentes para el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV's), se realizó una revisión bibliográfica que incluyó las más recientes así como las que ya se han aplicado a escala real y disponibles comercialmente.

En forma de resumen, para cada una de las tecnologías se describen los principios de funcionamiento, condiciones de operación típicas, ventajas y desventajas.

### 3.4.1 Adsorción

La adsorción consiste en el paso de una corriente gaseosa a través de un material sólido poroso, la superficie de este material atrae y retiene ciertos gases de una corriente (ver Fig. 3.1). Las moléculas de los contaminantes se remueven de la corriente por una combinación de adsorción física y química. La adsorción física ocurre cuando las moléculas se unen al adsorbente por medio de fuerzas de van der Waal's. Este fenómeno es fácilmente reversible incrementando la temperatura o bajando la presión del sistema. En la adsorción química, las moléculas establecen enlaces químicos fuertes con el adsorbente, de esta forma se retiene el contaminante; este fenómeno se considera generalmente irreversible. Si bien es probable que todos los sólidos adsorban gases o vapores hasta cierto punto, la adsorción no se produce a menos que el adsorbente posea una gran área superficial. Por esta razón se utilizan como adsorbentes sílica gel, carbón y compuestos orgánicos de determinadas finamente granulados. La estructura de estas sustancias es muy porosa, lo que lo confiere un gran poder adsorbente y por otra parte, pueden ser activados. Para contaminantes gaseosos olorosos, el carbón activado es el adsorbente más usado. Para contaminantes que no se adsorben con facilidad al carbón activado se utiliza carbón tratado químicamente; el carbón impregnado por ejemplo con hidróxido de potasio se recomienda para reducir las emisiones de ácidos orgánicos, sulfuro de hidrógeno y dióxido de azufre (Theodore, 1992 ).

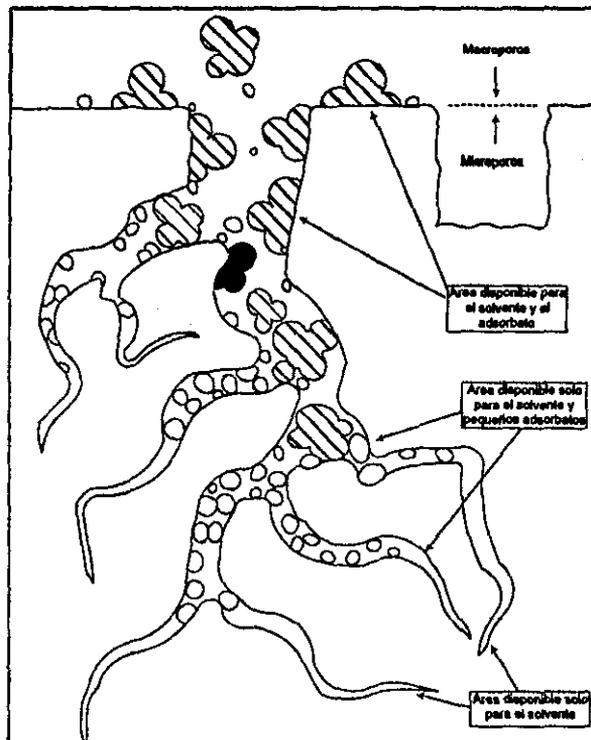


Fig. 3.1 Fenómeno de adsorción

La cantidad de gas o vapor adsorbidos depende de la naturaleza del adsorbente y del gas que está siendo adsorbido, el área superficial del adsorbente, la temperatura y la presión de la corriente de gas. Como es de esperarse, un aumento en el área superficial del adsorbente incrementa la cantidad total del gas adsorbido.

En términos generales, el carbón activado es adecuado para controlar emisiones de los siguientes compuestos orgánicos volátiles que reúnan estas características (Martin, 1992):

- Peso molecular entre 50 y 200 g/gmol.
- Compuestos con puntos de ebullición entre 20 °C y 176.66 °C.
- Hidrocarburos con cadena entre C<sub>4</sub> y C<sub>14</sub>.
- Solventes clorados (tetracloruro de carbono, dicloroetileno, cloruro de metileno y tricloroetileno).
- Cetonas comunes (acetona, metil etil cetona) y algunos ésteres (acetato de butilo y de etilo).
- Alcoholes comunes.

Un equipo típico que utiliza este principio de remoción de contaminantes volátiles en fase gaseosa se presenta en la figura 3.2, donde se alternan ciclos de captura de contaminantes con regeneración del carbón activado mediante el paso de una corriente de vapor.

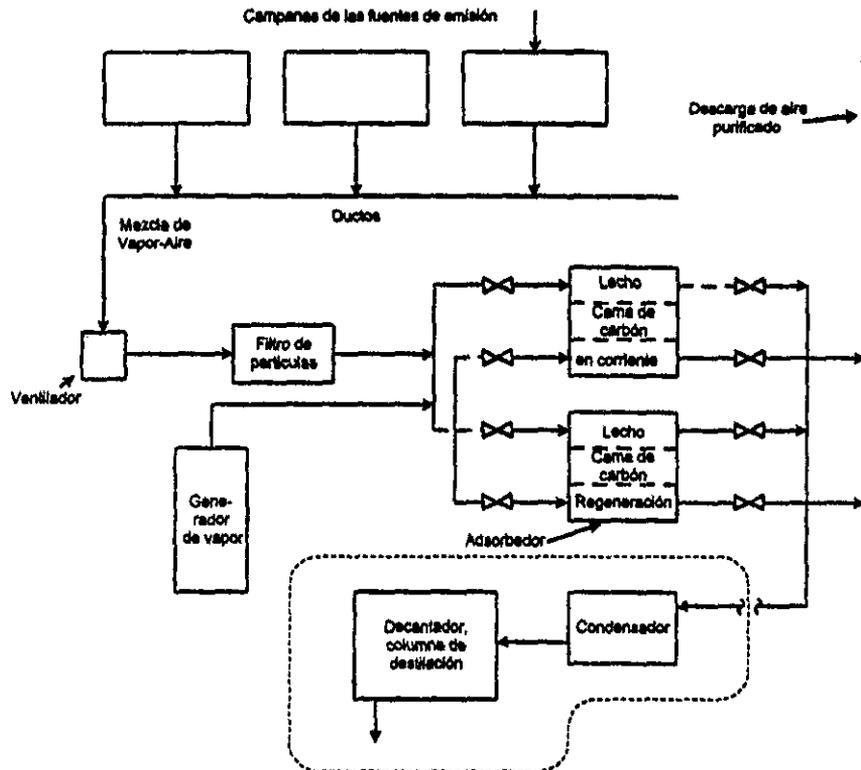


Fig.3.2 Sistema de lechos fijos de carbón para control de COV'S

Las ventajas de la adsorción para la reducción de emisiones son:

- La operación de los sistemas es relativamente sencilla.
- Puede tratar una gran variedad de compuestos orgánicos.
- Se puede recuperar el producto.

Sus desventajas incluyen:

- Generación de residuos secundarios (carbón activado gastado) lo que puede generar un costo adicional por manejo y disposición final.
- Los costos pueden ser excesivos para corrientes con concentraciones elevadas.
- Algunos adsorbentes no pueden ser regenerados con facilidad lo que incrementa el costo de remplazo y mantenimiento.

### 3.4.2 Absorción

La absorción o *scrubbing*, es el proceso en el cual uno o más compuestos en una corriente de gas se transfieren selectivamente a un solvente relativamente no volátil. La fuerza para que se realice esta transferencia es el gradiente de concentración entre la corriente gaseosa y el solvente. El mecanismo puede ser únicamente físico o puede involucrar una reacción química entre el solvente y el contaminante a remover (Martin, 1992).

La velocidad de absorción depende entre otras de las propiedades físicas del sistema gas/líquido así como de las condiciones de operación. Para lograr una mejor velocidad de absorción se pueden utilizar temperaturas inferiores, áreas de contacto gas/líquido mayores, relaciones gas/líquido mayores; la absorción también se favorece con una mayor concentración del contaminante en la corriente gaseosa.

Los equipos de absorción incluyen torres empacadas, torres de platos y *scrubbers* venturi.

La tecnología de absorción para el control de compuestos orgánicos volátiles tiene limitaciones. La primera, se debe a que el COV debe ser soluble en el solvente. Segundo, que el solvente donde se absorbe el compuesto debe ser tratado. Si el solvente es base agua, este puede ser tratado en una planta de tratamiento de aguas residuales, sin embargo si se utiliza un solvente orgánico, este debe ser separado.

Las ventajas de la absorción incluyen:

- Costo relativamente bajo.

Desventajas

- Para obtener las eficiencias esperadas, los constituyentes de la corriente no deben cambiar una vez que se ha diseñado la columna.
- La recuperación del producto no es práctica.

### 3.4.3 Incineración

La incineración o combustión auxiliar es un proceso que se utiliza para remover contaminantes ya sea gases o vapores combustibles, de una corriente de aire. Se utiliza cuando el gasto volumétrico del aire es grande, pero la concentración del gas contaminante es pequeña. Existen diversos dispositivos para realizar la incineración en los que se incluyen incineradores de flama directa, térmicos y catalíticos.

### 3.4.3.1 Incineración por flama directa

Es un método por el cual los gases residuales se queman directamente en un quemador, que bien diseñado, permite quemar exitosamente un gas residual con un valor calorífico de alrededor de 3150 a 3350 kJ/m<sup>3</sup>, sin tener que recurrir a un combustible adicional. Este requisito de valor calorífico, se puede evitar precalentando la corriente de gas algunos cientos de grados ya que el límite de inflamabilidad inferior disminuye con el aumento de la temperatura. En cualquier caso la incineración por flama directa se deberá usar sólo en aquellas situaciones en las que los combustibles en el gas residual, contribuye con una porción significativa de la energía total requerida para la combustión. Esta contribución deberá ser, por razones económicas, mayor del 50 por ciento del valor calórico total requerido.

### 3.4.3.2 Incineración térmica

La incineración térmica se utiliza cuando el valor calorífico del gas residual está dentro del intervalo de 40 a 750 kJ/m<sup>3</sup>. Por lo general, la corriente de gas residual se precalienta en un intercambiador de calor y luego pasa a la cámara de combustión de un quemador, que trabaja con un combustible suplementario. De esta forma la corriente del gas se lleva por encima de su temperatura de autoignición y se quema con el oxígeno, usualmente presente en la corriente de gas. La incineración térmica se lleva a cabo a temperaturas dentro del intervalo de 648.88 °C y 982.22 °C (1200 y 1800 °F). Este intervalo de temperaturas hace menos costoso el diseño de la cámara de combustión y atenúa la posibilidad de una formación apreciable de los óxidos de nitrógeno.

Las consideraciones en el diseño de los incineradores térmicos, está representada por las tres T's de la combustión, Tiempo, Temperatura y Turbulencia o mezclado. El tiempo de residencia en el incinerador deberá ser suficiente para permitir completa combustión del material combustible, normalmente se encuentra dentro del intervalo de 0.2 a 0.8 segundos. La turbulencia se refiere a la cantidad requerida de mezclado mecánico a fin de asegurar el contacto completo del oxígeno con el combustible y de los contaminantes combustibles con los productos de combustión y el calor de flama. Se requiere menor tiempo de residencia si ocurre un mezclado adecuado y se utiliza una flama corta. Un aumento en una o en las tres Tes aumentará la posibilidad de remoción completa de los compuestos a controlar, y una disminución de cualquiera de ellas requerirá el aumento de las otras, a fin de mantener el mismo nivel de remoción de contaminante. Un aumento en la turbulencia mediante el diseño apropiado del quemador y los ductos, es en general la alteración más fácil y barata para un sistema de combustión.

El aumento de la eficiencia de combustión mediante un aumento en el tiempo de residencia es apropiada solamente hasta cierto grado, puesto que un tiempo más largo significa un quemador auxiliar mayor. Por lo tanto los costos iniciales podrían aumentar, con el uso de más combustible suplementario, lo que a su vez aumenta el costo de operación.

Los procesos en los cuales el contenido de compuestos orgánicos volátiles se puede controlar con éxito por la incineración térmica y que generan gastos volumétricos de 0.15 m<sup>3</sup>/s a 15 m<sup>3</sup>/s (300 a 30,000 scfm), incluyen el curado de cinta adhesiva, marmitas para el barniz, quemado de barniz, hornos para balatas de frenos, esmaltado de alambre, secadores de tejidos, casas

para ahumar carne, hornos de moldes metalúrgicos, hornos litográficos, curado de fibra de vidrio, tostadores de café, hornos para recubrir metales, efluentes de empacadoras, imprentas, estufas para hornear pinturas, hornos para curar plásticos y solventes de desengrasado.

### 3.4.3.3 Incineración catalítica

El incinerador catalítico es una tecnología que disminuye los tiempos de residencia de 0.3 a 0.9 s, típicos de las unidades térmicas, a valores de unas pocas centésimas de segundo. Esto se logra con el uso de un catalizador, que acelera la velocidad de la reacción química sin que él experimente un cambio químico. Además de reducir el tiempo de residencia, la utilización de catalizadores disminuye la temperatura de ignición lo que implica la disminución de los requerimientos de combustibles del proceso. Si se hacen pasar los gases residuales a través del lecho del catalizador se puede reducir hasta en 260 °C, la temperatura necesaria para la reacción exotérmica (Theodore, 1992). Esta tecnología está en proceso de desarrollo para el tratamiento de los compuestos orgánicos volátiles como lo demuestran los diferentes estudios que se están realizando : Hermia y Vigneron, 1993, Noordally et al, 1993, Freidel et al, 1993 y Müller et al, 1993.

La mayoría de los gases residuales que contienen contaminantes combustibles, procedentes de procesos industriales, están a una temperatura bastante baja, por lo que se utiliza algún tipo de precalentamiento para llevar el gas residual hasta la temperatura en la que el catalizador será efectivo. Son comunes temperaturas de operación de 316 °C a 538 °C. Las reacciones de oxidación ocurren en la superficie del catalizador. No se observa ninguna estructura directa de flama, pero la superficie del catalizador estará incandescente. La eficiencia de la combustión catalítica es del orden de 95 a 99 por ciento, de modo que los gases efluentes de la conversión catalítica estarán constituidos principalmente por dióxido de carbono, vapor de agua y nitrógeno. A las bajas temperaturas que opera el incinerador catalítico, la formación de óxidos de nitrógeno no representa un serio problema, a pesar de que el tiempo de residencia sea razonablemente largo. Los flujos de aire continuo que pueden ser tratados son de hasta 50 m<sup>3</sup>/s (100,000 scfm).

En la tabla 3.3 se presentan las temperaturas de operación para el control catalítico de compuestos orgánicos.

**Tabla 3.3 Temperaturas de operación para incineradores catalíticos**

Compuesto	Peso molecular	Temperatura de operación (°C)	Concentración tipo antes del tratamiento (ppm)
Tolueno	92.14	210	380
Acetato de etilo	88.11	350	550
Alcohol isopropílico	60.01	280	230
Alcohol etílico	46.07	350	550
Acetona	58.08	350	410
Metil etil cetona	72.11	220	380
Metil isobutil cetona	100.16	250	270
Benceno	78.12	210	380

Los tipos de catalizadores disponibles incluyen óxidos metálicos, metales preciosos y combinaciones de ambos que se usan para la reducción de hidrocarburos e hidrocarburos clorados. Como regla, los metales preciosos (especialmente el platino y el paladio) son preferidos por su actividad, resistencia a la desactivación y habilidad para ser regenerados. El platino se utiliza para hidrocarburos saturados y moléculas de alto peso molecular, mientras que el paladio se prefiere para el metano y olefinas de bajo peso molecular. Los catalizadores a base de óxidos de metal se prefieren por su menor costo, siempre que la corriente este libre de contaminantes que los envenenen tales como el azufre. Las composiciones de los catalizadores son propiedades de patente, sin embargo es común la utilización de platino en un porcentaje entre el 0.1 y 0.5, sobre un monolito  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  de alta superficie (Heck, 1994).

En algunos casos, se añaden pequeñas cantidades de Pd o Rh en reacciones donde el Pt puede ser deficiente. Las geometrías de los paneles varían dependiendo de la naturaleza de la alimentación y de las caídas de presión que maneja el equipo; por ejemplo, las corrientes que contienen polvo usualmente requieren diámetros mayores. Los canales más grandes disminuyen la caída de presión pero también tienen un área superficial menor por unidad de volumen, lo que disminuye su capacidad de transferencia de masa para dar la conversión esperada. La cantidad del catalizador también depende del grado de conversión deseado, por ejemplo, 30,000 l/hr del velocidad espacial dará un 99 % de conversión para un panel de 200 cpsi, mientras que 60,000 l/hr dará un 90 %.

Para corrientes que se sabe contienen grandes cantidades de azufre (mayores de 50 ppm), se seleccionan acarreadores para el Pt menos reactivos, como el  $\text{TiO}_2$  o la  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Estos acarreadores son relativamente inertes a la formación de sulfatos comparados con la  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Para corrientes sin azufre, se utilizan como catalizadores metales no preciosos como  $\text{CuO}$  o  $\text{CoO}$ , soportados sobre  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

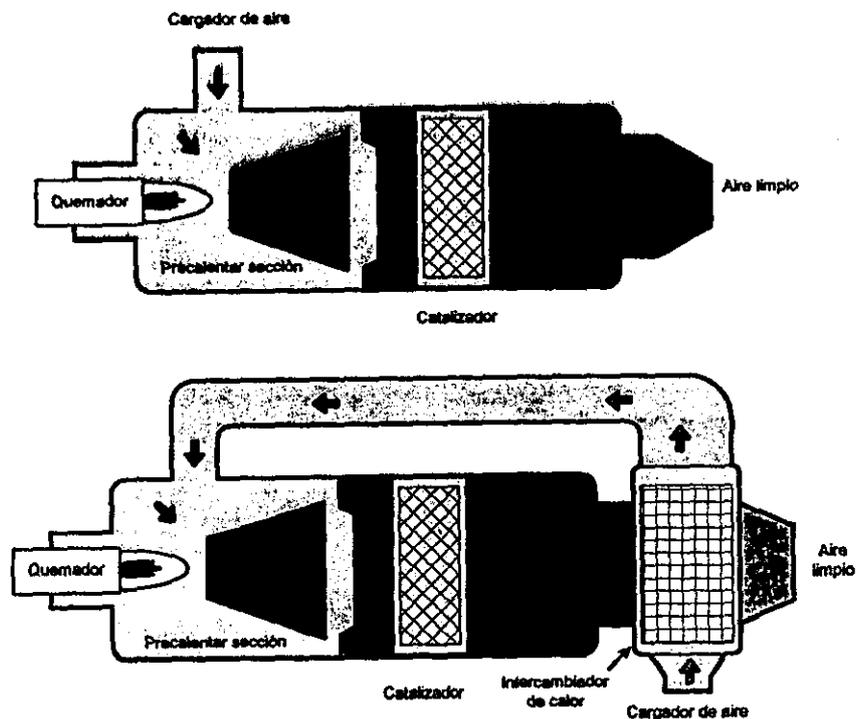
El soporte del catalizador es un monolítico o panel de abeja con 200 a 400 canales por pulgada cuadrada, bien sea sobre cerámica (cordierite) o metálica (aluminio o acero inoxidable). La estructura de panel ofrece como principal ventaja una menor caída de presión.

Los incineradores catalíticos tienen como desventaja el ser más sensibles a las características de la corriente gaseosa que un incinerador térmico. Por otra parte, ciertas sustancias en la corriente pueden envenenar el catalizador lo que reduce la eficiencia de tratamiento. Algunos venenos del catalizador incluyen fósforo, bismuto, plomo, arsénico, antimonio, mercurio, óxido de hierro, estaño, zinc y azufre.

Recientemente se empiezan a realizar estudios sobre los procesos de envenenamiento de los catalizadores. En su revisión de estos trabajos Spivey, 1992, concluyó que: los procesos de desactivación por los varios COV's considerados no parecen ser sustancialmente distintos del de otras reacciones de este tipo donde intervienen; si bien los compuestos clorados generalmente envenenan los catalizadores de metales nobles, las interacciones del cloro con el metal noble es compleja y en algunos casos reversible; la inhibición reversible de la actividad oxidativa por vapor de agua, ya sea producida en la reacción o presente en la corriente se observa a menudo, esto es particularmente pronunciada para catalizadores base óxido de metal; el azufre desactiva tanto los metales nobles como los óxidos de metal pero

aparentemente por mecanismos diferentes; la desactivación a lo largo del tiempo del catalizador tiende a cambiar tanto la actividad como la selectividad. En otro trabajo por Chen, 1992, se analizan las diversas causas para la desactivación de los catalizadores.

Los parámetros de diseño más importantes son el número de Reynolds, la geometría del área superficial del soporte del catalizador y el área de sección transversal. En la figura 3.4 se presentan dos arreglos de incineradores catalíticos, el segundo de ellos incluye un intercambiador de calor para aprovechar el calor de los gases de salida para pre-calentar la entrada de gases, lo que disminuye el consumo de combustible.



**Fig. 3.3 Dos arreglos de incineradores catalíticos**

Después de la revisión de la tecnología de incineración se pueden señalar como ventajas de la incineración las siguientes (Martin et al, 1992):

- Destrucción esencialmente completa de todos los contaminantes combustibles, si el diseño y operación son adecuados.
- Posibilidad de adaptar el equipo a cambios moderados en el gasto y concentración de la corriente.
- Eficiencia de control relativamente insensible al contaminante gaseoso específico.
- Ausencia de deterioro por funcionamiento, en el caso de incineración térmica.
- Posibilidad de recuperación económica del calor residual.

## Capítulo 4

# SELECCION Y DISEÑO DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES

---

En el presente capítulo se selecciona y dimensiona un equipo para el control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de las operaciones de impresión sobre película plástica que realiza la instalación del caso de estudio. Además de la revisión bibliográfica presentada en el capítulo anterior se revisó la literatura comercial de firmas de ingeniería que ofrecen este tipo de equipos.

Con esta información se seleccionó la tecnología más adecuada para el control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de las operaciones de flexografía que realiza la empresa auditada.

### 4.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROL DE EMISIONES DE COV'S

La selección de la tecnología para el control de las emisiones esta en función principalmente de las características de las corrientes a tratar. Como ya se ha mencionado las corrientes a tratar presentan en resumen las siguientes características.

- el flujo de gases es de 5.4 m<sup>3</sup>/s para la corriente de flexografía
- la concentración de compuestos orgánicos volátiles es baja < 50 ppm
- se espera una variación considerable para la concentración; de acuerdo con el diseño gráfico que se este produciendo.

Estas características hacen que ni la condensación ni la incineración por flama directa se puedan utilizar, porque la concentración de contaminantes es menor a la que se requiere para una eficiencia mayor de 90%.

Se han descartado el tratamiento biológico y la oxidación avanzada en fase vapor para reducir las emisiones de las corrientes ya que en México, no están todavía comercialmente disponibles para esta aplicación.

La literatura comercial ha citado a la incineración térmica regenerativa y la adsorción sobre carbón activado como tecnologías aplicadas y probadas para el control de emisiones provenientes de actividades de impresión (Salem, 1994 y JWP 1993).

La literatura comercial de la firma *Salem Engelhard* cita aplicaciones de equipos de oxidación regenerativos térmicos en actividades de imprentas, sistemas de pintado, curtido de pieles entre otras. Las capacidades de manejo de gastos varían entre 1 m<sup>3</sup>/s a 500 m<sup>3</sup>/s (2,000 a 1'000,000 scfm).

La firma JWP Air Technologies (JWP,1993), en su publicación *Meeting the Environmental Challenge* describe la aplicación de la oxidación regenerativa térmica en flujos gaseosos

## Capítulo 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

#### 5.1. CONCLUSIONES

De la revisión de la información bibliográfica sobre tecnología comercialmente disponible para el control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles generadas en el proceso de flexografía de una instalación de elaboración de envolturas plásticas, se pre-seleccionaron como técnicas de control la incineración térmica y la catalítica. Otras tecnologías de control incluyen la oxidación avanzada en fase vapor y la biofiltración, sin embargo estas se encuentran en fase de desarrollo y no se han aplicado comercialmente en el país.

De la comparación de los costos de inversión y operación, calculados mediante ecuaciones reportadas en la literatura, para las alternativas pre-seleccionadas incineración térmica y catalítica, se concluyó que para el control de las corrientes provenientes de los hornos de secado de las máquinas de flexografía que contienen acetato de etilo, alcohol etílico e isopropanol principalmente, con un gasto total de 5.4 m<sup>3</sup>/s y que no contienen compuestos clorados, el mejor equipo de control es un incinerador con las siguientes características:

- Tipo catalítico
- Catalizador metálico, no precioso
- Temperatura de operación de 350 °C
- Consumo de gas natural de 0.0197 kg/s
- Sin aire de dilución
- Cantidad de catalizador 0.467 m<sup>3</sup>

#### 5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda fomentar dentro del área de ingeniería ambiental la formación de personal calificado para la coordinación y supervisión de auditorías ambientales y capaces de diseñar equipos y técnicas de control, final del tubo y modificación del proceso, para reducir las emisiones contaminantes detectadas durante la auditoría.

La preparación deseable para realizar estas funciones incluyen un conocimiento amplio en materia de legislación ambiental y entrenamiento en las técnicas de auditoría. En el caso de diseño de equipos de control, se debe impulsar la creación de laboratorios donde a escala piloto se pueda generar la información necesaria para el diseño de dichos equipos.

Es importante que se continúe con el estudio y normalización de los compuestos orgánicos volátiles debido a que estos compuestos son precursores del ozono, uno de los principales contaminantes en las zonas metropolitanas del país, ya que actualmente la información y legislación disponible en México es muy escasa.

## BIBLIOGRAFIA

ANIQ, 1993, Apuntes del Taller de Auditorías Ambientales, nivel II, mayo 13-14, 1993, México D.F.

Bowman V., 1988, Checklists for Environmental Compliance, Pudvan Publishing Co., U.S.A.

Bohn H., 1992, Consider Biofiltration for Decontaminating Gases, Chemical Eng. Prog., april

Cooper D., Alley, F.C., 1994, Air Pollution Control, A design approach, Waveland Press, Inc., U.S.A.

Chen J, Heck R., Farrauto R, 1992, Deactivation regeneration and poison - Resistant Catalysts: Commercial experience in stationary pollution abatement, Catalysis Today, 11, 517-545

DOCE, 1992, Propuesta de directiva para la realización de auditorías medioambientales, Diario de la Comunidad Económica Europea, 27 de marzo de 1992

D.O.F. 1992, Acuerdo que regula la organización y funcionamiento interno del Instituto Nacional de Ecología y de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, 17 de julio de 1992

D.O.F. 1995, NOM-092-ECOL-1995 Que regula la contaminación atmosférica y establece los requisitos, especificaciones y parámetros para la instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo ubicadas en el Valle de México, Diario Oficial de la Federación, 6 de septiembre de 1995

D.O.F., 1995, NOM-075-ECOL-1995, Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de los separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo, Diario Oficial de la Federación, 26 de diciembre de 1995

D.O.F., 1996, Decreto por el que se Reforman, Adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Diario Oficial de la Federación, 13 de diciembre de 1996

D.O.F., 1991 NOM-CC-7-1990, Sistemas de Calidad - Auditorías de Calidad, 3 de enero de 1991

D.O.F., 1994, NOM-085-ECOL-1994, Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión, Diario Oficial de la federación, 2 de diciembre de 1994

EPA, SEDESOL 1992, Apuntes del Curso de Capacitación Fuentes y Control de Contaminantes Orgánicos Volátiles del Aire, Juárez, México, 1992

EPA, 1985, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I: Stationary Point and Area Sources, U.S.E.P.A. Office of Air and Radiation, Research Triangle Park, North Carolina, U.S.A., September.

EPA, 1986, Federal register, Code 51CFR25004, U.S.A.

Freidel, I., Frost A., Herbert K., Meyer F., Summers J., 1993, New Catalyst Technology for the Destruction of Halogenated Hydrocarbons and Volatile Organics, Catalysis Today 17:367-382

Greeno J., Hedstrom, G, Diberto, M., 1987, Environmental Auditing, Fundamentals and Techniques, Center for Environmental Assurance Arthur D. Little Inc., U.S.A.

Heck, R., Farrauto, R., 1994, Catalytic Air Pollution Control, Commercial Technology, Van Norstrand Reinhold, U.S.A.

Hermia J., Vigneron S., 1993, Catalytic incineration of odour abatement and VOC destruction, Catalysis Today, 17: 349-358

INE, 1997, Primer Informe Sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas, Instituto, Nacional de Ecología y Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, México, 1997

JWP , 1993, Meeting the Environmental Challenge, Información comercial

Katari, V, 1987, Incineration Techniques for Control of Volatile Organic Compound Emissions, Part , JAPCA, Vol. 37, No.1, 91-99.

Katari V., 1987, Incineration Techniques for Control of Volatile Organic Compound Emissions, Part II, JAPCA, Volume 37, 198-201

Lee B., 1991, Highlights of the Clean Air Act Amendments of 1990, JAWMA, Vol. 41, No. 1, 16-19

Lindgren, G., 1989, Managing Industrial Hazardous Waste, Lewis Publishers, U.S.A.

Librizzi, W, Lowery C., 1990, Hazardous Waste Treatment Processes, Including Environmental Audits and Waste Reduction, Water Pollution Control Federation, U.S.A.

Martin, A, Nolen S., Gess, P, 1992, Control Odors from CPI Facilities, Chem. Eng. Prog.

Müller, H., Deller K., Despeyroux B., Peldszus E., 1993, Catalytic Purification of Wastes Containing Chlorinated Hydrocarbons with Precious Metal Catalysts, Catalysis Today 17:383-390

Newton J., 1989, Environmental Auditing, Pudvan Publishing Co., U.S.A.

Noordally, E., Richmond J., Tahir S., 1993, Destruction of Volatile Organic Compounds by Catalytic oxidation, Catalysis Today 11:465-500

Perry R. y Green D., 1984, Perry's Chemical Engineer's Handbook, McGraw Hill, 50th Ed. U.S.A.

PROFEPA, 1994, Términos de Referencia para la Realización de Auditorías Ambientales, México

Roig R., 1992, "Introduction to Environmental Auditing", Apuntes para curso Infotec & U.C. Berkeley

Romero M., 1991, La auditoria ambiental como instrumento de prevención, Gerencia de Riesgos, Fundación MAPFRE, Año VIII, No. 32, 4o. Trimestre, España

Russel, 1992, Managing your Environmental Audit, Chem. Eng. Prog.

Salem Engelhard, 1994, Información comercial

Sax. I., 1974, Dangerous Properties of Industrial Materials, 3<sup>rd</sup>. Edition, Van Norstrand Reinhold Co., U.S.A.

Sedesol, 1995, Informe de la Situación Actual en materia de Medio Ambiente, México 1993-1994

Spivey, J. ad Butt, J. 1992, Literature Review, Deactivation of Catalysis in the Oxidation by Catalytic Oxidation, Catalysis Today 11:465-500

Theodore L, Bounicore A, 1992, Air Pollution Control Equipment, Volume II: Gases, CRC Press Inc., U.S.A.

Vatavuk M. 1990, Estimating Costs of Air Pollution Control, Lewis Publishers, Inc., U.S.A.

Wark K., Warner C., 1992, Contaminación del aire, Origen y Control, Editorial Limusa, México

**Apéndice I**  
**Lista de verificación aplicada al caso de estudio**

## NORMATIVIDAD APLICABLE A CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Objetivo:

Determinar el grado de cumplimiento de lo establecido en el Reglamento de la L.G.E.E.P.A en materia de contaminación a la atmósfera.

### Desarrollo:

Mediante la revisión de documentos establezca:

1. ¿Cuenta la empresa con la licencia de funcionamiento, inventario de emisiones, cédula de operación? Pedir copia. *RLGEEPA. Capítulo II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas art. 17 fracción VII y art. 18.*
2. Es zona crítica para emisiones? Se considera área urbana (>40 habitantes/hectárea, en un radio de 1500 m.)?
3. Se realizan controles de las emisiones por parte de empresas externas?. ¿Qué empresa lo realiza?. ¿Posee acreditación?. ¿Con qué periodicidad?. ¿En qué focos se mide (diferenciar equipos de combustión y resto de focos)?.
4. ¿Se registran resultados, según formato determinado por la Secretaría? *RLGEEPA. Capítulo II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas art. 17 fracción IV*
5. ¿Se remiten los resultados a la Secretaría?. Frecuencia.  
*RLGEEPA. Capítulo II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas art. 17 fracción IV*

6. ¿Se realizan autocontroles de las emisiones?. Frecuencia y focos. Métodos de medidas de emisiones que se utilizan, capacitación del personal que realiza los muestreos, programa de calibraciones y control de equipos de medida.

7. ¿Se realiza monitoreo perimetral?. ¿Están obligados a realizarlo?. Indicar puntos exactos, distancias, parámetros que se controlan, métodos utilizados, formalización de resultados, presentación a la administración.

*RLGEEPA. Capítulo II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas art. 17 fracción V.*

8. ¿Les ha remitido la Secretaría periodicidad para realizar inventario, medición y monitoreo de sus emisiones?. ¿Tienen fijados límites específicos por parte de la administración, o son los generales?. Indicarlos. Pedir copia de los resultados de los últimos muestreos.

9. ¿ Se avisa con tres días de anticipación a las autoridades de la SEMARNAP la realización de simulacros de brigadas contra incendio y si se realizan prácticas con combustión a cielo abierto?

## IDENTIFICACION, LOCALIZACION Y CUANTIFICACION DE EMISIONES

### Objetivo:

Identificar, localizar y cuantificar las emisiones a la atmósfera conducidas y fugitivas, provenientes de equipos de combustión y otros equipos así como las tecnologías de reducción de emisiones instaladas o implantadas.

### Desarrollo:

1. Con base en resultados de mediciones anteriores o factores de emisión o balances de materiales, determine los contaminantes emitidos así como si las emisiones cumplen los límites establecidos en la NOM-085-ECOL- 1994

Equipo	SO <sub>2</sub> * (unidades)	NO <sub>x</sub> * (unidades)	Partículas * (unidades)	COV's * (unidades)	Otros * (unidades)

\* t/año o mg/m<sup>3</sup>N

### EMISIONES FUGITIVAS

1. Identificar los puntos de emisiones fugitivas de compuestos orgánicos volátiles.
2. ¿Existen métodos que disminuyan las emisiones fugitivas? ¿Se canalizan?.  
Describir y localizar.  
*RLGEEPA. Capítulo II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas art. 23.*

## TECNOLOGÍAS DE REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS

1. En el caso de existir establezca los equipos de reducción de emisiones que la empresa haya instalado. Tabule esta información.

*RLGEEPA. Capítulo II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas art. 17 fracción I.*

% de reducción emisión

Nombre	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partículas	Otros (_____)

Tomar fotografías de los equipos de control

2. Indicar la ubicación de los sistemas de control de emisiones en servicio de la planta, así como la procedencia de los gases que trata cada uno de ellos, eficacia teórica y real.

3. ¿Se han llevado a cabo modificaciones o innovaciones tecnológicas en los sistemas de control?. Descripción, fecha e importe de las inversiones realizadas.

4. ¿Se ha realizado algún cambio en los sistemas de producción actual a fin de reducir emisiones en origen?. Descripción, fecha e importe de las inversiones realizadas.

5. ¿Poseen bitácora de operación y mantenimiento de equipos de proceso y/o control de emisiones? ¿Existe programa escrito y partida presupuestaria específica para mantenimiento de equipos de control?.

*RLGEEPA. Capítulo II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas art. 17 fracción VI.*

6. Incidencias en los equipos de control de emisiones, desconexiones, número de paros por día, mes o año. Exceso de aire en la combustión.

*RLGEEPA. Capítulo II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas art. 17 fracción VIII.*

7. ¿Existe por escrito programa de incidencias y acciones a realizar en caso de que las condiciones meteorológicas de la zona sean desfavorables para la dispersión?. Idem, en caso de emisiones esporádicas fuera de control?. Está aprobado por la Secretaría?. Detalle del programa.

*RLGEEPA. Capítulo II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas art. 17 .*

### Combustibles

¿Datos del combustible empleado según certificado?

¿Llevan bitácora de los certificados de calidad del combustible empleado?

### CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES NOM-086-ECOL-1994.

Tipo	Consumo	Unidad	% S	% Cenizas	% retención S en cenizas	PC.I. (Kcal/kg)

### Equipos de combustión

¿Llevan bitácora de operación y mantenimiento de los equipos de combustión, medición y análisis de las emisiones? *Reglamento de LGEEPA en materia de contaminación al aire.*

¿Tiene la bitácora como mínimo la siguiente información: control de operación, fecha, turno, hora de reporte, presión de vapor, temperatura de gases, temperatura de agua de alimentación, temperatura y presión de combustión, calor de horno, purga de fondo, purga de nivel, disparo de válvula de seguridad, consumo de combustible?

*NOM-085-ECOL-1994*

¿Cuánto tiempo duran las operaciones de arranque?

¿Periodicidad de las operaciones de soplado?

## CARACTERÍSTICAS DE LAS CHIMENEAS

### Objetivo:

Evaluar las condiciones de las chimeneas así como el de las plataformas y puertos de muestreo.

### Desarrollo:

Identificar en planos y físicamente todas las chimeneas de caldera y equipos de combustión, verificando su capacidad y consumo de combustible, y la frecuencia de mediciones que se realicen a los gases de combustión. Tomar fotografías de las chimeneas.

Equipo	Capacidad MJ/hr	Ubicación	Consumo comb m <sup>3</sup> /mes	Diam/altura (m / m)	Ptos. de muestreo / plataforma	Frecuencia de mediciones

Indicar si cuenta o no con plataformas y puertos de muestreo.

*RLGEEPA. Capítulo II. De la emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas art. 17 fracción III.*

Identificar en planos y físicamente todas los ductos provenientes de otros equipos de proceso (campanas de extracción, condensadores, colectores de polvo, etc.), verificando el contaminante que conduce, características de la chimenea, gasto, resultados de emisiones anteriores.

### Normas aplicables:

NOM-AA-35	"Determinación de la emisión de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión"
NOM-AA-114-91	"Determinación de la densidad de humo en los gases de combustión que fluyen por un conducto o chimenea - Método del número de mancha"
Method 7E EPA	Para la medición de óxidos de nitrógeno por el principio de quimiluminiscencia
NOM-AA-10-74	"Determinación de la emisión de partículas sólidas en los gases que se descargan por un ducto "
NOM-AA-9-73	"Determinación de flujo de gases en un conducto por medio del tubo pitot"
NOM-AA-54-78	"Determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto"

### Límites de comparación:

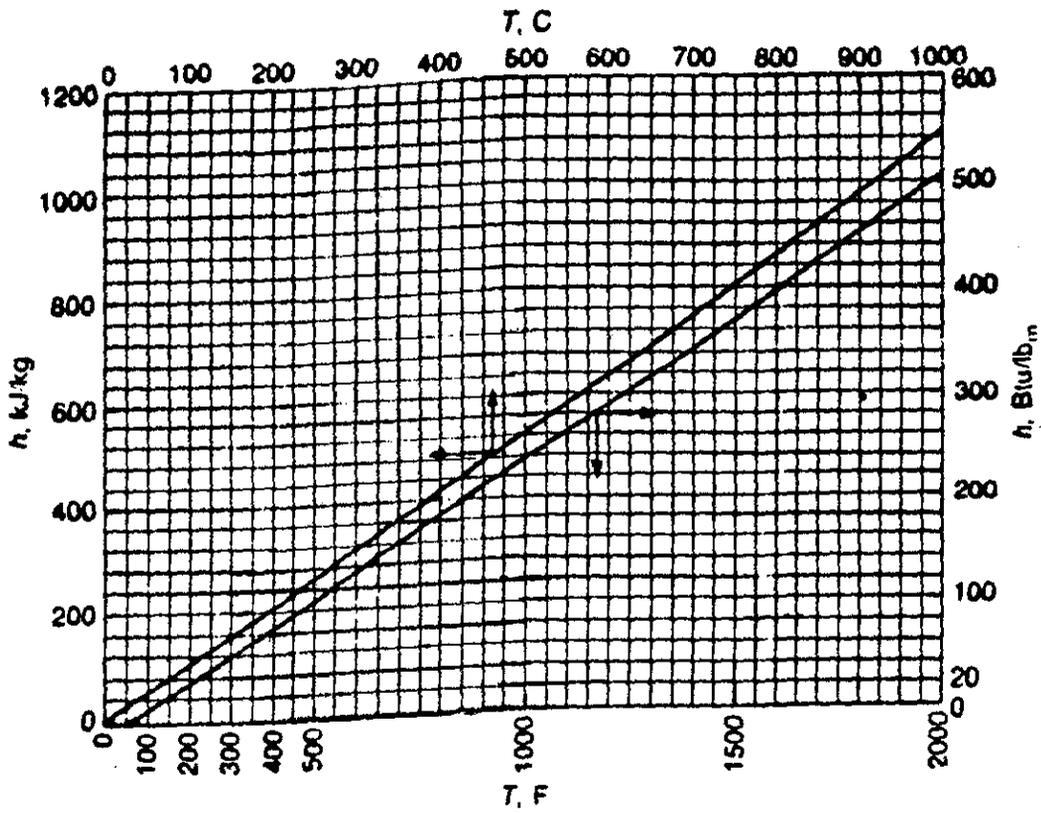
NOM-085-ECOL-1994: "Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y humo, así como los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de combustión de calentamiento indirecto utilizados en las fuentes fijas, que usan combustibles fósiles líquidos y gaseosos o cualquiera de sus combinaciones".

### Equipo a utilizar:

- 1.- Equipo Bacharach modelo 342
- 2.- Thermo Environment Mod. 10 AR
- 3.- Boquilla muestreadora
- 4.- Sonda de muestreo de vidrio
- 5.- Termopar
- 6.- Medidor de presión
- 7.- Manómetro inclinado
- 8.- Tupo pitot "S"
- 9.- Equipo Graseby Andersen

**Apéndice II**  
**Datos de entalpía y densidad del aire**

Entalpia específica del aire. Los datos de temperatura son 60°F para la curva en unidades inglesas o 0°C para curva en el Sistema Internacional de Unidades



Tomada de Cooper, 1994

## Propiedades del Aire

Temp °F	Calor específico a presión constante (Cp) Btu/lb <sub>m</sub> °F	Viscosidad absoluta ( $\mu$ ), lb <sub>m</sub> /hr-ft	Conductividad térmica (k) Btu/hr-ft-°F	No. Prandtl (C $\mu$ /k) (adimensional)	Densidad ( $\rho$ ) lb <sub>m</sub> /ft <sup>3a</sup>
0	0.240	0.040	0.0124	0.77	0.0863
20	0.240	0.041	0.0128	0.77	0.0827
40	0.240	0.042	0.0132	0.77	0.0794
60	0.240	0.043	0.0136	0.76	0.0763
80	0.240	0.045	0.0140	0.77	0.0734
100	0.240	0.047	0.0145	0.76	0.0708
120	0.240	0.047	0.0149	0.76	0.0684
140	0.240	0.048	0.0153	0.76	0.0662
160	0.240	0.050	0.0158	0.76	0.0639
180	0.240	0.051	0.0162	0.76	0.0619
200	0.240	0.052	0.0166	0.76	0.0601
250	0.241	0.055	0.0174	0.76	0.0558
300	0.241	0.058	0.0182	0.76	0.0521
350	0.241	0.060	0.0191	0.76	0.0489
400	0.241	0.063	0.0200	0.76	0.0460
450	0.242	0.065	0.0207	0.76	0.0435
500	0.242	0.067	0.0214	0.76	0.0412
600	0.242	0.072	0.0229	0.76	0.0373
700	0.243	0.076	0.0243	0.76	0.0341
800	0.244	0.080	0.0257	0.76	0.0314
900	0.245	0.085	0.0270	0.77	0.0295
1,000	0.246	0.089	0.0283	0.77	0.0275
1,200	0.248	0.097	0.0308	0.78	0.0238
1,400	0.251	0.105	0.0328	0.80	0.0212
1,600	0.254	0.112	0.0346	0.82	0.0192
1,800	0.257	0.120	0.0360	0.85	0.0175
2,000	0.260	0.127	0.0370	0.83	0.0161

<sup>a</sup>  $\rho$  tomada a una presión de 29.92 in. de mercurio

Adaptada del *Air Pollution Engineering Manual* (2<sup>nd</sup> ed.), AP-40, J.A. Danielson, Ed. Washington, D.C.:  
U.S. Environmental Protection Agency, 1973

Tomada de Cooper, 1994.