



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS URBANOS

NORMAS GENERALES Y DE RESTRICCIÓN PARA LA INCINERACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS

Del 05 al 16 de Agosto de 2002

CI-313

Ing. Miguel Alonso Castillo Hoil
DGSU
2002

**EXPERIENCIAS EN CERTIFICACIÓN DE PRUEBAS
DE INCINERACIÓN**

EXPERIENCIAS EN CERTIFICACION DE PRUEBAS DE INCINERACION

**Ing. Alfonso Espitia Cabrera
UAM-Azc.**

A partir de 1976, una vez que entro en vigor la norma 087, la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, UAM-Azc. ha sido invitada a participar como Organo facultado, en la "certificación" de pruebas de incineración de residuos peligrosos, inicialmente en el área de los residuos biológicos infecciosos en incineradores de residuos hospitalarios.

Adicionalmente, La UAM también ha participado en pruebas de destrucción térmica de combustibles alternativos a partir de aceites y solventes gastados, de trapos impregnados con grasas y aceites, de llantas, de hule duro, así como de residuos consistentes en recortes de lodos de perforación de pozos petroleros, en hornos cementeros.

A la fecha, la UAM-Azc. ha certificado pruebas en 10 incineradores hospitalarios localizados en 5 estados de la República y en la Zona metropolitana de la Ciudad de México. Y en cuatro hornos cementeros en cuatro estados de la República.

En todos los casos, la UAM -Azc participó como Organismo Facultado, conjuntamente con un Consultor y un Laboratorio de análisis y muestro de contaminantes atmosféricos certificado por SINALP a excepción de dos pruebas al inicio de estas actividades.

Como un dato importante, otras instituciones que han participado certificando este tipo de pruebas son las siguientes: La Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM a través de la Facultad de Química, el Instituto Politécnico Nacional, IPN a través de la Escuela de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, ESIQUIE, El Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ITESM, Campus Monterrey, la Universidad de Querétaro, El Colegio de Químicos de Acapulco, la Universidad de Veracruz y la Universidad de Colima.

OBJETIVOS DE LA CERTIFICACION.

Toda vez que el concepto de la certificación no ha sido definido explícitamente por la autoridad, para fines operativos, la UAM-Azc ha establecido en las pruebas en las que ha participado como objetivos de la certificación los siguientes :

- Verificar que se lleva a cabo el muestreo de contaminantes atmosféricos establecido en el protocolo de pruebas de incineración autorizado por el Instituto Nacional de Ecología

- Verificar que el muestreo se realiza con las normas establecidas en México para tal efecto, en particular las normas MX, establecidas por la SECOFI o bien por normas aprobadas por Organismos reconocidos como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, EPA.
- Verificar que se utilicen equipos de medición en buen estado y que puedan dar resultados confiables
- Verificar que el personal que participa en los muestreos conozca las técnicas y tenga las habilidades para llevar a cabo los muestreos con criterios de aseguramiento de calidad

Cabe mencionar que no se verifican los análisis realizados a las muestras por las siguientes razones :

1. Los laboratorios están certificados por Sistema Nacional de Laboratorios de Prueba, SINALP y por el Centra Nacional de Metrología, CENAM de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, SECOFI.
2. Los tiempos en los que se llevan cabo los análisis son muy flexibles para el laboratorio en función de sus cargas de trabajo y su programación de actividades, lo que hace difícil que se pueda programar que personal de la UAM-Azc. supervise este trabajo.

Sin embargo, es importante señalar que un punto en el que se pone énfasis es en el manejo de las muestras las cuales se deben de preservar adecuadamente y entregar a tiempo al laboratorio.

Asimismo, antes de emitir una opinión técnica sobre el trabajo realizado por el Laboratorio, se confrontan los resultados reportados en el reporte final con los resultados que se obtienen en campo en forma directa o con otros indicadores tales como la existencia de emisiones visibles en la prueba, las condiciones de operación del equipo durante la prueba y el estado mismo del equipo y se revisa cuidadosamente la memoria de cálculo que se entrega en el reporte.

ASPECTOS DE LA CERTIFICACION

Con el objeto de establecer las condiciones en las que se llevan a cabo las pruebas de incineración o destrucción térmica de los residuos se describe el estado de las instalaciones; utilizando los términos que están contemplados en el "Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana que regula las instalaciones destinadas al tratamiento térmico de materiales y residuos provenientes de cualquier actividad y sus emisiones al ambiente" en las diversas versiones que ha tenido.

Para tal efecto se ha diseñado una hoja de campo que incluye los siguientes aspectos, en lo que respecta a los incineradores de residuos biológicos infecciosos, pero que se pueden aplicar a otros sistemas de incineración o de destrucción térmica de residuos.

Identificación de la empresa promovente y del protocolo:

Se registra el nombre de la empresa, la ubicación de la misma, la fecha en que se lleva a cabo la prueba, la capacidad del incinerador y una descripción breve del mismo, incluyendo su capacidad.

Descripción de las instalaciones

Se describe la ubicación del equipo de incineración con mayor detalle, resaltando lo siguiente :

- Distancia a zonas habitacionales
- Distancia a oficinas internas
- Ancho adecuado de calles internas
- Área de amortiguamiento

Se describe la infraestructura existente para la recepción, almacenamiento y operación de los residuos, en particular se asienta si existen los siguientes elementos y las características de los mismos:

- Laboratorio de soporte
- Planta de emergencia
- Equipo de pesado de los residuos: tipo y capacidad
- Almacén temporal, capacidad de almacenamiento y sus características
- Diques de contención en el área de almacenamiento
- Existencia de áreas confinadas
- Sistemas de medición de radiaciones y tipo con fecha de certificación de la Comisión Nacional de seguridad nuclear y Salvaguarda

Con respecto a las instalaciones de muestreo se describen las características de la plataforma de muestreo y la ubicación de los puertos de muestreo para la selección de los puntos de toma de muestra para obtener muestras representativas.

Asimismo, se describen las prácticas de manejo de los residuos, el manejo de etiquetas, bolsa, Etc.

Finalmente en este rubro se asienta si se manejan residuos con porcentaje de cloro o de sus compuestos, con el objeto de presumir la formación de dioxinas y furanos como productos de la incineración.

Específicamente en lo que se relaciona al incinerador, se describen los siguientes puntos ;

- Sistema de alimentación : automático o manual , continuo o intermitente y si cuenta en el caso de ser automático con un sistema de paro automático de la alimentación
- Si la alimentación al incinerador es directa o cuenta con sistema de doble compuerta que permite controlar el aire de combustión.
- Se especifica si tiene doble cámara para alcanzar una oxidación completa
- Tipo de material de construcción
- Quemadores auxiliares (cuantos)
- Instrumentación disponible, en particular si cuenta con : termopares, válvulas solenoides para control de flujo, placas de orificio, rotametros, manómetros u otros, así como si cuentan con sistemas de adquisición de datos de los parámetros que se midan o si cuentan con graficadores.
- Volumen de la 2a. cámara y tiempo de residencia (V/Q) tomando la lectura del gasto en la segunda cámara durante el muestreo. Utilizando este parámetro como un indicador de eficiencia de la destrucción térmica.
- Equipo de control, especificando su principio de operación, su capacidad y si opera en forma continua o intermitente

Con respecto a la operación se describe si se cuenta con los siguientes elementos:

- Manuales de operación y mantenimiento

- Programa de entrenamiento
- Personal calificado, especificando por quien.
- Si se mide temperaturas en la cámaras (900 °C y 1200 °C)
- Si opera con presión negativa en las cámaras
- Si tiene control automático
- Si cuenta con opacímetro o algún otro equipo de medición contaminantes o parámetros de contaminación atmosférica
- El manejo de los residuos en particular si se cuenta con la caracterización o se caracterizan antes de introducirlos al incinerador,
- El manejo de las cenizas, si estas tienen características CRETIB y el modo de disposición.

Protocolo de prueba

Con respecto al protocolo se especifica si se miden los siguientes parámetros y el método con que esto se realiza.

- Monóxido de carbono
- Oxígeno
- Dióxido de carbono
- Partículas
- Dióxido de Azufre
- Oxidos de Nitrógeno
- Hidrocarburos totales
- Ácido clorhídrico
- Cloro total
- Dioxinas y furanos
- Mercurio y sus compuestos
- Plomo y sus compuestos
- Cromo y sus compuestos
- Otros metales

Se describen las condiciones en las que se llevo a cabo el protocolo, en particular las siguientes :

1. Capacidad de operación durante la prueba y si es por etapas

2. Características de los siguientes equipos de medición, asentando sus constantes de calibración y la fecha en las que se llevó a cabo la calibración :

- Celda electroquímica
- Oxidos de Nitrógeno
- Orsat/monoxor
- Muestreador de partículas y estado de sus componentes :
 - boquilla
 - gasometro
 - Tubo Pitot
 - termopares : gasometro, sonda, impactor final, filtro de caja caliente,
 - constantes de calibración del gasometro seco y valor de la $\Delta H @$
 - balanza para pesado de impactores

3. se describe si se contó con cadena de custodia para establecer la posesión de la muestra desde que fue colectada hasta que se complete el análisis y que debe de incluir, como mínimo:

- Nombre de la compañía
- Lugar de muestreo
- Fecha de muestreo
- Hora de toma de la muestra
- Tipo de proceso que produce el residuo
- Información de campo
- Lugar (es) en donde se conservara la muestra
- Cadena de posesión y fecha de las mismas

Se verifica que la muestra se selle y etiquete para su entrega al laboratorio y se especifique el análisis requerido

4. Se verifica que se lleve acabo y se cumpla con la prueba de hermeticidad /infiltración

5. Se asienta la fecha de preparación de reactivos y su caducidad, incluyendo el nombre del proveedor

6. Tipo de almacenamiento de muestras (vidrio, polietileno, Etc.)

7. tiempo de retención de la muestra.

8. Tipo de preservación de muestras

9. Se especifica quién opero el equipo

10. Se registran los siguientes resultados de muestreo en campo

Parámetro	preliminar	1a. comida	2a comida
isocinetismo			
fugas finales en cada puerto (max 4% o < 0.02 acfm)			
temperatura de la chimenea			
ΔP (" H ₂ O)			
ΔH (" H ₂ O)			
Presión estática (" H ₂ O)			
Presión barométrica (" Hg)			
Temperatura del gasómetro			
Oxígeno (%V)			
CO ₂ (% V)			
H ₂ O (g)			
Volumen muestreado (m ³)			

Si se tiene un monitoreo en forma continua se lleva a cabo lo siguiente :

- a) inspección física del equipo
- b) revisión de la instalación: puertos, línea caliente, sistemas de manejo de flujo, sistemas de acondicionamiento de la muestra, sistemas de medición.
- c) gases de calibración y sistema de calibración
- d) Sistema de adquisición y manejo de datos.
- e) procedimientos y periodicidad del mantenimiento.

Se aplica la normatividad de la EPA (40 CFR 60 appendix B,F y 40 CFR 75 appendix A,B), evaluando los siguientes puntos:

1. **En general:** Unidades de reporte, tiempo/frecuencia y promedio de reporte.
2. **Pruebas de Certificación:** Exactitud relativa, desviaciones, linealidad de la respuesta, pruebas de error de calibración, tiempo de ciclo/respuesta y pruebas del sistema de adquisición y manejo de datos.
3. **Procedimientos de Control de calidad/Aseguramiento de calidad:** exactitud relativa, desviaciones, linealidad, error en la calibración y pruebas de interferencia

Como un marco de referencia se utilizan las siguientes normas :

Parámetro	Norma
Localización de puertos y determinación del número de puntos transversos	NMX-AA-09/1993
Contenido de humedad	NOM-AA-54-1978
Composición volumétrica de los gases de combustión en base seca	NOM-AA-35-1976
Partículas suspendidas totales	NMX-AA-10/1974
Monóxido de carbono	Celda electroquímica / NMX-AA-35-1976 o bien el uso de MONOXOR
Ácido clorhídrico	NOM-AA-70-1980
Plomo	Método 29 de la EPA
Mercurio	Método 29 de la EPA
Cromo total	Método 29 de la EPA
Arsénico	Método 29 de la EPA
Monitoreo continuo	Métodos de la Nom 085-ECOL/94 o métodos aprobados por la EPA

Finalmente, se registran las condiciones en las que se lleven a cabo los muestreos y se asienta lo siguiente ::

1.- Preparación de la prueba
registro de peso y tipo de residuo
2.- Realización de la prueba
contaminantes muestreados
3 Condiciones durante el muestreo
composición del tipo de residuo
4. Toma de muestras en la chimenea
descripción del equipo de muestreo
verificación de que las hojas de campo estén llenas de acuerdo al muestreo
registro del procedimiento de conservación de muestras
manejo de las muestras

Si la empresa permite tomar fotografías se incluye un anexo fotográfico en el reporte.

Finalmente, una vez que se tienen los resultados del muestreo proporcionados por el laboratorio, se analiza la memoria de cálculo, se verifica que se hayan hecho las correcciones por exceso de aire y se comparan con los resultados encontrados en campo y si estos se encuentran dentro del mismo intervalo se entrega la carta de certificación como Organismo facultado.

OPERACIÓN Y MANEJO DE INCINERADORES

EXPERIENCIAS PARTICULARES EN LA OPERACIÓN Y MANEJO DE INCINERADORES

**Instituto Nacional de Ecología
Organización Panamericana de la Salud
Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias
Ambientales A.C.**

México D. F. agosto 27 y 28 de 1998

INFORMACION DE LA EMPRESA

Nombre o Razón Social :	Ciba Especialidades Químicas México S.A. de C.V.
Domicilio :	Km. 43.5 carretera Guadalajara - Ocotlan
CP y Ciudad :	45930 Atotonilquillo, Jal.
Teléfonos :	Tel. 91(373) 7-0650 Fax 91(373) 7-1160
R.F.C. :	CEQ-970301-NP2
Representante Legal :	Ing. Francisco Bonilla García Gerente de planta.

BREVE HISTORIA DE LA EMPRESA

Ciba es una empresa química con sede en Basilea Suiza, que con sus productos ha estado presente en México desde el año 1920.

Formada por la fusión de grandes empresas, en 1971 Ciba de México con Geigy Mexicana y, recientemente -marzo el presente año- con la empresa Sandoz de la cual resulto Novartis y de la escisión de ésta ultima resulto **Ciba Especialidades Químicas México S.A. de C.V.**

Desde el año 1965 cuenta con una planta de producción en Atotonilquillo, Jal., la cual se dedica en la actualidad a la fabricación de colorantes y auxiliares para la industria textil.

Ciba como se conoce hoy, se ha caracterizado por su preocupación y cuidado del medio ambiente, aplicando la más moderna tecnología para el tratamiento y disposición de sus residuos inevitables, lo que la ha convertido en **Líder en la Protección del Medio Ambiente.**

En su planta de Atotonilquillo, Jal., opera un sistema de Incineración para Residuos Peligrosos, autorizado por el Gobierno, el cual inicio su funcionamiento el 29 de septiembre de 1989 y tiene una capacidad de 2,000 ton/año.

La planta esta ubicada hacia el sur de la ciudad de Guadalajara, Jal. por la carretera hacia Ocotlan, Jal.

TECNOLOGIA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO POR INCINERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

ALIMENTACION DE LOS RESIDUOS

Los Residuos Peligrosos sólidos, se alimentan al incinerador a través de un sistema automático que eleva y descarga dentro de la cámara de combustión primaria (cilindro rotatorio), el contenido de un pequeño tambor.

Los Residuos Peligrosos líquidos se alimentan a través de una esprea que los atomiza directamente en el centro de la flama del quemador principal.

Los Residuos Peligrosos pastosos son preparados en un mezclador de doble gusano hasta lograr una consistencia tal que pueda ser manejada por una bomba de desplazamiento positivo, para ser alimentados en la base de la cámara de combustión primaria.

INCINERACION DE LOS RESIDUOS

Los Residuos Peligrosos son depositados en la parte alta de la cámara de combustión primaria (cilindro rotatorio) donde, una vez cerrada para evitar la posible salida de gases del interior mediante la base del mismo elevador, son incinerados.

La incineración se lleva a cabo en un rango de temperatura de 800 a 1,200 °C, una parte de los mismos se convierte en cenizas que son descargadas al final de la cámara primaria donde son recibidas en agua para enfriarlas y llevadas al exterior por un sistema continuo de rastras o cepillos que las deposita en un contenedor, de donde son muestreadas para ser analizadas y posteriormente confinadas dentro de las instalaciones de Ciba.

LAVADO DE LOS GASES DE COMBUSTION

Otra parte de los Residuos Peligrosos es transformada en gases, producto de la combustión que son enfriados mediante un Quenche o enfriador de contacto directo con agua, para después pasar a un sistema de lavado de gases consistente en dos torres lavadoras de varias etapas, una vez limpios los gases son descargados a la atmósfera a través de una chimenea donde son monitoreados de manera continua con equipos automáticos.

ENFRIADOR DE GASES O QUENCHE

Es un equipo de grafito, lo que le da resistencia química, y su función es enfriar los gases por contacto directo con agua, para después realizar el lavado de los mismos. la temperatura de salida del Quenche es de 70 a 80 °C.

En su parte baja contiene una sección empacada con anillos "raschig" de grafito que funciona como una primer etapa de lavado ácido.

TORRE LAVADORA No. 1

Es una torre cilíndrica vertical de acero al carbón, con un recubrimiento interior ahulado, lo que la hace resistente a la corrosión.

Esta torre trabaja en flujo paralelo descendente y el líquido lavador es agua, consta de una sección empacada para la absorción de los gases, una sección para atrapar neblinas o aerosoles y otra sección que es un separador de rocío.

TORRE LAVADORA No. 2

Es un equipo de las mismas características que la torre anterior, que trabaja en flujo contracorriente y el líquido lavador es agua con sosa cáustica, consta de una sección empacada un separador de rocío y burbujeo de aire en el tanque de la torre para oxidación de compuestos atrapados en el líquido lavador.

CHIMENEA PRINCIPAL Y MONITOREO DE GASES

Después de lavados los gases, son descargados a la atmósfera por una chimenea en la cual se monitorean de manera continua los siguientes gases :

- Monóxido de carbono
- Bióxido de carbono
- Oxígeno
- Bióxido de azufre
- Gases nitrosos

y de manera periódica con equipos portátiles y trenes de muestreo .

- Isocinetico de partículas
 - Acido clorhídrico
 - Hidrocarburos totales
 - Trióxido de azufre
-

EQUIPO PARA TRATAMIENTO POR INCINERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

Para el tratamiento de los Residuos Peligrosos se utiliza un incinerador tipo Rotatorio con cámara de Post - combustión de gases y torres lavadoras, el diseño de esta instalación fue realizado por la Ingeniería de Ciba en la casa Matriz de Basilea, Suiza, ya que cuentan con experiencia de más de 20 años en diseño, construcción y operación de instalaciones para el tratamiento térmico de residuos peligrosos en Europa, Asia y Estados Unidos de Norteamérica.

Ciba se apoyo para el diseño y construcción del Incinerador Rotatorio de México, del departamento de termodinámica de la UNAM y técnicos, constructorēs y proveedores Mexicanos en las áreas civil, eléctrica, mecánica, instrumentación, recubrimientos, etc.

COMPONENTES PRINCIPALES DE LA INSTALACION

Horno o Cilindro Rotatorio.

Cámara de Post - combustión de Gases.

Enfriador de Gases o Quenche.

Torre Lavadora No. 1.

Torre Lavadora No. 2.

Chimenea principal y Monitoreo de Gases.

HORNO O CILINDRO ROTATORIO

Es un cilindro metálico de 2 m de diámetro y 8 m de longitud, recubierto interiormente con ladrillo refractario de características especiales y espesor de 25 cm, contiene esta cámara primaria de combustión con un quemador a base de aire y gas LP para dar la temperatura de incineración de 800 a 1,200 °C.

Los Residuos Peligrosos son alimentados a través de un sistema automático, lo que hace una operación segura al minimizar el contacto de éstos con los operadores.

CAMARA DE POST-COMBUSTION DE GASES

Es la cámara secundaria de combustión, y consiste en un cilindro vertical con volumen suficiente para dar el tiempo de retención a los gases para una total destrucción. La temperatura de operación es medida después de esta segunda cámara, para que no tenga la influencia directa de los quemadores.

EQUIPOS AUXILIARES

TORRE DE ENFRIAMIENTO

Marca B.A.C. Pritchard, modelo CFT-2414, capacidad 586 GPM, temp. entrada = 35 °C, temp. salida = 25 °C, motor 15 HP a 1,750 RPM.

INTERCAMBIADOR DE CALOR

Marca "Sigri" Electrographit GMBH, tipo R573-2-8530, área = 25 m² procedencia Alemania.

COMPRESOR DE AIRE

Marca "Sullair", motor de 40HP, capacidad 146 ft³/min.

SUBESTACION ELECTRICA

Capacidad 500 KVA, 25 KV-449/254V.

GENERADOR ELECTRICO DE EMERGENCIA

Marca Caterpillar, modelo D333, 1,800 RPM, 125 KV, 60 ciclos, capacidad 100 KW.

EVAPORADOR DE GAS LP.

Marca Sam Dicks Industries. modelo Q-160V, capacidad 305 kg gas LP/hr; superficie de intercambio 1.12 m², temperatura 77 °C.

CISTERNA DE SUMINISTRO DE AGUA

Fabricada en concreto, capacidad 120 m³, con dos bombas "Faibranks-Morse" de 40 HP a 1,750 RPM, 30 l/seg. a 200 ft..

MONITOR CONTINUO DE GASES DE CHIMENEA

Para medición de SO₂ y NO_x.

Marca "Horiba", modelo ENDA 1,300, principio de medición infrarrojo no dispersivo.

MONITOR CONTINUO DE GASES DE CHIMENEA

Para medición de CO, CO₂ y O₂.

Marca "Horiba" modelo ENDA 1,470, principio de medición CO y CO₂ infrarrojo no dispersivo y, para el O₂ paramagnético.

PERSONAL TECNICO PARA LA OPERACION DEL INCINERADOR DE RESIDUOS PELIGROSOS

SUBGERENTE DE INCINERACION

INGENIERO QUIMICO.

Responsable de planeación y coordinación para el buen funcionamiento de la planta de incineración.

INGENIEROS DE PROCESO EN INCINERACION

1 INGENIERO QUIMICO

1 INGENIERO INDUSTRIAL EN COMPUTACION

Responsables de la supervisión del personal y operación de la planta de incineración.

QUIMICO DE LABORATORIO

1 QUÍMICO TECNICO

Responsable de el análisis de muestras de las corrientes de proceso para control de la operación del incinerador.

QUIMICO DE CONTROL ATMOSFERICO

1 INGENIERO QUIMICO

Responsable de realizar los monitoreos periódicos de las emisiones del inciner. para comparar contra los límites oficiales y también realiza los muestreos del área de trabajo y personales.

OPERADOR A-3

4 OPERADORES CAPACITADOS.

Para trabajar uno por cada turno, y su función principal es vigilar las variables del proceso de incineración.

OPERADOR A-2

4 OPERADORES CAPACITADOS

Para trabajar uno por cada turno, y su función principal es la alimentación de los R.P.B.I. al incinerador.

OPERADOR A-3

1 OPERADOR CAPACITADO

Para trabajar de lunes a viernes en recepción de los residuos para incineración.

EMISIONES A LA ATMOSFERA

Desde el inicio de operación del Incinerador Rotatorio de Ciba se han realizado un gran número de monitoreos de gases en la chimenea del incinerador de acuerdo a la normatividad mexicana existente y dos monitores continuos de gases de chimenea (CO, CO₂, O₂, SO₂ y NO_x) que fueron instalados en 1989, las especificaciones de los monitores se presentan en la tabla X.1.

Tabla X.1, Monitores continuos de gases de chimenea

Marca	Modelo	N° de serie	Gases que analiza	Principio de Medición	Rango
Horiba	ENDA 1470	850699011K	CO CO ₂ O ₂	IND IND Paramagnético	0-500 ppm 0-20 % 0-25%
Horiba	ENDA 1300	56516701K	NO _x SO ₂	IND IND	0-2,000 ppm 0-2,000 ppm

IND: Infrarrojo No Dispersivo

Los monitores se calibran con gases grado patrón de calibración de los cuales se tiene un certificado de calibración de cada uno de los gases excepto del oxígeno ya que para su calibración se utiliza el oxígeno contenido en el aire atmosférico.

Los monitoreos de los gases de chimenea son realizados por el personal responsable del Control Atmosférico de la planta Atoto de Ciba.

En la realización de los monitoreos se utilizó un equipo semiautomático de la Marca *Andersen Samplers Inc.* Tipo Universal y trenes de muestreo con soluciones absorbentes los cuales cumplen con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

NOM-AA-9-1973	"Determinación de flujo de los gases en un conducto por medio del tubo de Pitot"
NOM-AA-10-1974	"Determinación de la emisión de partículas sólidas en los gases que se descargan por un conducto"
NOM-AA-35-1978	"Determinación de Bióxido de Carbono, Monóxido de Carbono y Oxígeno en los gases de combustión".
NOM-AA-54-1978	"Determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto."
NOM-AA-55-1980	"Determinación del contenido de Bióxido de azufre en los gases que fluyen por un conducto."
NOM-AA-70-1980	"Determinación de Cloro y/o Cloruros en los gases que fluyen por un ducto."

Los monitoreos los dividimos en dos grupos, que son los de rutina y los monitoreos isocinéticos que se presentan a la SEMARNAP delegación Jalisco.

A continuación presentamos un historial de monitoreos realizados a partir de 1995 a la fecha, en la tabla X.2 los monitoreos de rutina y en la tabla X.3 los monitoreos isocinéticos.

Los resultados de las tablas X.2 y X.3 se reportaron a las condiciones de 1 atm., 0°C, 11% de O₂ y base seca.

Tabla X.2, Monitoreos de Rutina

Fecha	Resultados				
Parámetro	SO ₂ (mg/m ³)	HCl, (Kg./h)	Cl ₂ , (mg/m ³)	SO ₃ , (mg/m ³)	HCt, (ppm)
11/01/95	NM	0.18	ND	NM	0.5
25/02/95	NM	0.15	ND	NM	NM
26/04/95	165	0.99	5.3	31	NM
1/06/95	37	0.39	NM	ND	NM
28/06/95	27	0.05	ND	10	0.2
7/11/95	7	ND	ND	ND	0.4
7/12/95	1	0.01	0.02	5	0.2
5/01/96	16	0.2	ND	25	NM
24/01/96	7	0.5	ND	21	2
27/03/96	65	ND	ND	ND	1.4
2/05/96	165	0.15	ND	ND	1.6
24/05/96	10	0.06	0.3	5	0.8
12/07/96	16	0.65	0.3	16	1
28/07/96	209	0.1	0.2	30	1
9/09/96	15	0.04	0.08	3	1
2/10/96	17	0.07	ND	4	ND
16/10/96	85	0.06	ND	45	5
6/12/96	13	0.11	0.07	ND	0.2
11/03/97	19	0.1	0.06	24	0.2
16/07/97	215	0.7	ND	20	0.1
30/09/97	199	ND	ND	ND	0.2

ND : No Detectables

NM: No Medido

Tabla X.3 ,Monitoreos Isocinéticos

Fecha	Resultados									
	Partículas mg/m ³	CO ppm	CO ₂ %	O ₂ %	SO ₂ mg/m ³	HCl Kg./ h	Cl ₂ mg/m ³	SO ₃ mg/m ³	NOx mg/m ³	HCl ppm
29/03/95	99 59	0	10.1	8.6	28	ND	ND	22	187	NM
9 -10/05/95	135 47	0	9.1	10.4	223	1.6	ND	30	NM	NM
5 -6/03/96	177 178	0	7.6	10.2	5	1.03	ND	25	140	NM
5 -7/06/96	151 112	0	9.7	7.7	97	0.06	11	26	187	1
30 - 31/07/96	51 26	50	8.2	9.3	40	0.03	27	26	227	0.1
21 - 22/11/96	133 128	0	9.8	9	11	0.2	ND	14	65	0.2
18 - 19/02/97	113 132	73	7.7	8.6	0	0.83	ND	8	66	0.2
28 - 29/04/97	85 49	2	10.1	6.1	53	0.1	2	21	42	NM
12/08/97	75 64	0	6.7	9.3	296	ND	ND	18	95	0.2
15/04/98	92 144	0	8.7	7.4	515	0.24	9	59	NM	0.02

De acuerdo al Oficio No. DOO.-800/007864 con fecha 26 de diciembre de 1997 (Anexo) emitido por el Instituto Nacional de Ecología Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas se nos solicito el monitoreo semestral de las emisiones de oxígeno, monóxido de carbono, bióxido de azufre, ácido clorhídrico, óxidos de nitrógeno, partículas, metales pesados y el monitoreo anual de policlorodibenzo dioxinas. El monitoreo correspondiente al primer semestre de 1998 se realizó el 7 de julio del mismo año teniendo los siguientes resultados:

Tabla X.4, Resultados del monitoreo del Primer Semestre 1998

Parámetro	Resultados	
Monóxido de Carbono (CO), mg/m ³	16	
Bióxido de Azufre (SO ₂), mg/m ³	0	
Acido Clorhídrico, (HCl), mg/m ³	0	
Dioxinas y furanos, ng/m ³	Pendiente, se realizará en el 2° Semestre de 1998	
Oxidos de Nitrógeno, (NO _x), mg/m ³	43	
Partículas (PST), mg/m ³	1° Isocinético	2° Isocinético
	63.8	83.4
Metales pesados:		
Cadmio, mg/m ³	0.005	0.005
Mercurio, mg/m ³	0.001	0.001
Arsénico, mg/m ³	0.001	0.000
Cobalto, mg/m ³	0.009	0.019
Selenio, mg/m ³	0.000	0.000
Níquel, mg/m ³	0.091	0.060
Manganeso, mg/m ³	0.014	0.073
Plomo, mg/m ³	0.194	0.066
Cromo, mg/m ³	0.105	0.703
Cobre, mg/m ³	0.025	0.024
Zinc, mg/m ³	0.535	1.699

Los resultados están reportados a condiciones normales de 1 atm., 25 °C, 7% de O₂ y base seca, como fue solicitado.

Durante el protocolo de pruebas para obtener la autorización de tratamiento térmico de Residuos Peligrosos Biológicos Infecciosos se realizó el 10 de noviembre de 1997 un monitoreo de dioxinas y furanos teniendo como resultado **0.21 ng/m³ de Equivalente Tóxico de 2,3,7,8 de DCDD**. El monitoreo fue realizado por la empresa *ONSITE Laboratories de México S.A. de C.V.*

LIMITES DE EMISIÓN DE GASES

Los límites de emisión de gases a la atmósfera para el No. de Autorización 14-30-PG-VII-02-93 con fecha 11 de Octubre de 1993 correspondiente a la Incineración de Residuos Peligrosos se presentan en la tabla X.5.

Tabla X.5, Límites de emisión de gases

Parámetro	No. Autorización 14-30-PG-VII-02-93 11 de Octubre de 1993
Partículas Suspendidas Totales (PST)	180 mg/m ³ , (Muestra horaria)
Monóxido de carbono (CO)	200 ppm, Continuo
Acido Clorhídrico HCl	1.8 kg./h, Continuo Incinerando compuestos clorados
Oxidos de Nitrógeno (NOx)	900 mg/m ³ , Continuo
Dióxido de Azufre (SO ₂)	500 mg/m ³ , Continuo
Trióxido de Azufre (SO ₃)	0.11 Kg./h, Muestra Horaria
Acido Yodhídrico (HI)	1.5 Kg./h, (384 mg/m ³), Continuo
Pentóxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	2,500 g/m ³ , Muestra Horaria
Eficiencia de combustión (E.C.)	99.99% mínimo

Los límites están corregidos a 11% de O₂ y a condiciones estándares de presión y temperatura de (0°C y 1 atm)

INCINERADOR ROTATORIO

TABLA COMPARATIVA DE LÍMITES DE EMISIÓN DE GASES A LA ATMOSFÉRA EMITIDOS DURANTE EL PROCESO DE INCINERACIÓN

Parámetro	No. Autorización 14-30-PG-VII-02-93 11 de Octubre de 1993	No. Autorización 14-13-PS-VI-16-98 29 de Julio de 1998
Partículas Suspendidas Totales (PST)	165 mg/m ³ (Muestra horaria)	80.00 mg/m ³ Semestral (Promedio Horario)
Monóxido de carbono (CO)	200 ppm, (229 mg/m ³) Continuo	50.00 mg/m ³ Continuo (Promedio Diario)
Acido Clorhídrico HCl	1.8 kg./h, (461 mg/m ³) Continuo cuando se incineren compuestos clorados	22 mg/m ³ Continuo (Promedio Diario)
Hidrocarburos Totales (HCt)	NA	10.00 mg/m ³ Continuo (Promedio Diario)
Oxidos de Nitrógeno (NOx)	824 mg/m ³ Continuo	300.00 mg/m ³ Continuo (Promedio Diario)
Dióxido de Azufre (SO ₂)	458 mg/m ³ Continuo	144.00 mg/m ³ Semestral (Promedio Horario)
Plomo (Pb)	NA	0.5 mg/m ³ Semestral (Promedio Horario)
Cromo Total (Cr)	NA	0.5 mg/m ³ Semestral (Promedio Horario)
Arsénico (AS)	NA	0.5 mg/m ³ Semestral (Promedio Horario)

Parámetro	No. Autorización 14-30-PG-VII-02-93 11 de Octubre de 1993	No. Autorización 14-13-PS-VI-16-98 29 de Julio de 1998
Cadmio + Mercurio (Cd + Hg)	NA	0.2 mg/m ³ Semestral (Promedio Horario)
Dioxinas y Furanos	NA	< 0.5 ng/m ³ (EQ.T.) Anual (Promedio 6 horas)
Temperatura de Salida de gases T (°C)	NA	< 300 °C
Trióxido de Azufre (SO ₃)	0.11 Kg./h, (28 mg/m ³) Muestra Horaria	NA
Acido Yodhídrico (HI)	1.5 Kg./h, (384 mg/m ³) Continuo	NA
Pentóxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	2,500 g/m ³ Muestra Horaria	NA
Eficiencia de combustión (E.C.)	99.99% mínimo	NA

Notas:

- 1) Los límites están corregidos a 7% de O₂ y a condiciones estándares de presión y temperatura (25 °C y 1 atm)
- 2) Para convertir los Kg./h en mg/m³ de los límites de la Autorización 14-30-PG-VII-02-93 se utilizo el flujo de 3,908 m³/h, (25°C y 1 atm)
- 3) NA: No Aplica
- 4) NM : No medidas

EMISIONES DE GASES A LA ATMOSFERA DURANTE 1997

Parámetro	Valores promedios durante 1997
Partículas Suspendidas Totales (PST)	133 mg/m ³
Monóxido de carbono (CO)	12 mg/m ³
Acido Clorhídrico (HCl)	100 mg/m ³
Hidrocarburos Totales (Hct)	1 mg/m ³
Oxidos de Nitrógeno (NOx)	158 mg/m ³
Dióxido de Azufre (SO ₂)	91 mg/m ³
Plomo (Pb)	1.26 mg/m ³
Cromo Total (Cr)	0.11 mg/m ³
Arsénico (AS)	0.08 mg/m ³
Cadmio + Mercurio (Cd + Hg)	0.02 mg/m ³
Dioxinas y Furanos	0.2 ng/m ³ (EQ.T.)
Temperatura de Salida de gases T (°C)	80°C
Trióxido de Azufre (SO ₃)	26 mg/m ³
Acido Yodhídrico (HI)	NM
Pentóxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	NM

CONCLUSIONES:

LA INCINERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS ES ACTUALMENTE LA MEJOR ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO.

ESTA COMPROBADO QUE UNA INCINERACION CONTROLADA ES UN METODO SEGURO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS QUE NO GENERA CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA.

SE REQUIERE DE MUCHA INVERSION EN EL PAIS PARA TRATAMIENTO POR INCINERACION.

FALTAN APOYOS ECONOMICOS PARA LANZAR NUEVOS PROYECTOS.

ELIMINAR TRAMITOLOGIA Y BUROCRATISMO DE LAS AUTORIDADES AMBIENTALES

LAS AUTORIDADES AMBIENTALES PUEDEN APRENDER MUCHO CON LAS EMPRESAS QUE ESTAN TRABAJANDO EN INCINERACION EN MEXICO.

LA INCINERACIÓN DENTRO DEL CONTEXTO

LA INCINERACIÓN DENTRO DEL CONTEXTO DE LA POLÍTICA NACIONAL DE RESIDUOS PELIGROSOS

Introducción

Para ubicar en su justo contexto el análisis de la situación de la incineración de los residuos peligrosos en México, del desarrollo de los instrumentos normativos y de la creación de la infraestructura en la materia, conviene previamente abordar otra serie de aspectos como son la evolución de la política y regulación nacional de los residuos peligrosos, así como de la participación social en la elaboración de las normas, el diseño de políticas e implementación de los programas para instrumentar unas y otras. Así mismo, es útil hacer notar la importancia de la cooperación técnica bilateral y multilateral, mediante la cual México se beneficia de la experiencia de otros países para fortalecer su capacidad de gestión en este campo.

Las bases de la política

Los antecedentes de la política sobre residuos peligrosos aparecen planteados desde los primeros informes publicados por las autoridades ambientales a finales de la década de 1980 para comunicar la situación nacional en la materia y en los que se hace referencia a la prioridad que se otorga a la prevención de su generación como primera opción, a la importancia de su reuso y reciclado como segunda alternativa, a las diversas modalidades de tratamiento para reducir su volumen y peligrosidad como tercera elección y al confinamiento como la última, en lo que se conoce como el esquema del triángulo invertido.

Resalta, también, el proceso de consulta en el que participaron representantes de los diversos sectores de la sociedad tales como la industria, la academia, los grupos de interés social y legisladores, que llevó a la publicación en 1994 del documento intitulado ***Bases para una Política Nacional de Residuos Peligrosos***. Entre los elementos más destacados de este documento se encuentran las propuestas para:

- Ampliar el alcance de la participación social en los subcomités de normalización, tomando en cuenta el conocimiento y la experiencia de los involucrados.
- Asumir como principios de política, en el diseño de las normas, la internalización de los costos ambientales (el que contamina paga) y el de prevención.

- Establecer mecanismos efectivos y confiables de seguimiento y evaluación de las normas, buscando su perfeccionamiento, sustitución, modernización, adaptación a nuevas circunstancias e incluso, su derogación a partir de información objetiva que considere, de manera sistemática, los costos y beneficios sociales y ambientales involucrados en su aplicación.
- Prever plazos para el cumplimiento de ciertas normas considerando periodos de transición que permitan una adaptación exitosa y al mínimo costo para las empresas. Este proceso debe darse en el marco de una estrategia a largo plazo donde se atiendan de manera integrada las necesidades de competitividad, empleo y protección ambiental. Igualmente en esta orientación estratégica se considera recomendable reconocer las condiciones distintas de manejo de residuos peligrosos que enfrentan las empresas ya existentes con respecto a las nuevas.
- Hacer prevalecer el principio de racionalidad en el ejercicio normativo buscando siempre reducir costos económicos para la obtención de objetivos ambientales. Para ello se debe recurrir a nuevas metodologías de evaluación económica de riesgos, beneficios y costos ambientales adecuadas a las necesidades.
- Tener cuidado en no copiar mecánicamente diseños normativos vigentes en otros países y fundamentar la normalización en la materia a partir de un reconocimiento objetivo sobre la realidad de las empresas mexicanas, las prioridades y preferencias sociales, y los riesgos a la salud y a los ecosistemas.
- Tener en cuenta, al determinar la orientación de los mercados mediante el ejercicio de normalización, la necesidad de evitar monopolios y sistemas rígidos que pudieran resultar en ineficiencias o en violaciones a las libertades de comercio, además, de incorporar criterios para favorecer y aprovechar economías de escala para un manejo más eficiente y seguro de los residuos peligrosos.
- Reconocer los alcances y las limitaciones verdaderas de las normas como instrumento de política ambiental, evitando caer en un fetichismo normativo que pretenda regular todo en todas partes, ni tampoco, en un esquema regulatorio confuso que aliente parcelas burocráticas de poder. Buscar también, los equilibrios necesarios que garanticen los niveles deseados de protección ambiental junto con los espacios más amplios posibles para la creatividad y la libre decisión de los agentes económicos. Para lograr este equilibrio, las normas deben vincularse y complementarse con el uso de instrumentos económicos, así como con procedimientos administrativos más flexibles y con menores costos de transacción.
- Buscar que las normas trasciendan el enfoque postproductivo o al final de la chimenea, y se sustenten en otro que evite y minimice la generación de residuos como premisa básica.

El marco regulatorio

Es preciso hacer notar, sin embargo, que la gestión ambiental de los residuos peligrosos en México data sólo de diez años, puesto que el punto de partida lo constituyen las primeras disposiciones legales al respecto contenidas en *la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)*, su *Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos* y las siete Normas Oficiales Mexicanas (NOM) publicadas en 1988. Dichas disposiciones sientan las bases para la creación de los mercados de servicios de manejo de los residuos peligrosos, al establecerse la obligación por parte de los generadores de disponer de ellos de manera ambientalmente adecuada y a través de empresas autorizadas.

Uno de los cambios significativos de la Ley, introducidos en 1996, es el relativo a evitar la autorización del confinamiento de residuos peligrosos susceptibles de reciclado u otra forma de tratamiento, cuando esto sea económica y tecnológicamente posible. Aspecto, este último, que deberá verse reflejado en los modificaciones que se introducirán en el Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos, en las normas y otros instrumentos de gestión que se encuentran en desarrollo.

El marco programático

El *Programa para la Minimización y el Manejo Integral de los Residuos Industriales Peligrosos 1996-2000*, se fundamenta en las bases de política antes mencionadas y entre sus principales líneas estratégicas, proyectos y acciones plantea: la minimización de residuos en empresas industriales; el fortalecimiento del marco jurídico y normativo; la atención a zonas, ramas industriales y corrientes críticas; el cumplimiento de la ley y vigilancia eficiente; la modernización de la regulación directa; el desarrollo de sistemas de información y rastreo de residuos peligrosos; la promoción de inversiones en servicios de infraestructura; la capacitación y comunicación social; y la cooperación internacional.

La generación de residuos peligrosos

Tal como lo establece la Ley, los generadores de residuos peligrosos tienen la obligación de informarlo a la autoridad ambiental a través de los manifiestos de generación, instrumentos que constituyen una de las fuentes más valiosas de información. A través de dicha fuente sabemos que ha ido aumentando año con año el número de empresas que manifiestan la generación como lo indica la gráfica, hasta alcanzar a la fecha un número total de 10.649, con un volumen aproximado de generación de residuos industriales peligrosos de tres millones y medio de toneladas. La distribución de dichas empresas por entidad federativa aparece indicada en la tabla. En tanto que la generación anual de

residuos peligrosos biológico infecciosos estimada equivale a alrededor de 720 mil toneladas.

Las cifras sobre el número de generadores que manifiestan la generación y el manejo controlado de residuos peligrosos, así como los volúmenes de éstos reportados, hacen ver que no todos quienes están generando dichos residuos lo hacen del conocimiento de las autoridades lo que induce a pensar que tampoco les están dando un manejo ambientalmente adecuado. Razón por la cual una de las principales prioridades actuales es promover el cumplimiento de la Ley a este respecto.

La evolución de la infraestructura de manejo de los residuos peligrosos

A partir de 1988, ha ido en continuo crecimiento la infraestructura de manejo de residuos peligrosos, como lo indica la gráfica, hasta alcanzar en la actualidad un total de 150 empresas autorizadas para el transporte y acopio de residuos industriales y de 112 empresas que ofrecen tratamiento para estos residuos, con una distribución territorial como se indica en las figuras. A su vez, a partir de 1996 en que entra en vigor la norma que regula el manejo de los residuos biológico-infecciosos, se han autorizado 40 empresas de transporte y acopio, así como 33 empresas que ofrecen servicios de tratamiento (16 de las cuales por incineración), con una distribución territorial como se muestra en la figuras correspondientes.

Llama la atención el hecho de la distribución territorial de la infraestructura de manejo los residuos peligrosos industriales y biológico-infecciosos, además de ser insuficiente, no responde a las necesidades de las entidades federativas y tiende a concentrarse en la zona centro.

El fortalecimiento de la capacidad de gestión estatal de los residuos peligrosos

Aún cuando la regulación y control de los residuos peligrosos es por ahora una materia de competencia federal, es imprescindible promover el fortalecimiento de la capacidad de gestión de los mismos en todas las entidades federativas y la participación de éstas en el diseño de sus propios programas de minimización y manejo integral de los residuos peligrosos de manera que éstos respondan a sus necesidades locales y también se desarrollen con un enfoque regional, sobre todo en lo que respecta a la instalación de infraestructura de manejo que por las economías de escala y magnitud de las inversiones requiera ser compartida entre varias entidades vecinas.

Con tal propósito, se está promoviendo la creación en cada entidad de un núcleo técnico de la Red Mexicana de Manejo Ambiental de Residuos (REMEXMAR), conformada por representantes del sector público, de la industria, la academia, los grupos de interés social

y de asociaciones profesionales. Este tipo de red brinda la oportunidad de sumar esfuerzos y crear sinergias, para el logro de una meta común que es el manejo ambiental de los residuos en el marco de la política nacional antes citada. Esta red, forma parte de la Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos (REPAMAR), apoyada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Agencia de Cooperación Alemana GTZ, lo cual amplía la cooperación y el intercambio de experiencias con otros países de América Latina

Los Centros o Sistemas Integrales para el Manejo y Aprovechamiento de Residuos Industriales

Como una alternativa para hacer frente a las necesidades de infraestructura, con un enfoque que responda a la política nacional en la materia, se ha concebido la creación de Centros o Sistemas Integrales para el Manejo y Aprovechamiento de Residuos Industriales (CIMARI o SIMARI). En dichos centros o sistemas, se busca poner al alcance de los generadores, en lugares estratégicos del país, las distintas opciones tecnológicas que hagan posible el reciclado, la recuperación del valor calorífico, el tratamiento térmico, físico o químico y el confinamiento de los residuos peligrosos, de acuerdo con sus características particulares.

La complejidad de estas instalaciones y la dimensión de las inversiones que significan, plantean la necesidad de una estrategia particular que por un lado permita contar con los instrumentos normativos y administrativos que den certidumbre a los inversionistas y a la sociedad sobre la forma en que deben de operar, y por otro faciliten la realización de los trámites. Así mismo, para tener éxito en su desarrollo, surge la necesidad de fortalecer los mecanismos de coordinación con las autoridades de los diferentes órdenes de gobierno que participan en la emisión de las autorizaciones para la instalación y operación de este tipo de instalaciones, así como los mecanismos de comunicación con la sociedad en las entidades federativas, a fin de que éstos centros o sistemas se creen y funcionen con la anuencia de todas las partes interesadas.

Evolución y situación de la incineración en México

Desde antes del establecimiento de la legislación de los residuos peligrosos en México, han operado equipos de incineración principalmente en instituciones hospitalarias y universitarias, destinados entre otros a la disposición de material patológico y cadáveres de animales, a los cuales se suman dos equipos de industrias químicas utilizados para la destrucción de sus propios residuos. Así mismo, la Secretaría de Salud emitió una norma sanitaria para la cremación de cadáveres.

Sin embargo y, sobre todo, tras la publicación en 1995 de la norma para el manejo de los residuos peligrosos biológico-infecciosos, y tal como lo muestra la gráfica, ha sido muy

rápido el desarrollo de la infraestructura de incineración particularmente para estos últimos residuos, aunque también se encuentran en proceso de autorización instalaciones para la incineración de residuos industriales peligrosos. Aunado a ello, se han sumado a la infraestructura potencial para la incineración de este tipo de residuos los hornos cementeros que, entre otros, abren la oportunidad del empleo en ellos como combustibles alternos de los lubricantes usados. La distribución territorial de las empresas de incineración de residuos biológico-infecciosos autorizadas aparece ilustrada en el mapa y la tabla indica cual es la capacidad instalada de esas empresas.

Como otra consecuencia de la publicación de la norma sobre los residuos biológico-infecciosos, se han destinado recursos importantes para adecuar los equipos de incineración en operación antes mencionados, en un esfuerzo para modernizarlos y hacerlos funcionar en condiciones que permitan alcanzar los requerimientos que se anticipan fijará la norma que se prepara sobre la destrucción térmica de los residuos peligrosos.

La experiencia de estos últimos dos años, en el desarrollo de protocolos de prueba para evaluar la operación de los equipos de incineración públicos y privados, ha puesto en evidencia una serie de dificultades que es preciso superar a fin de que la aplicación de este tipo de tecnologías para el tratamiento de los residuos peligrosos sea ambientalmente adecuada.

Son estas dificultades y problemas identificados, los que motivaron el interés en organizar una reunión internacional para compartir experiencias con representantes de otros países, de manera a definir los rumbos a seguir para superar los problemas en el futuro inmediato.

Es así, que se creyó conveniente antes de seguir adelante con la publicación en el Diario Oficial de la Federación del proyecto de norma sobre destrucción térmica de los residuos peligrosos, realizar una revisión crítica de una serie de aspectos ligados a su instrumentación.

Así, por ejemplo, un aspecto de particular importancia son los parámetros de emisiones de los diversos contaminantes que prevé el proyecto de norma, tanto en lo que se refiere a su rigor, como a los procedimientos que deberán establecerse y aplicarse para su monitoreo y análisis. Aspecto este último que preocupa, sobre todo, en lo que se refiere al monitoreo y análisis de las dioxinas, tema central a discutir. Junto con ello, conviene tener presente la situación antes referida respecto a la gran variedad de equipos actualmente en operación y a los tiempos de cumplimiento de los parámetros de la norma que deberán considerarse para esos equipos.

En resumen, la incineración de los residuos peligrosos se inserta dentro de la política nacional como uno de los tratamientos alternativos para reducir su peligrosidad y volumen, una vez que no han podido ser reusados o reciclados y siempre y cuando se realice de manera ambientalmente adecuada. Por ello, se considera urgente la publicación de la norma que establece las condiciones en que este tipo de tecnologías de destrucción térmica de los residuos deben de realizarse; norma que, de acuerdo con las bases de

política antes señaladas, requiere tomar en consideración el contexto nacional y definir tiempos de cumplimiento realistas y factibles. Como sucede con otras normas, su cabal aplicación demanda el desarrollo de otros instrumentos de gestión como son los procedimientos de muestreo y los métodos de análisis de los diferentes parámetros de emisión, así como para la realización de los protocolos de prueba.

Es por lo anterior que un ejercicio de intercambio de experiencias internacionales en todas las materias antes citadas, constituye una contribución fundamental para el establecimiento de los instrumentos de gestión que darán certidumbre y seguridad en la utilización de la incineración para el tratamiento de los residuos peligrosos en México.

EVALUACIÓN DE CONTAMINANTES



LABORATORIO DE ECOLOGIA INDUSTRIAL S.A. DE C.V

Alfonso Herrera No. 75, Col. San Rafael, 06470, México D.F., Tele.: (525) 536-8930, (525) 723-0620, Fax: (525) 592-7069

FORO INTERNACIONAL SOBRE INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

INE-OPS-UAM-FEMISCA

**INFRAESTRUCTURA PARA LA EVALUACIÓN DE CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE INCINERACIÓN EN MÉXICO**

por

LABORATORIO DE ECOLOGÍA INDUSTRIAL S.A. DE C.V.

Ing. José Rosales Oscós, Gerente de Operación

27-28 Agosto 1998



CONTENIDO

1. INTRODUCCION
2. INFRAESTRUCTURA NORMATIVA
3. MÉTODOS, EQUIPO PARA MUESTREO Y MONITOREO
4. CAPACITACION Y EXPERIENCIA
5. CONTROL INTERNO DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD
(QA/QC)



1) INTRODUCCION

Por más de 10 años ha existido en México una gran preocupación sobre las prácticas de disposición final inadecuadas de los residuos peligrosos. El confinamiento controlado ha sido un sistema de disposición final tradicional y de relativo bajo costo, el cual está siendo y deberá seguir siendo sustituido en gran medida por procesos de minimización en la fuente, reuso, tratamiento físico/químico/biológico, **incineración** y métodos de estabilización química.

De todas las tecnologías de tratamiento "terminal", los sistemas de incineración, apropiadamente diseñados, permiten lograr los mayores grados de destrucción y control para una gama muy amplia de residuos peligrosos. Consecuentemente se anticipa un crecimiento importante en el uso de la incineración y de otros métodos de destrucción térmica en nuestro país.

En México, existen en operación a la fecha, los siguientes sistemas de incineración, clasificados por el INE de acuerdo a su aplicación:

Aplicación	No. de Incineradores	Capacidades
Incineración de combustible alternativo	3	Queman combustibles alternos en hornos cementeros/Clinker. Capacidades 9,016-13860 Ton/año
Incineración de residuos peligrosos	3	Incineran residuos peligrosos. Capacidades de 360- 36000 Ton/año
Incineración de residuos Biológico-Infeciosos	18	Incineran residuos patológicos y biológico-infecciosos en general, aplicando tecnologías diversas. Capacidades 175-6132 Ton/año

La evaluación de los contaminantes atmosféricos producto de la incineración de estos residuos, es un campo relativamente nuevo, el cual se ha desarrollado mayormente en los últimos dos años. Para el muestreo y monitoreo de contaminantes atmosféricos, se han aplicado métodos normados en México (NMX), y métodos internacionales, principalmente de la EPA (Environmental Protection Agency, EUA).



Los principales contaminantes atmosféricos, producto de la incineración de residuos pesados, que las autoridades mexicanas han puesto mayor interés en su evaluación son:

- Partículas suspendidas totales (PST).
- Monóxido de carbono (CO)
- Acido Clorhídrico (HCl)
- Óxidos de nitrógeno (NOx)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Hidrocarburos totales (HCT)
- Arsénico (As), Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Cobalto (Co), Selenio (Se), Níquel (Ni), Manganeso (Mn), Estaño (Sn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn)
- Dioxinas y furanos (PCDD y PCDF)

La normatividad, métodos, equipo, experiencia necesaria y condiciones generales de monitoreo de contaminantes atmosféricos producto de la incineración, son revisados en la presente presentación.

2) INFRAESTRUCTURA NORMATIVA

No existe actualmente una norma mexicana que regule los procesos de incineración de residuos en México. No obstante, en la cartera de normas en fase de anteproyecto de la Comisión Consultiva Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, el Subcomité de Residuos Municipales, Materiales y Residuos Peligrosos, se encuentra trabajando en un anteproyecto de norma oficial mexicana que regulará a las instalaciones dedicadas a la recolección, almacenamiento interno y tratamiento térmico de residuos sólidos municipales, residuos peligrosos e inorgánicos no peligrosos, estableciendo los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de los establecimientos que realicen esta actividad o que presten este servicio.

A las instalaciones que actualmente se encuentran en operación, les han sido asignadas condiciones particulares de emisión de contaminantes atmosféricos a través de los permisos operativos correspondientes que emite de manera oficial el Instituto Nacional de Estadística y Geografía luego de la ejecución y aprobación de un protocolo de pruebas preoperativas. Los límites máximos establecidos en dichos permisos, no coinciden con ninguna Norma Internacional.



los muestreos de HCl, partículas, multimetales y la medición de gases a través de analizadores continuos que sigan los principios de operación señaladas. Para lograr esto, es necesario que el laboratorio cuente con equipo suficiente para hacerlo, por ejemplo, al menos dos consolas de muestreo universal, suficiente cristalería limpia para el armado de los diferentes trenes de muestreo y los analizadores continuos que permitan la medición de la concentración de gases durante todo el periodo de muestreo.

En condiciones típicas, los tiempos de muestreo son de 3 a 5 horas por corrida. En México, se exige el monitoreo de los parámetros a evaluar a dos capacidades distintas, 85 y 100% (cuando se trate de alimentación continua de residuos) y durante tres corridas a cada capacidad. Típicamente se solicita el muestreo de dioxinas y furanos solo en una de las corridas al 100%. Sin embargo, depende del proceso que se está evaluando, ya que si la presencia de compuestos orgánicos clorados en la alimentación es común, será necesario muestrear dioxinas en varias de las corridas, y en función de lo que INE estipule.

Es también requerido, en el caso de los incineradores de residuos hospitalarios, que durante el muestreo de dioxinas, se alimente una cierta proporción, típicamente 10% de PVC, a fin de probar el equipo en condiciones críticas para la formación de éste muy tóxico contaminante.

El análisis de dioxinas es una prueba costosa, debido a que se trata de una técnica cromatográfica y de espectrometría de masas de alta resolución, en donde los valores típicos de concentración se encuentran en el orden de partes por trillón. En México actualmente no se cuenta con este tipo de tecnologías ya que un equipo de estas características, se cotiza alrededor de medio millón de dólares o más. Adicionalmente, el manejo de estándares cromatográficos y la disposición final de los residuos así como del material de vidrio que entra en contacto con las muestras representa costos importantes adicionales que en México no son hasta el momento justificables en términos del volumen de muestras de dioxinas que se maneja. Por todo lo anterior, la gran mayoría de muestras para análisis de dioxinas, son enviadas a los Estados Unidos o a Canadá, en donde se cuenta con los servicios de varios laboratorios que hacen por rutina este análisis. El muestreo juega un papel tan importante como el análisis mismo, ya que si el material de vidrio no es lavado apropiadamente, y la calidad de los solventes utilizados para la recuperación de la muestra no son los apropiados, se corre el riesgo de acarrear contaminación cruzada.



3) MÉTODOS, EQUIPO PARA MUESTREO Y MONITOREO

Debido que todavía no existe una norma como se mencionó anteriormente, tampoco existen métodos específicos referidos que deban ser utilizados de manera obligatoria, por lo que se recurre a la aplicación de los métodos existentes en la normatividad mexicana, y a métodos internacionales en los casos en que no se cuenta con ellos. De los parámetros que actualmente están siendo evaluados, se presenta el siguiente cuadro con los métodos comúnmente utilizados, así como el equipo correspondiente:

PARÁMETRO	MÉTODOS	EQUIPO/PRINCIPIO DE OPERACIÓN
• Partículas suspendidas totales (PST).	• NMX-AA-10-74,	• Muestreador Universal/ Gravimétrico, isocinético
• Monóxido de carbono (CO)	• NMX-AA-35	• Celdas electroquímicas o infrarrojo no dispersivo
• Acido Clorhídrico (HCl)	• NMX-AA-70/ • EPA 26 ^o	• Muestreo proporcional. Análisis por ion selectivo o cromatografía iónica
• Óxidos de nitrógeno (NOx)	• 7 E, EPA	• Quimiluminiscencia, monitoreo continuo
• Bióxido de azufre (SO ₂)	• NMX-AA-55, NMX-AA-56 • 6, EPA	• Torino o fluorescencia pulsante
• Hidrocarburos totales (HCT)	• 25, EPA	• Ionización de flama
• Arsénico (As), Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Cobalto (Co), Selenio (Se), Níquel (Ni), Manganeso (Mn), Estaño (Sn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn)	• 29 EPA	• Muestreo isocinético, análisis de fase gaseosa y fase particulada por ICP, AA.
• Dioxinas y furanos (PCDD y PCDF)	• 23 EPA/23A	• Muestreo isocinético, EPA 005M, análisis por GC/MS de alta resolución.

Discusión general

Durante el muestreo y monitoreo de estos contaminantes, es importante que la muestra sea representativa en el periodo durante el cual se realiza, es decir, que debido a la variabilidad de los residuos que se incineran, es necesario realizar de manera simultánea todas las determinaciones. Para lograr esto, se requiere hacer combinaciones entre los métodos sin alterar su propio desempeño. Así por ejemplo, el muestreo de partículas, se realiza con el mismo tren de muestreo de multimetales; para lo cual, el filtro, previo a su digestión, es pesado tanto para el reporte analítico del contenido de metales como para el de PST. Por otro puerto y de manera simultánea se realiza el muestreo de dioxinas y furanos, al mismo tiempo que se corren



Los tiempos típicos de análisis de dioxinas y furanos una vez que entra la muestra al laboratorio, oscila entre los 14 y los 21 días.

Para el caso de los incineradores de residuos industriales peligrosos, es necesario evaluar la eficiencia de destrucción, comúnmente nombrada DRE (del inglés Destruction Removal Efficiency). Los dos criterios que se siguen para este cálculo son:

- a) cálculo en función de la concentración a la entrada y a la salida del compuesto más tóxico que se está incinerando
- b) cálculo en función del componente tóxico en mayor proporción.

En cualquiera de los dos casos y dependiendo de los los compuestos que se incineran, es necesario evaluar tanto en la alimentación como en la corriente de gases de combustión, compuestos orgánicos o inorgánicos de manera simultánea. Para esto, se debe llevar a acabo un muestreo compuesto de la alimentación durante todo el tiempo que dure el muestreo en la chimenea. En el caso de que se incineren compuestos orgánicos, se deben recurrir a métodos de muestreo y análisis diferentes dependiendo de los puntos de ebullición de los compuestos en cuestión. Los compuestos que ebullen entre 30 y 110 °C son definidos como compuestos orgánicos volátiles, en tanto que los que ebullen a más de 100 °C son denominados semivolátiles. En el primer caso, será necesario llevar a acabo un muestreo llamado VOST (del inglés Volatile Organic Sampling Train), que corresponde al método 030 de EPA, el cual consiste en capturar los compuestos en cartuchos que contienen un polímero denominado Tenax y carbón activado a un flujo mucho menor que el que se realiza con la unidad de muestreo universal. El análisis se lleva acabo por medio de cromatografía de gases acoplado a masas. Una alternativa, es el uso de recipiente metálicos evacuados denominados SUMMA Canister, en donde se toma una muestra en fase gaseosa que es transportada y analizada en el laboratorio.

Los compuestos semivolátiles, son muestreados por medio de una resina equivalente a la que se usa para dioxinas (XAD-2), el método es el EPA 0010, y el análisis puede ser realizado por medio de cromatografía de gases acoplado a masas, método 8270 de EPA.



4) CAPACITACION Y EXPERIENCIA

La evaluación de contaminantes provenientes de la incineración de residuos, requiere de personal altamente capacitado y con la experiencia suficiente que le permita manipular todos los factores que pudieran afectar la calidad de éste tipo de pruebas. Así, el personal debe de contar con amplia experiencia en el manejo del equipo de muestreo isocinético, así como en la recuperación de muestras y en la operación de los analizadores de gases. Se requiere de gran coordinación para llevar a buen término la toma de muestras representativas del proceso que se está evaluando. La necesidad de operar de manera simultánea dos consolas de monitoreo además de un tren para el muestreo de HCl y el análisis de gases, ha sido discutido previamente en términos de la representatividad de la muestra, por tanto, el personal que lleva a cabo estas pruebas deberá estar plenamente familiarizado y capacitado con todos los métodos y equipos utilizados.

Cabe mencionar que el trabajo previo a través de inspecciones en el equipo de incineración a evaluar, es de vital importancia para el éxito que se tendrá durante el desarrollo del protocolo formal de incineración. Así por ejemplo, muchos de los incineradores cuentan con equipos de control de partículas por medio de ciclones, en donde es bien sabido que el flujo ciclónico de los gases continúa prácticamente a todo lo largo de la chimenea, con lo cual es imposible realizar un muestreo isocinético a menos que se utilice un tubo pitot tridimensional (el cual no es un método tradicional en México). En ese caso por ejemplo, será necesario realizar durante la inspección previa, adecuaciones en la chimenea para romper el flujo ciclónico y así asegurar que se tenga un perfil desarrollado y unidireccional en los gases que fluyen en la chimenea, ya que de lo contrario, se tendrá incurrir en una desviación positiva o negativa en términos de la cantidad de muestra succionada y por tanto en los valores que se reporten de los contaminantes evaluados. Consideraciones similares se pueden hacer con relación a la temperatura de los gases, a la selección de la boquilla de muestreo apropiada, el material de la sonda de muestreo, etc.

Existen pocos laboratorios en México que han tenido la experiencia en la evaluación de los sistemas de incineración y que cuenten tanto con el personal capacitado como con el equipamiento e infraestructura en general requerida para este tipo de pruebas.



Es muy importante que en los Protocolos de Muestreo que se presentan en el INE para aprobación, el laboratorio presente la información de campo previo a los muestreos formales, que incluya entre otros: corrección de flujo cíclico en caso de haberlo, relación de diámetros corriente arriba y abajo de los puertos de muestreo, número de puntos a muestrear, velocidades esperadas o medidas preliminarmente, humedad, selección de boquilla, temperatura de los gases, etc. Estos dos últimos puntos son de vital importancia, ya que en los casos en donde la temperatura es muy alta (arriba de 500 C), se requiere muestrear con sondas de cuarzo y por lo tanto será necesario frecuentemente fabricar un arreglo de sonda-boquilla apropiado para los valores de velocidades que se presentarán durante el muestreo. El muestreo de metales por ninguna razón deberá realizarse utilizando sonda de acero por obvias razones. Este tipo de información deberá ser indicada también en el protocolo de pruebas.



5) CONTROL INTERNO DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD (QA/QC)

Tanto el trabajo de campo como el de laboratorio deberá cumplirse con los estándares de calidad que cada método y procedimiento requiere. Así por ejemplo, el laboratorio es responsable de señalar para cada caso en particular a evaluar, entre otros, los criterios que a continuación se mencionan, previo a la realización del Protocolo de Pruebas:

Tiempos de muestreo, volúmenes mínimos de muestreo y límites de detección (ejemplo)

Tren de muestreo	Tiempo de muestreo (horas)	Volumen mínimo de muestra (ft3 secos a cond. std dscf)	Análito	Límite de detección	
				Corriente de gas	Análítico
PST y 29 EPA	2	120	Material particulado	0.006 g/dscf	50---100 mg
			As	0.3 g/dscm	0.002 g/ml
			Cd	0.6 g/dscm	0.006 g/ml
			Cr	1.6 g/dscm	0.015 g/ml
			Pb	0.2 g/dscm	0.002 g/ml
			Hg	25 g/dscm	0.25 g/ml
HCl	1	60	Cl	28 g/dscm	0.11 g/ml
23 EPA	4	240	Dioxinas y furanos		
			TCDD/TCDF		50 pg/tren
			OCDD/OCDF		500 pg/tren

nota: dscm - dry standar cubic meter (metros cúbicos secos a condiciones estándar)



Resumen de criterios de aceptación, límites de control y acciones correctivas

Criterio	Límites de Control	Acción Correctiva
<u>Muestreo manual</u>		
Isocinetismo	100 ± 10%	Calificar datos
Calibración del medidor de gas	Calibrado cada seis meses contra estándar EPA	----
Prueba de infiltración final (después de cada puerto)	= 0.002 acfm o 4% del flujo promedio de muestreo, lo que resulte menor	Ajustar el volumen de muestra
Balanza de campo granataria o equivalente	± 0.5 g de la referencia contra pesa calibrada	Recalibrar y/o reparar
Boquillas de muestreo	Por lo menos dos diámetros internos medidos usando Vernier (el rango de variación deberá estar dentro de 0.1 mm)	Calcular el área exacta o reemplazar boquilla
Termopares	Calibrados contra baño de hielo como referencia (variación permisible = 1.5% de la escala absoluta de temperatura de referencia)	Sustituir
Filtros	Pesados y secos a ± 0.5 mg	----
Vidriería para muestreo	Lavada de acuerdo a procedimiento correspondiente	----

INCINERACIÓN OPS/CEPIS/98

Tabla de contenido

Página

1.	Introducción	3
2.	Generalidades.....	3
2.1	PRINCIPIOS BÁSICOS.....	3
2.2	ELEMENTOS DE UNA PLANTA DE INCINERACIÓN	4
2.2.1	<i>Sistema de Carga del Combustible</i>	<i>6</i>
2.2.2	<i>Horno.....</i>	<i>6</i>
2.2.3	<i>Cámara de Combustión Secundaria.....</i>	<i>7</i>
2.2.4	<i>Tratamiento de los Gases de Combustión</i>	<i>7</i>
2.2.5	<i>Instalaciones para el Manejo de las Cenizas.....</i>	<i>7</i>
2.2.6	<i>Calidad de la Carga.....</i>	<i>8</i>
2.2.7	<i>Control de la Incineración.....</i>	<i>8</i>
3.	DIAGNÓSTICO SITUACIONAL.....	9
3.1	NORMATIVIDAD.....	14
3.2	PLANTAS DE INCINERACIÓN.....	18
3.2.1	<i>Incineración de residuos hospitalarios</i>	<i>18</i>
3.2.2	<i>Incineración de residuos peligrosos.....</i>	<i>19</i>
3.3	SISTEMAS DE CONTROL	20
3.4	COSTOS	21
4.	TENDENCIAS	21
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1. Introducción

El manejo de los residuos generados por el hombre es motivo de una creciente preocupación a nivel mundial por los problemas de contaminación ambiental inherentes. Los contaminantes involucrados provienen de un amplio rango de fuentes, incluyendo los residuos domésticos, residuos altamente tóxicos de la industria química, residuos hospitalarios, entre otros.

La industria manufacturera se ha expandido en los últimos cien años y desde la Segunda Guerra Mundial se ha registrado una tendencia creciente en la producción de sustancias complejas que contienen productos químicos altamente tóxicos tales como los PCB's en equipos eléctricos. La preocupación mundial sobre los residuos peligrosos como uno de los mayores problemas ambientales y sociales emergió como resultado del conocimiento de la potencial toxicidad de los productos químicos para el hombre y de su persistencia en el ambiente.

La minimización de los desechos es la opción más deseable en la jerarquía del manejo de residuos. Sin embargo, aún con la implementación de todas las políticas y medidas tendientes a alcanzar este objetivo, se generarán algunos tipos de residuos que requerirán ser tratados mediante tecnologías apropiadas a sus características particulares. Con la finalidad de alcanzar altas tasas de reducción del volumen así como la destrucción de compuestos tóxicos, una de las tecnologías más ampliamente utilizadas es la incineración.

La incineración involucra el paso de los residuos a través de una cámara a altas temperaturas, con un adecuado suministro de oxígeno para oxidar toda la materia orgánica. Aunque muchas veces se considera a la incineración como un método de disposición final, realmente es un sistema de reducción de residuos con la ventaja de que en el proceso se logra la descomposición total de los compuestos orgánicos. Dicho proceso genera un residuo de cenizas inorgánicas que requieren ser dispuestas en un relleno sanitario. En general, la incineración es considerada como un método de tratamiento de desechos extremadamente efectivo con el cual se pueden tratar muchos tipos de desechos: líquidos, sólidos y gases, a menudo en combinación.

2. Generalidades

2.1 Principios básicos

Las principales corrientes de desechos que son relevantes en consideración al rol de la incineración son los residuos municipales, lodos de plantas de tratamiento, residuos hospitalarios, residuos químicos y de la agricultura. La incineración se realiza en dos etapas. En la primera, los residuos pasan por un proceso de combustión a temperaturas suficientemente altas para convertir algunas de las sustancias presentes en gases y liberar otras en forma de aerosol de finas partículas. En la segunda, la mezcla de gases y partículas se someten a una combustión a temperaturas más altas.

Los principales productos generados en la combustión de residuos orgánicos son el dióxido de carbono, vapor de agua y cenizas inertes, aun cuando la incineración de residuos peligrosos puede formar otros productos en función de la composición química del material incinerado y condiciones de combustión.

Los factores más importantes para el diseño y funcionamiento apropiado de un incinerador son: la temperatura de combustión, tiempo de permanencia del gas de combustión y eficacia de la mezcla del residuo con aire de combustión y combustible auxiliar, parámetros que varían según la estructura química, forma física del residuo y técnica de incineración empleada. El sistema elegido ha de adecuarse al tipo de residuos a tratar, considerando antes de la entrada al horno su estado físico (sólido, líquido o pastoso), así como su composición para evitar posibles corrosiones o deposiciones en las paredes del horno.

Los sistemas de incineración pueden incluir gran variedad de dispositivos de control de emisión de aire, en la mayoría de los casos con cámaras de postcombustión y lavadores de gases. Las cámaras de postcombustión controlan la emisión de subproductos orgánicos no quemados, proporcionando un volumen adicional de combustión y por consiguiente, un tiempo de combustión a temperatura elevada. Los lavadores operan retirando físicamente de la corriente gaseosa de combustión la materia en forma de partículas, los gases ácidos y aquellos compuestos orgánicos residuales generados en la combustión.

Los procesos de incineración generan a su vez otros productos de desecho (cenizas), que pueden ser residuos tóxicos dependiendo del producto incinerado y del proceso seguido en la incineración, por lo tanto, se hace necesario aplicar a estas cenizas las mismas consideraciones que al resto de los residuos. El tratamiento necesario para cada ceniza está en función de sus características químicas y físicas, que vienen determinadas por el tipo de residuo incinerado del que proceden. En general podemos diferenciar entre las cenizas de incineradores de residuos urbanos, que no presentan generalmente carácter tóxico, las escorias que son igualmente no tóxicas, llegando a reciclarse como base para carreteras, etc., y las cenizas volantes, que son generalmente tóxicas por su alto contenido en metales y su gran superficie específica, que proporciona un área de contacto muy grande, favoreciendo la lixiviación de los constituyentes peligrosos.

2.2 Elementos de una planta de incineración

Los tipos de equipo adecuado para los desechos peligrosos incluyen los hornos rotatorios, lechos fluidificados, unidades de múltiples cámaras y quema directa. Este último tipo se limita a los desechos líquidos. Los desperdicios y basura en general pueden quemarse en incineradores de una sola cámara, de múltiples cámaras y de ventilación controlada (ventilación deficitaria o ventilación forzada).

Los incineradores de múltiples cámaras son recintos cilíndricos verticales con una serie de cámaras horizontales y superpuestas. Los desechos se colocan en la parte superior y son llevados mediante brazos giratorios al centro de la cámara, de donde los desechos caen al siguiente nivel. En una unidad estándar de seis cámaras el sedimento es secado en las dos primeras cámaras, quemado en las siguientes tres y enfriado en la última. El aire precalentado de la combustión se distribuye a través de un eje central y enfría los brazos giratorios. Las

ventajas radican en el elevado rendimiento térmico y los menores requerimientos adicionales de combustible. Las desventajas radican en el daño térmico y la corrosión de las partes móviles. Existen límites para los desechos que pueden tratarse: su espesura no debe permitir la formación de surcos, ni contener partículas de dos centímetros. o más, ni tender a volverse pegajosos o formar costras al calentarse.

Los incineradores de lechos fluidos son reactores cilíndricos cubiertos con material refractario que contienen un lecho arenoso calentado y fluidificado por un soplador. Los desechos se inyectan en el lecho mediante una bomba de cavidad progresiva o un alimentador de tornillo y la temperatura se mantiene a 900-1000°C. De esta forma, se origina la descomposición térmica y combustión de los productos más livianos sobre el lecho y del coque dentro del lecho. Los tiempos de residencia pueden durar varios días en el caso de los sólidos atrapados por el lecho. Los gases calientes de la combustión proporcionan el precalentamiento del aire.

Generalmente, se necesita un ciclón o un lavador húmedo para quitar la arena traída desde el lecho. Debido a la gran cantidad de arena en el lecho, este tipo de incinerador reacciona con relativa lentitud a los cambios producidos en el valor calorífico de los desechos. Sin embargo, la unidad tiene un elevado costo de capital y el aire debe ser precalentado. A velocidades reducidas de inyección de desechos, la eficiencia de utilización del combustible es mala.

El incinerador más comúnmente utilizado en la actualidad es el horno rotatorio, especialmente en las instalaciones centrales de tratamiento de desechos. Virtualmente cualquier tipo de desechos puede ser quemado -líquido, gas, lodo, suelo- a granel o en cilindros. Los hornos rotatorios comerciales alcanzan un 99,995% de rendimiento en destrucción y eliminación. Los hornos de cemento -una versión de esta tecnología- logran un 99,992% de rendimiento.

Como su nombre lo indica, un horno rotatorio es un cilindro rotatorio cubierto con material refractario, colocado con una inclinación aproximada de 3 grados. La carga de los desechos sólidos ingresa en la parte superior del horno y se deslizan por gravedad. Una variante de este diseño es el horno oscilante, el cual se carga por lotes y luego se balancea en un arco de 45° desde la línea central.

Las principales ventajas de la incineración son la marcada reducción de la cantidad de desechos que deben tratarse y la destrucción casi completa de los desechos orgánicos peligrosos. Por lo general, la ceniza es inerte y puede ser eliminada en un depósito de basura o utilizada en procesos de fijación química de cemento/ceniza fina. Los metales pesados a menudo son transformados en óxidos generalmente menos tóxicos. Los carcinógenos combustibles y los compuestos biológicamente activos son destruidos de manera efectiva. Los incineradores más recientes emiten mucho menos dioxinas y partículas. Los principales elementos de una planta de incineración son:

2.2.1 Sistema de Carga del Combustible

Un típico tren de incineración de horno rotatorio contiene un sistema de carga capaz de manipular los desechos específicos. Los gases y vapores se inyectan mediante tuberías o se mezclan con el aire de la combustión. Los líquidos y los lodos susceptibles de bombeo se inyectan mediante lanzas utilizando aire comprimido o vapor para atomizar. Los sólidos y desechos no sujetos a bombeo se cargan por lotes a través de un sistema que no permite el ingreso de aire utilizando transportadores de tornillo sin fin o fajas móviles.

Para el tratamiento de los sólidos se necesitan trituradoras y compactadoras. El sistema de carga de los sólidos debe estar bajo un manto de gas inerte con el fin de evitar una combustión prematura. Algunas de las unidades centralizadas más grandes cuentan con sistemas de manipulación de cilindros altamente automatizados.

2.2.2 Horno

El horno puede diseñarse para dos métodos: escoriado (1200-1400°C) y cenizado (650-1000°C). El horno de escoriado puede funcionar con cualquier método, el de cenizado no. El primero se utiliza para cargas con valor calorífico mayor a 2,8 kcal/g más humedad y halógenos moderados; es decir, para desechos que pueden soportar la combustión a altas temperaturas o contienen contaminantes, tales como el material contaminado de PCB, que requiere esas temperaturas.

Este horno también se utiliza si van a quemarse los cilindros de desechos, incluyendo los cilindros. Mientras más carga puede procesarse, las temperaturas extremas, la abrasión de los metales y la corrosión de compuestos tales como el fluoruro de sodio reducen la vida del refractario a 3000-5000 horas. Los sólidos controlan la capacidad de los hornos. Los tiempos de residencia de los gases son muy cortos: los tiempos de residencia de los sólidos generalmente fluctúan entre 60-120 minutos, siendo este último el más común.

Los hornos de cenizado son mucho más económicos para el tratamiento de material de bajo valor calorífico, el cual necesita el uso constante de combustible auxiliar como en el caso de los suelos contaminados. (Los costos de un horno portátil para tratamiento de suelos contaminados fluctúan entre \$100 y \$250 por tonelada. Al incluir la recuperación del sitio, excavación, instalación de los servicios, permisos, etc., el costo total puede ascender a \$600 por tonelada.) Los tiempos de residencia de los sólidos son menores que en los hornos de escoriado, 30-60 minutos.

Puede existir un flujo paralelo o contracorriente de gases/sólidos. En ambos casos, los sólidos son cargados en la parte superior del horno y descienden por acción de la gravedad. Los combustibles gaseosos y líquidos pueden inyectarse axialmente por cualquiera de los extremos. Mientras que el flujo contracorriente maximizará el rendimiento de la energía, también requerirá tuberías y conductos de carga y descarga más complejos. Asimismo, es probable que surjan problemas al controlar el tiempo de residencia para los sólidos, es decir, éstos podrían ser arrastrados en el gas.

2.2.3 *Cámara de Combustión Secundaria*

Los gases de la combustión provenientes de los hornos rotatorios generalmente salen a una cámara de combustión secundaria. La mezcla relativamente mala de combustible/aire en el horno origina una combustión por etapas. (Asimismo, origina menos emisiones de óxidos nitrogenados que las previstas para aquellas temperaturas.) La cámara secundaria corrige esta deficiencia de la mezcla. La mezcla con turbulencia es inducida ya sea por aire o por aire más combustible. En algunas unidades, se recicla el gas de la combustión. Para asegurar la completa destrucción de desechos tóxicos que se hayan volatilizado o arrastrado, el tiempo de residencia debe ser de, por lo menos, dos segundos a temperaturas de 1230°C o más. Los desechos peligrosos necesitan 870-1530°C. Se recomienda un límite mínimo de 1230°C para la cámara secundaria, sin considerar los desechos, por lo menos con 4% de O₂ (base en vía seca) en la salida de la chimenea. Cualquiera de los combustibles quemados en esta sección del tren debe estar libre de partículas, tales como los aceites vírgenes limpios o los solventes de desechos.

2.2.4 *Tratamiento de los Gases de Combustión*

Un típico enfriador de gases de combustión, en forma de caldera de recuperación de calor, enfría el gas a menos de 650°C, con el fin de proporcionar precalentamiento de aire, generar vapor y reducir el tamaño del equipo de control de contaminación de aire en la corriente abajo. La menor velocidad del gas resultante permite la eliminación de cenizas y partículas. El diseño deberá tener en cuenta la facilidad de servicio y el mantenimiento.

El diseño del equipo de tratamiento de los gases de combustión depende de la composición de los desechos, proporciones de la carga, disponibilidad del agua, límites de emisión, costos de operación/mantenimiento. Esta sección es con frecuencia la más costosa del tren de incineración.

Un secador en *spray* hace descender la temperatura a alrededor de 200°C y elimina parcialmente el HCl, SO₂ y algunas partículas. El agua es sometida a tratamiento. Una cámara de filtros de bolsa, o en algunas plantas un precipitador electrostático, elimina las partículas (ceniza fina y productos de reacción de gases ácidos). Un enfriamiento rápido reduce la temperatura a 85°C para saturar el gas. Debido a los componentes de los gases ácidos, el equipo a menudo está hecho de fibra de vidrio o es reforzado con plástico. Luego se lavan los gases ácidos y las partículas.

2.2.5 *Instalaciones para el Manejo de las Cenizas*

La ceniza y las partículas se desprenden del gas en cuatro lugares: el horno, la cámara de combustión secundaria, el refrigerador de los gases de la combustión y el lavador. Los dos primeros pueden tener un sistema común de recolección de ceniza seca para reducir el posterior tratamiento del agua. El metal triturado y la escoria pueden ser eliminados de la ceniza seca después de realizar el enfriamiento, así como las pruebas, y luego ser enviados

fuera para la recuperación de los metales. Debe diseñarse un procedimiento de manipulación y descarga de las cenizas, con el fin de que no haya ningún peligro para el personal o el equipo. Asimismo, debe haber instalaciones adecuadas para el enfriamiento de las cenizas. el enfriamiento de 800°C a 90°C puede demorar hasta diez días.

2.2.6 *Calidad de la Carga*

La calidad de la carga (combustible) de los desechos es extremadamente importante. Las cargas deben estar mezcladas para ejercer un mejor control sobre los parámetros críticos - valor calorífico, contenido de halógenos, contenido de nitrógeno, humedad e inertes. En especial, esto se aplica especialmente a las cargas de alto valor calorífico, con el fin de evitar temperaturas excesivas en el horno. Se debe evitar la mezcla de desechos incompatibles. No se deben mezclar desechos indicados como peligrosos con aquellos caracterizados como no peligrosos.

La calidad de la carga también es importante si los desechos van a ser quemados, a manera de combustible suplementario, en una instalación industrial como cemento, agregado, en un horno de cal para pulpa de papel o en una caldera de alto rendimiento. Entre los desechos de las refinerías destruidos según el presente procedimiento se encuentran los sedimentos y los sólidos de la prensa de filtros. Se deben tomar varias precauciones

Los desechos deben mezclarse con un mejor combustible para lograr un adecuado valor calorífico, metales y características físicas. Las unidades deben estar equipadas para quemar estos desechos especiales, y en unidades como los hornos de cemento, los desechos no deben alterar la calidad del producto.

Es absolutamente necesario el registro, preparación de manifiestos, así como etiquetado completo y exacto de todos los desechos que lleguen para ser destruidos. En caso necesario, se hará una caracterización química y pruebas para suplir cualquier falta de información. Este procedimiento no sólo proporcionará información destinada a emitir posteriormente informes a las autoridades competentes, sino que también reducirá la posibilidad de mezclar desechos incompatibles, lo que podría provocar problemas en el transporte, el almacenamiento y la temperatura de incineración, así como causar posibles peligros que atentarian contra la salud de los trabajadores.

2.2.7 *Control de la Incineración*

Las altas temperaturas de los hornos producen altos rendimientos de destrucción y eliminación. Sin embargo, las altas temperaturas y mayormente los materiales inertes pueden causar problemas, tales como las "escorias vítreas" cuando se quema el suelo o el daño al material refractario. Mas aún, se produce un aumento de la volatilización de los metales pesados como el plomo, zinc, cadmio y cromo. Por lo tanto, es preferible mantener el horno a una temperatura constante para mantener un balance entre lograr el rendimiento requerido y evitar daños causados por altas temperaturas y/o problemas de las emisiones.

La entrada de calor, mas no la entrada de masa, determina la carga del horno. Las cargas del horno con suficiente valor calorífico para soportar la combustión deben estar adecuadamente mezcladas para evitar desviaciones de la temperatura.

El tiempo de residencia es el principal parámetro determinante de la temperatura para los sólidos. Para los desechos con valor calorífico menor a 5,6 kcal/g, tales como los sólidos y suelos, la temperatura es controlada por el quemado de combustible suplementario (o desechos de alto valor calorífico) y está influenciada por el exceso de aire, el vapor atomizante (en caso de utilizarse) y los tiempos de residencia de los sólidos.

El quemado óptimo se logra cuando la velocidad del gas es constante en el rango de 5-7 m/s. Mas aún, la cámara de combustión secundaria y la sección de tratamiento de los gases de la combustión trabajan mejor en condiciones constantes de flujo de gas. Un acercamiento para lograr este nivel óptimo es mantener un flujo permanente de aire primario de combustión. Ello puede lograrse fácilmente con compuertas de tiro activadas a control remoto. Luego, se inyectan con valores preestablecidos todas las corrientes líquidas y de gas, excepto los desechos líquidos de alto valor calorífico (es decir, aceites de desecho o solventes de limpieza). La temperatura de salida del horno controla y permite fluctuar la inyección de esta única corriente.

Debido a que las termocuplas pueden ensuciarse, sería recomendable conectar en cascada el circuito de control, utilizando otra variable (por ejemplo, oxígeno o monóxido de carbono) que están directamente relacionadas a la temperatura de salida. Si el tiempo de retraso de la señal es un problema, la solución es utilizar la regulación con corrección anticipada en el combustible "flotante" de tal modo que la introducción de un desecho sólido de lugar a un ajuste del combustible flotante antes de la onda de calor.

3. Diagnóstico situacional

En 1993 se realizó una encuesta en 21 países de la Región: Anguila, Argentina, Brasil, Bolivia, Colombia, Chile, Cuba, Dominica, Ecuador, Guatemala, Guyana, Jamaica, México, Nicaragua, Paraguay, Perú, Santa Lucía, San Vicente, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. En el caso de cinco países (Anguila, Dominica, Guyana, Santa Lucía y San Vicente), sólo se incluyeron en este trabajo los resúmenes de cantidades de desechos peligrosos producidas por los establecimientos de atención de salud.

Los resultados indican que el grueso de los desechos está en forma líquida; cerca del 10% está en forma de lodo y sólidos. El componente de desechos peligrosos líquidos es relativamente grande cuando se lo compara con los resultados de otros estudios llevados a cabo en Suecia y el Reino Unido, que informaron 62% y 58%, respectivamente, en esta categoría (Forester et al., 1987). El motivo de esta diferencia es que en el estudio que se informa en este documento el componente de efluente incluye tanto líquidos peligrosos como agua contaminada con sustancias peligrosas. Esto último, que incluye cantidades sustanciales de agua de lavado, se presta al tratamiento y no siempre se incluye en todas las encuestas de desechos peligrosos. También debe observarse en este sentido que si se trata el agua efluente para quitarle sustancias peligrosas, este proceso constituye en si otra fuente de desechos peligrosos.

En cuanto a los desechos generados por los establecimientos de atención de salud, su cantidad y características varían según la función de los servicios proporcionados. La cantidad de desechos generados en los establecimientos de atención de salud (en kg/cama/día) varía de 2,6 a 3,8. Un estudio que se llevó a cabo en México respalda un indicador de 3 kg/cama/día. Se estima que de 10% a 40% de estos desechos puede clasificarse como peligroso debido a su naturaleza patógena (OPS, 1991), mientras el resto puede considerarse desechos domésticos. En México, se estima que un 17% de los desechos de atención de salud son peligrosos.

Para estimar las cantidades de desechos peligrosos producidos por diferentes países en los establecimientos de atención de salud se empleó una cifra de 3 kg/cama/día. Se empleó finalmente una cifra de 20% para calcular la carga de desechos peligrosos para los establecimientos de atención de salud en cada país. El número de camas en cada país se tomó de *Las condiciones de salud en las Américas* (OPS, 1990). Esta información fue corroborada por los datos proporcionados como parte del cuestionario empleado por la OPS en la encuesta sobre desechos peligrosos. Una estimación de los desechos peligrosos producidos por los establecimientos de atención de salud se resume en el Cuadro 1.

Respecto a las prácticas de disposición final, se han tomado las primeras medidas para la introducción de procedimientos adecuados de disposición de desechos de los establecimientos de atención de salud en los países, según se muestra en el Cuadro 2. Si bien dicha información es cualitativa en su mayor parte, puede observarse, por ejemplo, que la mayoría de los países están incinerando algunos de los desechos. Sin embargo, se sabe que en la mayoría de los países los incineradores no funcionan o lo hacen en forma inadecuada, pues, por ejemplo, rara vez alcanzan las temperaturas que se requieren para la combustión adecuada. En algunas ciudades, los incineradores municipales se emplean no sólo para los desechos domésticos sino también para los desechos peligrosos generados por los establecimientos de atención de salud.

Un informe sobre la situación en el Brasil (Penteado de Castro Neto, 1990) sostiene que en la mayoría de los municipios de ese país los desechos de hospitales tienen el mismo destino que los domésticos, es decir, se eliminan en los vertederos o en vaciaderos abiertos. En la ciudad de São Paulo, por otro lado, todos los desechos de hospitales se recogen por separado y se incineran. En 1986, la CETESB tomó algunas muestras de los desechos de hospitales destinados a la incineración. Los resultados indicaron que contenían cantidades significativas de coliformes y *Streptococcus faecalis*. También se observó la presencia de *Pseudomonas* y *S. aureus*.

Cuadro 1 - Cantidades de desechos peligrosos producidos por establecimientos de atención de salud en ciertos países

Pais	Número de Camas	Desechos Peligrosos Ton/Año	Pais	Número de Camas	Desechos Peligrosos t/Año
Anguilla	24	5.3	Guatemala	13,665	2,993.1
Argentina	150,000	32,850.0	Jamaica	5,745	1,258.2
Barbados	2,111	462.3	México	60,099	13,161.7
Bolivia	8,749	1,916.0	Nicaragua	4,904	1,074.0
Brasil	501,660	109,863.0	Paraguay	5,487	1,201.7
Colombia	45,761	10,021.7	Perú	30,629	6,707.8
Cuba	50,293	11,014.2	Santa Lucía	399	87.4
Chile	42,969	9,410.2	Trinidad & Tobago	4,281	937.54
Dominica	322	70.5	Uruguay	14,133	3,095.1
Ecuador	16,426	3,597.3	Venezuela	47,200	10,336.8
Guyana	2,204	482.7			

Cuadro 2 - Métodos de manejo de desechos en instalaciones de atención de salud en ciertos países de la Región

País	Zona	Hospitales Públicos	Hospitales Privados	Otros servicios de salud
Argentina	Nacional	IN (20%), RS (38%), OT (42%)		
Bolivia	La Paz	RS	RS	RS
	Cochabamba	RS	RS	RS
	Santa Cruz	IN, RS	RS	ND
Brasil	Sao Paulo	IN = RS (59%), OT (41%)		
	Bahia Rio de Janeiro	RS IN, RS	- -	- IN
Colombia	Bogotá	IN, RS	IN, RS	-
Cuba	Cienfuegos	IN, RS, AL ¹	-	-
Chile	Metropolitana	IN ² (41%), OT (59%)	IN (38%), OT (62%)	
Ecuador	Nacional	ND	ND	ND
Guatemala	Metropolitana	OT	OT	OT
Guyana	Nacional	IN (10%), RS (90%)	IN	-
Jamaica	Kingston	IN (25%) ³ , RS, AL	IN (50%), RS, AL	RS, AL
México	ZMCC	RS, OT	RS, OT	RS, OT
	Monterrey	IN, RS	IN, RS	IN, RS
	Guadalajara	IN (5%), RS	ND	-
Nicaragua	Managua	IN, RS, AL	IN, RS, AL	RS
Paraguay	Asunción	IN	IN	RS, OT
Perú	Nacional	IN (3%) ³ , RS, OT	IN (3%) ³ , RS, OT	RS, OT
Trinidad y Tobago	Nacional	IN ⁴ , RS	IN ⁴ , RS	-
Uruguay	Nacional	IN	IN	-
Venezuela	Caracas?	IN (40%) ³ , RS	IN (40%) ³ , RS	-

AL: Eliminación al aire libre
 IN: Incineración
 RS: Relleno Sanitario

OT: Otro (no especificado)
 ND: No datos
 -: No existe

Notas

- ¹ El tratamiento o la eliminación se hace en base a la clasificación de los desechos:
IN: Materiales clínicos y objetos punzocortantes. RS: Desechos anatomopatológicos. OA: Desechos comunes
- ² En forma similar a Cuba, el tratamiento se lleva a cabo sobre la base de la clasificación de desechos.
IN: Residuos infecciosos, en promedio el 40% de los desechos
OT: Los desechos restantes se llevan a la caldera del crematorio o al tanque digestor del cementerio
- ³ Calculado sobre la base del número de hospitales
- ⁴ Incineración a temperatura baja

En el año 1989 se desarrolló en la ciudad de Asunción, Paraguay, un estudio técnico sobre residuos sólidos hospitalarios. El objetivo del estudio fue el de efectuar un diagnóstico situacional del manejo de los residuos sólidos en los centros nosocomiales de la capital, con la colaboración del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social a través de su organismo técnico, el Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA) y con el apoyo de la Oficina Panamericana de la Salud (OPS/OMS).

Este estudio se efectuó a través de encuestas en los principales hospitales y sanatorios de la capital Asunción. En estas encuestas se contempló todos los parámetros que intervienen en el manejo de los residuos sólidos de los establecimientos de atención de salud, tales como producción, recolección, almacenamiento, equipamiento, transporte, infraestructura, capacitación, presupuesto, entre otros.

En el marco del proyecto "Fortalecimiento Técnico de CEPIS", Programa Cooperativo OPS-HEP-CEPIS/GTZ/VENEZUELA, se desarrolló en el año 1992, el estudio "Manejo de Desechos Hospitalarios en Venezuela", en el cual se describe la situación actual en el manejo de los desechos hospitalarios de los establecimientos de atención de salud del área metropolitana de Caracas, analizando sus diferentes etapas tales como la generación y segregación, acondicionamiento, recolección interna, transporte interno, almacenamiento interno y almacenamiento externo. En general se observó un manejo no satisfactorio de los desechos debido tanto a un deficiente conocimiento y entrenamiento como a una falta de concientización en cuanto a la problemática de un correcto manejo y disposición.

En el estudio se desarrolló también un trabajo de clasificación y cuantificación de los desechos generados en dos centros hospitalarios de Caracas, determinando el origen, tipo y cantidad de residuos. El objetivo de este trabajo fue el de contar con información básica para el desarrollo de una normativa específica adaptada a la realidad venezolana, así como establecer las técnicas adecuadas para el manejo de los desechos sólidos a nivel intraedificacional.

Se presentan, de igual manera, recomendaciones para el manejo de los desechos hospitalarios en lo concerniente a capacitación del personal, recipientes, recolección, transporte interno, almacenamiento, transporte externo, incineración, desinfección, entre otros. El documento incluye un Plan Operacional para Caracas y un anexo con las Normas para la Clasificación y Manejo de Desechos en Establecimiento de Salud.

3.1 *Normatividad*

En la mayoría de los países, los temas referidos a residuos sólidos municipales y peligrosos son tratados por varios sectores de la administración pública, tales como ambiente y salud, desarrollo urbano, comunicaciones y transportes, industrias, comercio, trabajo y otros. Además, su regulación está contenida en diversas leyes, reglamentos e instrumentos jurídicos que muchas veces se traslapan. Esta multiplicidad hace necesario que se delimite con mayor precisión el ámbito, componentes y funciones de las autoridades facultadas y que se definan mecanismos jurídicos para resolver la sobreposición de sectores, considerando el principio de que cada autoridad administrativa sólo puede hacer aquello que la ley le permite.

El régimen democrático de los países de la Región, ya sean de federales o unitarios, determina que las leyes sobre ambiente y salud sean dictadas por el Poder Legislativo para luego ser promulgadas por el Poder Ejecutivo. Además, el gobierno central o federal y los estados también norman a través de decretos y resoluciones, pero siempre dentro de lo dispuesto por la Constitución del Estado. A su vez, los municipios disponen a través de edictos y ordenanzas municipales la gestión y operación de residuos sólidos dentro de su jurisdicción.

La interpretación y aplicación de estos instrumentos legales, por diferentes razones, incluidas las políticas, causa conflictos y confusiones. Así, por ejemplo, la Municipalidad de Lima y el Congreso tuvieron un prolongado debate sobre la potestad de esa Municipalidad para disolver su empresa municipal de aseo urbano y contratar una empresa privada.

En el cuadro 3 se ha tratado de resumir la información disponible sobre los instrumentos legales o que están en proceso de preparación en algunos países. Las leyes no son necesariamente específicas sobre residuos sólidos municipales, sino que están comprendidas en otros instrumentos legales sobre la salud o el ambiente.

No se ha consignado la ley o código municipal que prácticamente existe en todos los países y en la cual se dan disposiciones generales sobre el manejo de residuos sólidos municipales y responsabiliza al municipio de prestar los servicios de aseo urbano. Tampoco se menciona la Constitución, ley fundamental de los países, que dispone que los municipios son los responsables de organizar los servicios públicos, como el de aseo urbano.

Para que la ley y los reglamentos referidos al manejo de desechos peligrosos sean efectivos, se requiere capacidad técnica y administrativa en los niveles nacional y subordinado (por ejemplo, estatal, provincial, municipal, etc.). En el nivel técnico, el manejo de cada sustancia química debe hacerse idealmente bajo el principio "de la cuna a la tumba". Las opciones técnicas para el manejo de desechos peligrosos van desde la prevención de desechos, a la optimización o modificación de procesos, el reciclado, el almacenamiento, el tratamiento (incluida la incineración) y finalmente la disposición en un relleno de seguridad y la vigilancia posterior para detectar cualquier eventual contaminación a lo largo de los años.

Cuadro 3 - Instrumentos legales existentes en algunos países de América Latina

Instrumento legal	Países donde existen	Países en proceso de preparación
1. Leyes nacionales sobre residuos sólidos municipales (generales o específicos)	Colombia, Honduras, Perú, Chile, Venezuela	Haiti, Paraguay, Uruguay, Costa Rica
2. Reglamentos nacionales y normas técnicas sobre residuos sólidos municipales	Bolivia, Honduras, Perú, México, Chile, Colombia, Paraguay, Brasil, Costa Rica, Venezuela	Haiti, Uruguay, Ecuador
3. Normas técnicas sobre manejo de residuos sólidos de establecimientos de salud y especiales	Colombia, México, Paraguay, Uruguay, Honduras, Perú, Brasil, Costa Rica, Cuba, Argentina, Venezuela	Bolivia, Guatemala, Ecuador
4. (*) Convenio de Basilea	Antigua y Barbuda, Argentina, Bahamas, Brasil, Chile, Ecuador, El Salvador, México, Panamá, Uruguay, Costa Rica, Perú, Trinidad y Tobago	
5. Otros convenios	México, Brasil, Costa Rica	
6. internacionales		

(*) Países de ALC que han ratificado el Convenio de Basilea hasta abril de 1994.

Fuente: OPS. Análisis sectorial de residuos sólidos en Uruguay. 1996. PIAS. Serie Análisis Sectorial N° 7.

OPS. Análisis sectorial de residuos sólidos en Colombia. 1996. PIAS. Serie Análisis Sectorial N° 8.

OPS. Análisis sectorial de residuos sólidos en Guatemala. 1995. PIAS. Serie Análisis Sectorial N° 6.

OPS. Análisis sectorial de residuos sólidos en México. 1996. PIAS. Serie Análisis Sectorial N° 10.

OPS. Procesamiento de información del Sistema de Monitoreo de Residuos Urbanos (SIMRU). 1996.

OPS: BID. Informes para el presente Diagnóstico en algunos países. 1996.

En el nivel administrativo se necesita legislar el control eficaz y promover el manejo de desechos peligrosos mediante las opciones técnicas indicadas anteriormente. La información que se resume en el cuadro 4 se ha derivado de dos fuentes, de la información sobre legislación que se obtuvo en los países para preparar el documento sobre desechos peligrosos y salud en América Latina y el Caribe (OPS. Serie Ambiental N° 14), y los archivos de la OPS (Bolis, 1993). Sólo se tuvo en cuenta la legislación que trata directamente el control de desechos peligrosos. Cabe anotar que la legislación brasileña y la de otros países atribuye al generador de los residuos industriales, la responsabilidad por su manejo. Esta responsabilidad se extiende a los daños personales y ambientales causados en cualquiera de las etapas de acondicionamiento, transporte, tratamiento, recuperación y disposición final.

Cuadro 4. Legislación sobre desechos peligrosos en ciertos países

País	Tipo de legislación	Año	Contenido
Argentina	Ley N° 24051 (Nacional) Decreto N° 181-92 Resolución 349/94 del Min. De Salud Decreto N° 403/97 de la Provincia de Buenos Aires, actualiza el Decreto N° 450/94 reglamentaria de Ley N° 11347 que regula la gestión de residuos sólidos. Ley N° 11720 y Decreto N° 206/97 de la Provincia de Buenos Aires sobre residuos especiales.	1991 1992 1994 1997	Ley de residuos peligrosos Prohíbe la importación de residuos peligrosos Manejo de residuos biopatológicos: generación, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento (incineración, autoclave, relleno seguridad), disposición final
Brasil	NB - 1265 Ley N° 6.938—1981 Resolución CONAMA N° 6 1991 - Criterios para la no obligación del uso de incineradores para residuos de hospitales, puertos y aeropuertos. Resolución CONAMA No 5/93 - Define las normas mínimas para tratamiento de residuos de hospitales, puertos y aeropuertos. Resolución CONAMA N° 37/94. Norma CETESB E-15011	1989 1981 1991 1993 1994 1997	Política nacional del medio ambiente Define a los residuos peligrosos y establece los criterios para la importación y exportación de residuos Incineración de residuos sólidos peligrosos - Patrones de operación Sistema de incineración de residuos de servicios de atención de salud
Paraguay	Ley	1990	Prohíbe a particulares y empresas la importación de materiales clasificados como desechos tóxicos industriales
Uruguay	Decreto	1989	Prohíbe la importación de toda clase de desechos peligrosos
Paraguay	Resolución N° 548- Ministerio de Salud Pública	1996	Manejo de residuos hospitalarios y especificaciones técnicas para incineradores
Chile	Resolución N° 5.081	1993	Control sobre la generación, transporte y destino final.

Fuente: OPS. Desechos peligrosos y salud en América Latina y el Caribe. 1994. Serie Ambiental N° 14

OPS; BID. Informes de expertos locales para el presente diagnóstico. 1996.

Instituto de Pesquisa Tecnológica. Lixo municipal; manual de gerenciamento integrado. São Paulo, 1995.

Respecto a la legislación en Paraguay, en la Resolución N° 548 del 21/08/96 del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (que reglamente la Ley No. 836/80 "CODIGO SANITARIO") se incide en tres capítulos.

Cap III sec.VIII art. 113 al 119

Tipo: Reactor térmico de autocombustión con proceso pirolítico.

Equipamientos: Encendido y apagado automático. Con sistema para casos de fallas, control de temperatura. Doble cámara. Tiempo de retención de los gases en la segunda cámara mayor a 2 seg. Distancia de seguridad: radio de 50 m.

Cap. IV art. 143 al 161

"Residuos Sólidos Hospitalarios"

Cap V. art. 162 al 170

"Servicio especial de aseo"

El art. 115 habla que "...en cualquier caso los incineradores deberán de garantizar la total destrucción de los residuos y la buena calidad de los gases que se produce en el proceso (especialmente las dioxinas), de modo a no contaminar el medio ambiente".

Existe una Ley No. 716, art. 7° que pena con años de prisión (2 a 4 años) o multas de 500 a 1000 jornales mínimos (actualmente 7 US\$/diarios). El art. 11° cita a los Residuos Hospitalarios y sanciona a los que arrojen los residuos de INCINERACION OBLIGATORIA (sic) u omiten la realización de la misma. son sancionados con prisión de 6 a 12 meses y multas de 100 a 500 jornales mínimos.

Con respecto al desarrollo de la legislación sobre desechos peligrosos, Argentina, Brasil, México y Venezuela son probablemente los más avanzados (CEPIS, 1993). En el caso de Brasil, el manejo de los desechos peligrosos se delega a los estados, por ello, los más industrializados y con economías más avanzadas, como São Paulo y Río de Janeiro, tienen programas bien estructurados. México ha emitido varios reglamentos a nivel nacional bajo la ley general de ecología y protección ambiental. Sin embargo, la aplicación de las normas es deficiente debido a que no se han consolidado las estructuras gubernamentales apropiadas. Venezuela y Argentina están en una situación similar; existe legislación pero no hay infraestructura para implantar y supervisar su aplicación. Cabe señalar, sin embargo, que estos dos últimos países han tomado como base el Convenio de Basilea para la clasificación de sus desechos. Además, la información sobre Cuba indica que este Convenio está empleándose para el desarrollo de su propia legislación.

Los países restantes sólo tienen leyes limitadas y un mínimo de infraestructura para el control. Muchos no tienen un sistema para la clasificación de desechos peligrosos, lo que es considerado como un requisito fundamental para la legislación en esta área. Debe observarse, por otro lado, que algunos países recientemente han tomado las primeras medidas para asumir el control del manejo de los desechos industriales.

Por ejemplo, en Chile, el Gobierno Regional Metropolitano (que representa más de 70% de la producción nacional) ha aprobado la resolución que establece un sistema para la declaración y el seguimiento de los residuos sólidos industriales. Esta resolución permitirá preparar un inventario que hará posible iniciar la eliminación inocua de estos desechos. También en Uruguay se ha iniciado un programa de manejo de desechos peligrosos, cuya primera fase incluyó una encuesta nacional sobre la producción de desechos peligrosos.

3.2 Plantas de incineración

3.2.1 Incineración de residuos hospitalarios

En Argentina, la Secretaria de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires ha habilitado 15 establecimientos de tratamiento de residuos patógenos por el método de incineración. Del total habilitado 11 han iniciado su actividad, uno de los cuales fue clausurado por el municipio respectivo.

Existen en Paraguay 5 incineradores con capacidad para tratar 1100 kg/hora de residuos hospitalarios. No existe ningún incinerador para tratar residuos industriales.

Equipo 1:

Propiedad de una empresa privada: Empresa Sudamericana.

Localidad: Ñembucu.

Capacidad: 500 Kg/h.

Fecha de fabricación: 1994.

Estado de conservación: medio por problemas con medidor de temperatura quemado.

Marca: nacional Gamarra.

Posee lavadores de gases y filtro sin operar por falta de mantención.

Atiende a Asunción y área metropolitana.

Equipo 2:

Propiedad: Hospital Migones.

Marca: Lutex, tipo pirolítico.

Fue instalado mas nunca operó. Esta deteriorado.

Equipo 3:

Hospital Bautista de Itapua.

Tipo cámara simple con capacidad de menos de 40 kh/h.

Desactivado

Equipo 4:

Hospital Cáncer Quemado de Aregua.

Capacidad 50 Kg/h

Funcionando en medias condiciones sin equipo de control de la contaminación.

Equipo 5:

Gran Hospital Nacional de Itagua

Capacidad 500 Kg/h.

Fecha de fabricación 1989

Tipo de combustión: completa gasoil.

Posee equipamiento de control de la contaminación desactivado por falta de operación

Sin embargo, oficialmente existe solo una planta incineradora instalada en el Paraguay ya que las otras no fueron autorizadas a operar por estar mal ubicadas, por no ajustarse a las normas o porque ya son obsoletas.

El tipo de incinerador que opera en la Planta de Incineración oficialmente instalada es del tipo de doble cámara, fabricación paraguaya, posee quemadores en ambas cámaras alcanzando 800 a 1100°C en la primera y 1100 1400°C en la segunda, alimentados por gasoil e inyección de aire y una turbina de recirculado de gases de la segunda cámara a la primera. Posee lavado de gases con los líquidos provenientes de las piletas de acumulación de las bolsas de residuos. En la parte superior de la chimenea posee un filtro.

Este incinerador elimina únicamente residuos hospitalares. Su capacidad es de 500 kg/hs. Inició su operación en 1994. El equipo actualmente no está operando bien, ya no funcionan los pirómetros, se han fundido por las altas temperatura que operaba. La inyección de agua para el lavado de los gases tampoco funciona. Los filtros no se le hicieron nunca mantenimiento. Los ladrillos refractarios, deben ser removidos constantemente pues no resisten al desgaste provocado por las implosiones de los frascos vacíos de vidrios. La puerta de carga se ha roto y ha cambiado el sistema de cierre. El segundo quemador no opera en forma. Se estima que la temperatura de operación solo alcanza los 800 °C en la actualidad.

En Uruguay se recolectan 25 ton/día de residuos hospitalarios, los mismos que son trasladados a la Usina 3, ubicada en una zona urbanizada de la ciudad de Montevideo, en la cual se encuentra instalado un horno construido en 1915 para la quema de residuos. El horno originalmente fue diseñado para quemar residuos urbanos, actualmente se encuentra en estado deficiente.

Existe otra instalación para la incineración de residuos hospitalarios en Uruguay, denominada Usina 2, la que se encuentra en etapa de readecuación. En estas instalaciones se queman 25 ton/día de residuos, cuyas cenizas se disponen en el vertedero (Usina 7).

3.2.2 Incineración de residuos peligrosos

En Brasil existen diferentes incineradores instalados por industrias químicas. El cuadro 5 proporciona información sobre dichas plantas.

Cuadro 5. Plantas de incineración en Brasil

Empresa	Capacidad (t/año)	Localización	Residuos
Hoescht	2.500	Suzano	Sólidos y líquidos
Ciba-Geigy	2.000	Taboao da Serra - Sao Paulo	Sólidos y líquidos
Elanco	9.000	Cosmópolis	Sólidos y líquidos
Basf	2.700	Guaratingueta	Sólidos y líquidos
Dow Chemical Monsanto y Solvay	Solamente para su propio uso.		
Rhodia (Rhone-Poulenc)	Exclusivamente construido para limpieza de suelos contaminados.		
Bayer	4.000	Rio de Janeiro	Sólidos, líquidos y pastosos (disponibilidad para ascarel: 1.600 ton/año)
Cetrel	10.000	Bahia	Líquidos y pastosos (en construcción un incinerador para residuos sólidos) (disponibilidad para ascarel: 2.000 ton/año)
Cinal	11.500	Alagoas	Residuos líquidos y pastosos y sólidos solubilizados. Tiene licencia para quema de clorados, PCB, pesticidas, fosforados, nitrogenados. (disponibilidad para ascarel: 2.400 ton/año)

Nota: 1) La CETREL procesará sólidos (6.000 ton/año) a partir de setiembre de 1998.

2) La CINAL descontaminará transformadores y tambores, reciclando metales a partir de julio/98. Tendrá capacidad para hasta 12.000 ton/año. A partir de enero/2.000 tendrá incinerador de sólidos (4.000 ton/año).

3.3 *Sistemas de control*

Los productos de la combustión -ceniza, escoria, gases de la combustión- y el agua residual proveniente de la limpieza de gases se deben someter a tratamiento. Se necesitan limpiadores de gases de combustión (scrubbers), filtros y/o precipitadores electrostáticos para eliminar los niveles excedentes de óxidos de azufre, cloruro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, partículas y metales pesados (que pueden volatilizarse a temperaturas muy elevadas). Las aguas residuales son ácidas y contienen partículas. La ceniza fina y las partículas recogidas del equipo de control de aire contaminado que sigue al incinerador pueden o no ser clasificadas como peligrosas y, por lo tanto, pueden o no necesitar fijación y almacenamiento en un relleno seguro.

Con frecuencia están presentes los contaminantes de metales pesados. Estos contaminantes podrían volatilizarse y salir por la chimenea debido a las altas temperaturas de

Los hornos, tal como se experimenta en el modo de escoriado. Deben considerarse los peligros que representan estos contaminantes -- arsénico, cadmio, cromo, berilio (todos carcinógenos) más antimonio, bario, plomo, mercurio, plata y talio -- y tomar las medidas necesarias para reducir sus volúmenes de emisión, especialmente cerca de áreas pobladas.

En cuanto a dispositivos de control de emisiones: la empresa operadora de la Planta Incineradora en el Paraguay no posee equipos de medición alguno, tampoco otra entidad Pública o Privada.

Las medidas de control que se tomaron fueron: Incinerar por encima de 1050 °C, por lo menos en la segunda cámara. Mantener por encima de ese valor. Lavar los gases e instalar un filtro a la salida de la chimenea.

La Resolución 548 de 1996, del Ministerio de Salud en Paraguay obliga efectuar la incineración de residuos hospitalarios y establece condiciones para el control de la contaminación por dioxinas a través del control de la temperatura.

3.4 Costos

En el cuadro 6 se observan datos sobre los costos de operación de algunas plantas de incineración en Brasil.

Cuadro 6. Costos de operación de las plantas de incineración en Brasil

Empresa	Costo (R\$/kg)
Ciba-Geigy	1,50 - 3,00
Bayer	1,70 - 4,00
Cinal	1,50 - 3,00

Con relación a los costos de incineración de residuos hospitalarios en Argentina, éstos fluctúan entre un mínimo de EUA\$ 0,6 y un máximo de EUA\$ 2,05 por kilogramo.

4. Tendencias

Debido a la falta de terrenos, su alto costo o por la cada vez más exigente legislación para la preservación del ambiente, muchos países desarrollados adoptaron la incineración y el compostaje de sus RSM como métodos de tratamiento, procesos que pueden llegar a ser parcialmente competitivos aún cuando utilicen una tecnología avanzada. Estos procesos tratan de aprovechar la basura o sus características, lo que dio origen a proyectos de incineración con aprovechamiento de energía, de bioconversión en compost, de producción de combustible auxiliar o RDF (*refuse derived fuel*) y de biogás de los rellenos sanitarios (en Santiago de Chile para uso residencial y en Rio de Janeiro como combustible auxiliar para los vehículos de la COMLURB). Estas tecnologías han sido adoptadas por varias ciudades de ALC con resultados casi siempre desalentadores, a excepción de algunos proyectos de recuperación de biogás, debido a que faltaron los análisis técnicos, institucionales y económicos para establecer la justificación y factibilidad de las inversiones.

Actualmente, en la mayoría de países de América Latina y el Caribe la incineración se circunscribe a pequeños incineradores para residuos especiales, principalmente en los hospitales, puertos, aeropuertos y en la industria, con excepción de Brasil, donde, como se ha indicado anteriormente, existen plantas de incineración a pequeña, mediana y gran escala para residuos hospitalarios e industriales. Como ejemplo de una planta de incineración a gran escala se puede mencionar al Polo Petroquímico de Camaçari.

Por el riesgo que representa la potencial emisión de dioxinas y furanos, entre otros contaminantes, hasta ahora no se ha autorizado la instalación de incineradores de baja capacidad en el Distrito Federal, Corregidora (Querétaro) y otras ciudades de México. Recientemente se viene ofreciendo a diversas municipalidades plantas de incineración con recuperación de energía, aunque no se ha verificado la factibilidad técnico económica de esas inversiones.

Cuadro 7. Tendencias mundiales del tratamiento y disposición final

Porcentajes de tratamiento o disposición final (90)			
País o región	Relleno sanitario (o basurero)	Combustión	Cómpost
Estados Unidos	80	19	<1
Japón	30	70	2
Alemania	70	30	3
Francia	55	40	9
Suiza	20	80	-
Suecia	40	55	5
España	80	15	5
América Latina	98	<1	<1

Fuente: OPS. El manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. 1995. Serie Ambiental N° 15.

En Chile, recientemente se ha instituido un programa específico para abordar el problema de los residuos de origen industrial y para el manejo de los residuos peligrosos. Durante los últimos tres años se han desarrollado una serie de estudios tendientes a mejorar la información disponible y precisar el diagnóstico de situación. De particular interés resulta el estudio concluido en 1996 en la Región Metropolitana y el estudio concluido en 1995, en ocho comunas de la octava región, que en conjunto abarca un área que concentra a más del 85% de la actividad industrial del país, sin considerar la actividad extractiva.

INCINERACIÓN EN ALEMANIA

Foro Internacional sobre Incineración de Residuos Peligrosos

Ponencia:

La Incineración de Residuos en Alemania

Dipl. Ing. Isabel Kreiner



Organizado por:

Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias
Ambientales, A. C.

Instituto Nacional de Ecología

Organización Panamericana de la Salud

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco

27 de Agosto de 1998

Introducción

Para cumplir con los valores límite de emisiones estipulados en la legislación alemana referente a los compuestos tóxicos de metales pesados y dioxinas/furanos requirió un mayor esfuerzo de los constructores y operadores de las instalaciones de incineración con respecto a la conceptualización de los sistemas de control de gases. El 17° Reglamento Federal de Protección de la Calidad del Aire "17. BImSchV (1990)" es el correspondiente, en la legislación Alemana, para la incineración de residuos. Cualquier instalación diferente se debe atener a la Guía Técnica de Aire "TA Luft (1986)". En el marco de la unificación europea ya existe una propuesta que se basa en el 17.BimSchV y es la correspondiente a la normatividad holandesa "Verbranding 1989".

Los sistemas usuales comprobados para retener y minimizar los contaminantes más importantes como son las partículas SOx, HCl, HF y NOx no alcanzan, en general, la eficiencia requerida de retención. En la mayoría de los casos se deben desarrollar específicamente etapas adicionales de control de emisiones. Junto a los compuestos tóxicos mencionados en la legislación, últimamente se discuten también los otros hidrocarburos aromáticos clorados como: BPC, hexaclorobenceno, así como también las dibenzodioxinas y dibenzofuranos bromados.

La incineración, como tratamiento térmico de residuos en general, en los últimos años ha recibido mayor atención dado que en la política alemana de residuos se prevé reducir a un mínimo la disposición de éstos en confinamientos y en los rellenos sanitarios para el año 2005. Por lo cual se fomenta la minimización y el reciclaje de sustancias y de aquellos con alto valor/contenido térmico.

Tabla 1: Desarrollo de la incineración de residuos peligrosos en Alemania (UBA,1995)

Año	No. de sitios de instalaciones	No. de unidades de incineración	Capacidad teórica de incineración en t/a
1965	3	4	68 000
1975	13	22	382 000
1985	23	38	740 000
1995	32	55	1 120 000
Prog. 2000	35	59	Aprox.1 300 000

Tabla 2: Desarrollo de la incineración de residuos municipales en Alemania (UBA.1995)

Año	No. de instalaciones	Capacidad teórica de incineración en 1000 t/a	Flujo promedio por instalación en 1000 t/a
1980	42	6 343	151
1985	13	7 877	171
1990*	23	9 200	191
1995 *	32	10 870	202
Prog.* 2000	35	12 000	200

* considerando los nuevos estados

La capacidad instalada de estos sitios no se usa completamente en la actualidad y de estas instalaciones más del 80% son hornos rotatorios. Este tipo de tecnología de incineración permite selectivamente utilizar como combustible alternativo a los residuos sólidos, líquidos o pastosos ya que ofrece la posibilidad de suministrarlos por el frente del tambor rotatorio del horno, además de permitir la alimentación, igualmente por la parte delantera, de residuos sólidos en especial de contenedores móviles (p. ej. barriles).

En la práctica se han comprobado para los hornos rotatorios con los diversos tipos de alimentaciones las siguientes dimensiones:

Diámetro libre:	3 – 4 m
Longitud:	10 – 12 m
Carga volumétrica	< 1 GJ/(m ³ h)
Carga superficial (la superficie interior mamposteada):	< 1 GJ/(m ² h)
Temperatura de incineración:	hasta 1350°C
Enchaquetamiento de acero con mampostería resistente al fuego:	250 hasta 500 mm

Normatividad vigente y tendencias actuales

Los tipos de normatividad y lineamientos más importantes que deben observar las instalaciones de tratamiento térmico en Alemania son:

- *la legislación para instalaciones que requieren de supervisión o sea de autorizaciones especiales (p. ej. reglamento para calderas y otras regulaciones técnicas)*
- *la normatividad de calidad del aire (La Ley Federal de Calidad de Aire "BimSchG", sus reglamentos 12., 13. Y 17. BImSchV, la Guía Técnica de Aire "TA Luft")*
- *la legislación de protección al agua*

- la legislación sobre construcciones
- la legislación sobre transporte
- la legislación al respecto de sustancias y materiales (p. ej. Ley de sustancias química)
- la legislación sobre residuos
- la legislación sobre trabajo
- regulaciones y normatividad europea al respecto.

El reglamento 17.BImSchV

El reglamento mencionado se aplica a diversas instalaciones para la incineración (eliminación de materias sólidas o líquidas) de residuos, como son el:

- Incinerador de residuos sólidos municipales
- Incinerador de residuos peligrosos
- Incinerador de lodos de plantas de tratamiento de aguas
- Incinerador de residuos hospitalarios
- Incinerador de materias remanentes (de la producción industrial)

Adicional a lo anterior, se prevé el uso de residuos como combustible alterno en las diversas instalaciones ya sean plantas de tratamiento térmico, calderas u otras instalaciones tales como: cementeras, altos hornos, hornos de cal, etc. Para este tipo de disposición se calculan valores límite de emisión mixtos, como se muestra en la Tabla 3. La Tabla 4 muestra los valores límite de emisión prescritos para las instalaciones de incineración de residuos.

Tabla 3: Requerimientos para Instalaciones de Combustión Combinada

Utilización de residuos en:	Porcentaje de residuos	Valores de emisión por parte	17.BImSchV Completo
Instalaciones que requieren autorización	≤ 25 %	Todos inclusive CO	Partículas, C, HCl
Plantas térmicas, instalaciones de combustión e incineradores	> 25 %	CO, Dioxinas Metales pesados	
Autorización, salvo P.T., I.C., Incineradores	> 25 %	Todos inclusive CO	

¹ Referente a la capacidad de combustión (regla de mezclado)

La determinación de los valores límite de emisión y de referencia para la co-incineración de residuos peligrosos puede realizarse mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{V_{residuo} \times C_{residuo} + V_{proceso} \times C_{proceso}}{V_{residuo} + V_{proceso}} = C$$

V_{residuo}: Volumen de gases de escape procedentes de la incineración de residuos peligrosos determinado únicamente a partir de los residuos con el menor valor calorífico.

Si la emisión de calor resultante de la incineración de residuos peligrosos es inferior al 10% del calor total emitido en la instalación. El *V_{residuo}* deberá calcularse a partir de la cantidad (teórica) de residuos que, al incinerarse, producirían una emisión de calor igual al 10%, siendo fija la emisión total de calor.

C_{residuo}: Valores límite de emisión establecidos para las instalaciones destinadas a incinerar sólo residuos peligrosos (por lo menos los valores límite de emisión y el valor de referencia para los contaminantes y el monóxido de carbono).

V_{proceso}: Volumen de gases de escape procedente del proceso realizado en la instalación, incluida la quema de los combustibles autorizados que normalmente se emplean en la instalación (sin incluir de los residuos peligrosos), determinado según el contenido de oxígeno en el que deben normarse las emisiones, con apego a lo dispuesto en la normatividad comunitaria o nacional. A falta de normatividad para esta clase de instalaciones, deberá utilizarse el contenido real de oxígeno de los gases de escape, sin que se diluya mediante inyección de aire innecesario para el proceso.

C_{proceso}: Valores límite de emisión de los contaminantes pertinentes y del monóxido de carbono en los gases de salida de las instalaciones que cumplan las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas nacionales aplicables a dichas instalaciones, cuando queman los combustibles autorizados normalmente (sin incluir los residuos peligrosos). A falta de dichas medidas se utilizarán valores límite de emisión que establezca la autoridad. A falta de autoridad se utilizarán los valores correspondientes a las concentraciones reales en masa.

C: Valor límite de emisión total o valor de referencia total del CO y los contaminantes pertinentes que sustituyen a los valores límite de emisión y al valor de referencia.

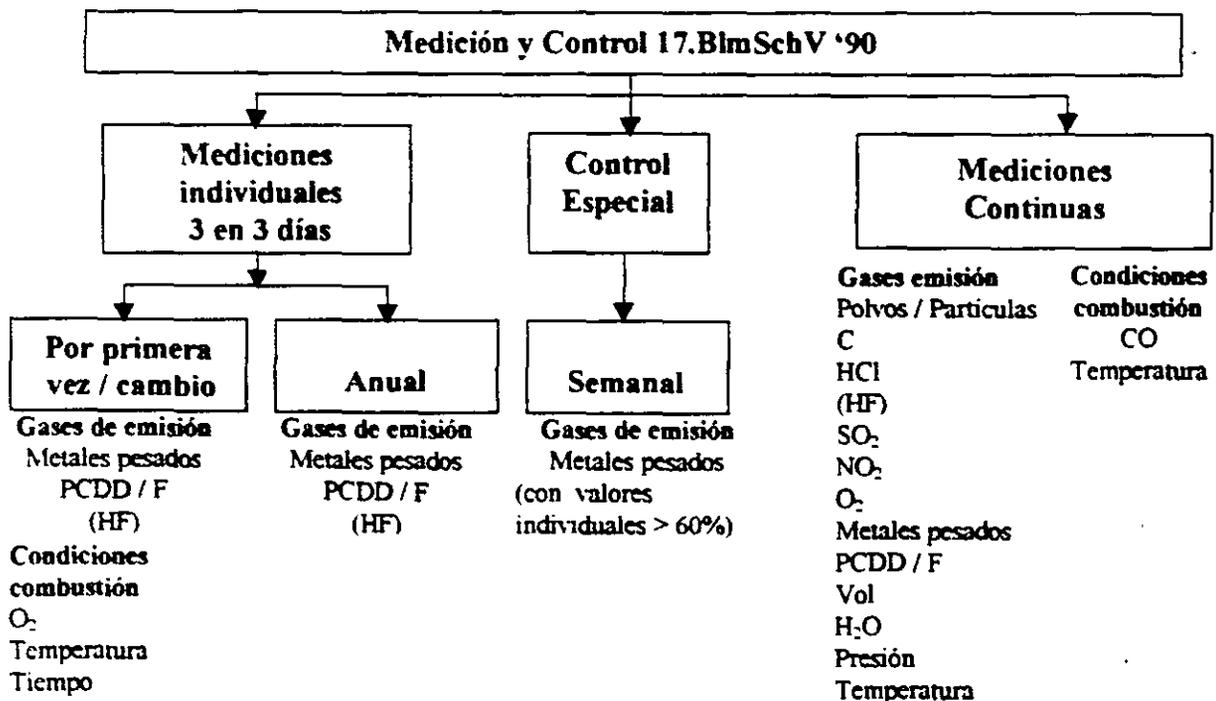
Tabla 4: Valores de emisión para incineradores de residuos

		TA Luft '86		17.BImSchV '90
		1974	1986 ¹	1990 / 94 / 96 ¹
	mg/m ³			
Compuestos de cloro	HCl	100	50	10
Compuestos de flúor	HF	5	2	1
Oxidos de azufre	SO ₂	---	100	50
Monóxido de carbono	CO	1000	100	50
Oxidos de nitrógeno	NO ₂	---	500	200
Compuestos orgánicos	C	---	20	10
Polvos/partículas		100	30	10
Metales pesados		20...75	0.2...5	0.5 ²
Hg + Cd, Tl		20	0.2	0.05 + 0.05 ²
Dioxinas +Furanos	ng/m ³ TE	---	Mínimo	0.1 ²

¹ Valores promedio/día

² Tiempo de muestreo (0.5...2 h, resp. 6...16 h)

Fig. 1: Frecuencia de mediciones requerida por compuestos



En la figura 2 se muestra un panorama general de los requerimientos que se estipulan en el Reglamento 17 BimSchV. La figura 1 y 3 muestra cuales son los parámetros que son necesarios medir continua o individualmente.

Figura 2. Requerimientos de incineradores

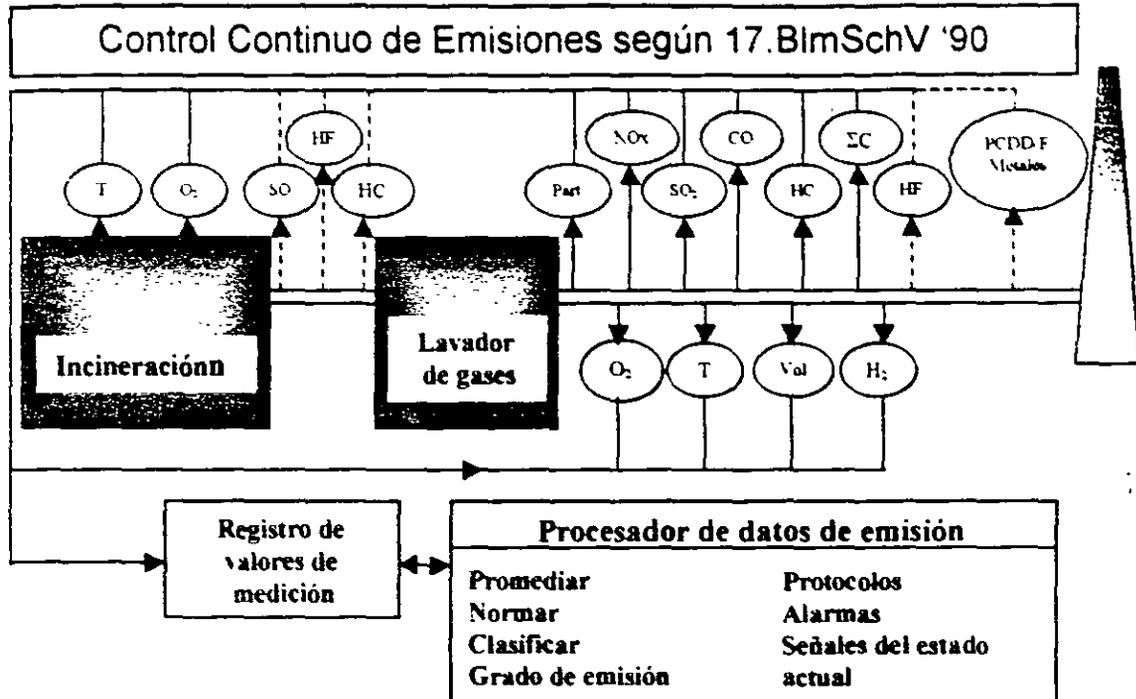


Los parámetros medidos continuamente tienen que cumplir con ciertos valores límite promedios diarios y de media hora. Los parámetros medidos al iniciar la operación de la instalación o cuando se efectúa algún cambio en la instalación, por lo menos una vez al año, se obtienen bajo las condiciones de capacidad instalada autorizada. En el caso de los metales pesados se considera un rango de muestreo de media hasta dos horas. En el caso de las dioxinas y furanos se indican rangos mínimos de 6 horas y máximos de 16.

Al tiempo de publicación del reglamento 17.BimSchV (Nov. 1990), para las instalaciones ya existentes se indica que requieren cumplir con los requerimientos a partir del 1° de marzo de 1994. Para instalaciones que ya cumplieron o tienen una

obligación por cumplir hasta el 1ero de marzo de 1994 con los requerimientos de la TA Luft del 1° de diciembre de 1990, se les indica como fecha de cumplimiento el 1° de diciembre de 1996. Además, existen disposiciones especiales referente a las emisiones de compuestos inorgánicos clorados que permiten emisiones de hasta 65 mg/m3 promedio diario.

Figura 3. Control Continuo de emisiones según 17.BImSchV '90



Lineamientos de VDI

Los lineamientos de VDI describen el estado del arte de la tecnología en la República Federal de Alemania. Estos lineamientos informan sobre procesos e instalaciones para reducir los contaminantes presentes en los gases provenientes del tratamiento térmico sirven de ayuda para la toma de decisiones en la elaboración de normas y apoyan la consecución de las metas ambientales.

Con respecto a la incineración de residuos existen los lineamientos siguientes:

- * VDI 2301 Tratamiento térmico de residuos hospitalarios
- * VDI 3460 – Reducción de emisiones del tratamiento térmico de residuos (municipales y peligrosos).

En este último se dan, junto a las medidas para el control de emisiones, indicaciones para el manejo de aguas residuales y el manejo de los residuos generados así como también medidas de seguridad de instalaciones. Adicionalmente, se encuentran indicaciones sobre alternativas para la adaptación al estado del arte de instalaciones existentes para la incineración de residuos.

Valores de dioxinas y furanos medidos en diversas instalaciones de incineración

En las tablas 5, 6, 7, 8, 9 y 10, se presentan algunos resultados de mediciones en instalaciones de incineración de residuos municipales. Por una parte, se comparan las emisiones de los diversos residuos incinerados; por la otra, se muestran las concentraciones de las dioxinas en diferentes etapas/puntos del proceso.

Tabla 5: Emisiones de dioxinas de instalaciones de incineración de residuos (UBA 1995)

Incineración de residuos	1989/90 ng TE/m³	1994/95 ng TE/m³
Residuos municipales	8	0.1 - 1
Res. Peligrosos	0.5	0.1 - 0.5
Res. Hospitalarios	15	0.1 - 1
Lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales	< 0.1	< 0.1

Tabla 6. Dioxinas en las instalaciones de incineración de residuos sólidos municipales

Lugar de la toma de muestra	No. De mediciones	PCDD / F en I - TE	Unidades
Cámara de combustión	12	0.5 - 6	ng/m ³
Escorias*	14	0.0006 - 0.01	ng/g
Escorias con Electrofiltro	19	0.38 - 0.83	ng/g
Agua de la des-esconación	5	1 - 98	ng/l
Cenizas de calderas	25	0.1 - 0.8	ng/g
Gas crudo	62	4 - 39	ng/m ³
Electrofiltro	54	1 - 28	ng/g
incluyendo filtro de polvos productos de reacción de la purificación del gas seco o casi seco	19	1 - 4	ng/g
Gas crudo (desempolvado)	33	2 - 84	ng/m ³
Agua de lavado	22	1 - 106	ng/l
Casa de bolsas (torta, pastel)	11	2 - 31	ng/g
Gas purificado	89	0.04 - 63	ng/m ³

* Sin la consideración de los límites de prueba. Fuente: Dioxine aus MVA, Müll und Abfall, pag. 753-759, 1991

Tabla 7: Valores de medición de la adaptación de la planta de incineración de residuos sólidos municipales (MVA) en Zirndorf (1994).

Contaminante	Limites 17.BImSchV Promedio Diario	Resultados de la medición MVA Zirndorf Valor promedio
Polvos / Partículas	10 mg/m ³	< 0.3 mg/m ³
HCl	10 mg/m ³	< 1 mg/m ³
HF	1 mg/m ³	0.9 mg/m ³
SO ₂	50 mg/m ³	< 1 mg/m ³
NOx	200 mg/m ³	n.b.
CO	50 mg/m ³	11.2 mg/m ³
C orgánico	10 mg/m ³	< 2 mg/m ³
Σ CdTh	0.05 mg/m ³	< 0.001 mg/m ³
Hg	0.05 mg/m ³	< 0.01 mg/m ³
Dioxinas/Furanos	0.1 mg/m ³	0.0059 ng TE/m ³

Fuente: "Abfallwirtschaft" (Gestión de residuos), 2. Auflage, Springer-Verlag, pag. 228, 1994

Tabla 8: Comparación del grado de separación dependiendo de la combinación de los procesos de control de emisiones

Sistema de purificación de gases	Grado de separación en %		
	PCDD	PCDF	I-TE
solo Electrofiltro	23 – 77	35 – 50	35 – 60
solo 1 lavador radial o lavador en columna	34 – 70	7 – 20	5 – 33
Electrofiltro/2 Lavadores (Venturi o Lavador en columna)	18 – 93	28 - 96	5- 97
Ciclón/Condición Proceso en seco/Filtro de tela	98	99	99
Proceso casi en seco Electrofiltro	83	60	66
Proceso casi en seco Electrofiltro/Instalación de carbón activado	99.5	99.2	99

Fuente: Dioxine aus MVA, Müll und Abfall 11/91, pag 753-759

Tabla 9: Balance del flujo de PCDD/F, en relación a los Mg de residuos (Datos de entrada de residuos en microgramos I-TE / Mg)

Salida	Cantidades/Volúmenes de flujo por Mg/Residuo	Carga de PCDD/F (μg I-TE/Mg Residuo)
Escorias	300 kg	0.2 - 20
Agua de la desesconación	350 l	0.5 - 35
Cenizas de la caldera	7 kg	0.7 - 6
Electrofiltro	30 kg	35 - 830
Electrofiltro de polvos *	60 kg	85 - 215
Lavador de gases	750 l	1 - 80
Casa de bolsas	8 kg TS	15 - 250
Gas purificado	5,000 m ³	12 - 300
Σ Entrada (húmeda)		6.5 - 180

* El electrofiltro de polvos además los productos de reacción de la purificación de gases seco o bien semi-seco.

Fuente: Dioxine aus MVA, Müll und Abfall 11/91, pag. 753-760

Tabla 10: Balance de entrada/salida de clorobenceno, clorofenol y BPC para dos o tres líneas de incineración

Salida	Residuos de Clorobenceno mg/Mg			Residuos de Clorofenol mg/Mg			Residuos de PCB's mg/Mg		
	2	3	5	2	3	5	2	3	5
Instalación nr.	2	3	5	2	3	5	2	3	5
Escorias	1.7	1.0	2.9	17.9	7.0		0.8	17.2	15.3
Aguas de la des-esconación			0.2						2.2
Cenizas de calderas	0.2	0.1		0.05			0.3	0.2	
Filtro de polvos	6.0	33.9	12.1	33.0	79.0		1.8	3.2	0.9
Agua de lavado	0.01			0.01			0.1		
Casa de bolsas	0.02			0.08			0.2		
Gas purificado	15.5	6.1	2.0	20.0	7.9		0.1	0.2	0.4
Σ salida	23.6	41.1	17.2	71.1	93.9		3.3	20.8	18.8
Entrada (húmeda)	12.5			200.0			200.0		

Fuente: Dioxine aus MVA, Müll und Abfall 11/91, pag. 753-760

Procesos de reducción de emisiones de dioxinas y furanos

Existe una gran variedad de medidas técnicas para la minimización de las emisiones consistentes en una combinación de equipos y procesos diseñados para la eliminación de ciertas sustancias. La adecuada combinación de equipos y procesos garantiza el cumplimiento de los valores límite de emisiones. A continuación se hace

referencia a las tecnologías existentes y aplicadas para reducir las emisiones de dioxinas y furanos en el caso de no poder cumplir con las etapas anteriores de control de emisiones a los valores límite, indicados por la normatividad con respecto a dioxinas/furanos y mercurio.

Las tecnologías de minimización de emisiones de dioxinas y furanos conocidas y realizadas en planta se pueden clasificar en tres categorías:

- ◆ Procesos catalíticos,
- ◆ Procesos oxidativos y
- ◆ Procesos adsortivos.

En general estos son los lavadores ácidos, el adsorbedor de rocío, el proceso de entrained-bed¹, el lecho fluidizado circulante, el lavador oxidativo, el lecho móvil, lecho fijo con ceolitas sintéticas, el lecho fijo con material de soporte impregnado con selenio, lecho fijo con H₂O₂ como catalizador, y el catalizador de tipo panal.

Una parte de los procesos indicados puede ser aplicado para la remoción de todos los compuestos tóxicos (metales pesados y dioxinas/furanos), otros solamente para cierta sustancia.

Procesos:

- Los sistemas de lavado sirven para la retención de compuestos solubles como HgCl₂. Con respecto a dioxinas solamente se pueden retener parcialmente las fracciones adheridas a las partículas. Para la retención de mercurio elemental se aplican en el lavador compuestos químicamente reactivos, p. ej. H₂O₂ y NaOCl, que se dosifican al lavador o en una etapa de lavado posterior.
- El adsorbedor de rocío con una casa de bolsas posterior se aplica como un sistema universal desde los años 80 para todo tipo de contaminantes (SO₂, HCl, metales pesados y dioxinas/furanos), en especial en el caso de la incineración de residuos municipales directamente después de la caldera de recuperación del calor perdido. En el adsorbedor de rocío se aplica el medio de adsorción (Coque del horno de parrilla/ carbón activado) conjuntamente con una lechada de cal y se fomenta el contacto intensivo con los gases de combustión.
- En el caso del proceso de Flugstrom (entrained-bed reactor) se introducen coque del horno de parrilla o medios parecidos en el ducto de los gases a tratar y se retienen en una casa de bolsas posteriormente. Según la cantidad se pueden retener metales pesados y/o dioxinas/furanos. Para retener mercurio elemental, se tiene que introducir polvo de carbón activado dotado con azufre o a través de la operación adecuada del lavador con una dotación de coque del horno de parrilla generando ácido sulfúrico del contenido residual de SO₂. El

¹ Entrained bed process: es un proceso en el cual se inyecta a un flujo de gas una mezcla de coque activado/otro carbón activado y un aditivo (polvo de cal) . este polvo se retiene en un filtro de tejido. La capa que se forma es el medio activo de retención para los contaminantes.

adsorbedor Flugstrom (entrained-bed adsorber) se aplica como la última etapa antes de la chimenea.

- El lecho fluidizado circulante se diferencia del adsorbedor Flugstrom que en vez de inyectar en el ducto de gases se aplica un adsorbedor de lecho fluidizado adicional antes del filtro de polvo para aumentar el tiempo de contacto con el gas a tratar. Separadamente, también se puede aplicar el lecho fluidizado circulante como una etapa de retención universal para todo tipo de contaminante (limpieza de gases en seco).
- Como los gases pretratados de las instalaciones de incineración de residuos en general todavía contienen cantidades residuales de SO_2 , que se pueden transformar sobre los adsorbentes con base a carbón a ácido sulfúrico, se aplican estos medios de adsorción en "lechos fijos movidos" o sea lechos "movibles". Por el peligro de corrosión y compactación se debe cambiar el medio de adsorción granular continuamente. El "lecho movable" retiene muy bien metales pesados como también dioxinas y furanos y se aplica como última etapa antes de la chimenea.
- Alternativamente del carbón activado granular también se pueden usar ceolitas sintéticas hidrófobas. Como este no transforma SO_2 a ácido sulfúrico, se puede aplicar también en un lecho fijo. Se puede dotar de azufre a la ceolita y aplicar como última etapa antes de la chimenea para la retención de mercurio elemental. Alternativamente se puede usar material dotado con selenio.
- Los otros procesos nombrados se aplican únicamente para la retención o destrucción de dioxinas/furanos y se aplican como última etapa antes de la chimenea.

Con estos procesos se obtienen tasas de retención resp. tasas de transformación de 93% hasta 99%.

Aspectos de muestreo y análisis de dioxinas y furanos

Dado que los aspectos de muestreo y análisis se presentan en otra sesión, en esta presentación se indican únicamente algunos aspectos prácticos.

En Alemania existen aproximadamente 20 laboratorios que pueden realizar los análisis de dioxinas con cromatografía de gases (CG) acoplada a espectrometría de masas y/o con la cromatografía de gases de alta resolución (CGHR) acoplada a espectrometría de masas. La selección del sistema analítico depende de las concentraciones de dioxinas /furanos esperadas. Los rangos de medición son para la HR entre pg (10 a la menos doce gramos) hasta fg (10 a la menos 16 gramos), para la CG en rangos de ng (diez a la menos nueve gramos).

Con respecto al muestreo se realizan estos trabajos por empresas separadas de la parte analítica. Sin embargo se aplican las medidas de control de calidad conjuntamente al procedimiento completo de muestreo y análisis. Los laboratorios realizan el control final. Se añade un estándar marcado con C13 en los pasos de toma de muestra, extracción, clean-up y en la cuantificación, similar a los procedimientos descritos por la EPA. En general son medidas bastante extensas.

Los problemas que se presentan son:

- Para el muestreo existen 3 métodos, con dos o tres variantes. Para elegir el método respectivo aplicable al caso se requiere de mucha experiencia. Se necesita mucho tiempo para validar el método (blancos, examinación del sellado del sistema). Adicionalmente, el equipo de muestreo y el personal requerido son muy caros.
- Con respecto al laboratorio, las autoridades exigen un estándar muy alto de seguridad en el área de extracción y clean-up (cambio de aire de 50 veces por hora sin flujo laminar y el aire extraído se requiere pasar por un filtro de carbón activado.) Los costos que se pueden esperar para esto con respecto a medidas constructivas y operativas son de aprox. 50 a 100 mil Marcos alemanes. También se requieren instalaciones de protección al fuego que funcionen con inundación de CO₂.
- Por lo que se refiere a la analítica misma, el equipo de CGHRSM cuesta aprox. 350 a 500 mil Marcos alemanes. El software para la cuantificación se debe pagar aparte. El gasto de mantenimiento es extremadamente alto y requiere de un muy buen servicio por parte de la empresa productora y una muy buena y extensa capacitación del personal del laboratorio mismo. El estándar marcado con C13 es extremadamente caro. En Alemania se mueven actualmente los precios por únicamente el análisis de una muestra de rutina de 1200 a 1600 DM.

Bibliografía:

- H.-J. Fell y M. Klose: "La eliminación de mercurio y dioxinas por medio de un proceso de lecho fijo aplicando adsorbentes no inflamables", *Abfallwirtschafts Journal*, Nr.5 Mayo 1998, pag. 18- 22.
- 17. BimSchV (1990)
- TA Luft (1986)
- VDI 3460 Septiembre 1997 "Emissionsminderung – Thermische Abfallbehandlung" minimización de emisiones – tratamiento térmico de residuos (Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin)
- B. Bilitewski, G. Härdtle y K. Marek: "Abfallwirtschaft" (Gestión de residuos), 2. Auflage, Springer-Verlag, pag. 228
- Bernt Johnke y Eckhard Stelzner: "Auswertung des bundesweiten Dioxinmeßprogramms an Hausmüllverbrennungsanlagen", *Dioxine aus MVA, Müll und Abfall* 11/91, pag. 753-760
- Umweltbundesamt: *Umweltpolitik, Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag Sechster Immissionsschutzbericht der Bundesregierung, 1995.*

Normas Generales y de Restricción para la Incineración de Desechos Sólidos

Biol. Ma. Teresa Adame González

INSTITUTO

Marco Regulatorio Materia de Residuos Peligrosos



- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos
- Reglamento en materia de transporte de materiales y residuos peligrosos
- Normas Oficiales Mexicanas sobre manejo de residuos peligrosos

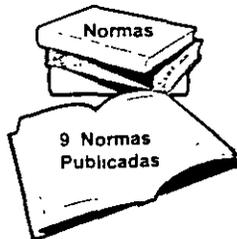
INSTITUTO

Disposiciones Legales Internacionales

- Importación y Exportación
 - Movimientos transfronterizos
 - OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development)
 - Basilea
 - ONU.
 - Etc.

INSTITUTO

NORMAS OFICIALES MEXICANAS



- 3 para residuos peligrosos
- 4 para confinamientos controlados
- 1 para residuos solidos municipales
- 1 para residuos biologico infecciosos
- 1 Proyecto de Norma para la manejo de incineradores

Incineracion

NORMAS OFICIALES MEXICANAS



- NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente
- NOM-053-ECOL-1993, que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
- NOM-054-ECOL-1993, que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos
- NOM-055-ECOL-1993, que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos

Incineracion

NORMAS OFICIALES MEXICANAS



- NOM-087-ECOL-1995, que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica.
- Proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-098-ECOL-2000 Protección ambiental- Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes

Incineracion

Tipos de residuos prioritarios

- Señalados por naturaleza o grupo químico al que pertenecen, los cuales son:
 - Organoclorados (PCB, hexaclorados, plaguicidas, disolventes)
 - Metales pesados (especialmente mercurio, cromo, cadmio y plomo)
 - Bases con pH extremo (alcalis e hidroxidos)
 - Ácidos con pH extremo (sulfurico, clorhídrico, nítrico)
 - Otros orgánicos (aromáticos, combustibles).

INCINERACION

Tratamiento

- Tratamientos biológicos
 - Fermentación
 - Lodos activados
 - Tratamientos bacterianos
- Inertización
- Incineración

INCINERACION

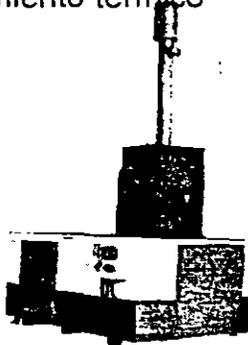
Tratamientos finales

- A) TRATAMIENTO TERMICO
 - INCINERACION
 - PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-098-ECOL-2000. Protección ambiental- Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes
- B) TRATAMIENTO QUIMICO

INCINERACION

Equipo de tratamiento termico para residuos

- El tratamiento termico es total, mediante la combustion lenta y controlada de los residuos (**tratamiento primario**) y del exclusivo tratamiento peculiar de los gases generados en la combustion (**tratamiento secundario**), en un proceso especifico que se realiza sin emision alguna de humos ni olores, con una produccion de cenizas residuales de solo el dos por ciento (2%) de los residuos organicos



IN.1004.001

Primer tratamiento

- En la cámara primaria se produce la combustion de residuos a una temperatura que oscila entre los 1000°C y 1200°C, esta combustion se inicia por los quemadores situados en la parte lateral de la camara, que se encuentra recubierta por una doble pared fabricada con ceramica altamente termoestable que permite la combustion con una deficiencia de oxigeno y que soportar en el proceso temperaturas hasta de 3000°C, es regulada por un termostato controlado por un sensor que acciona a salida de agua micronizada cuando la temperatura rebasa el nivel deseado, la primera camara esta revestida a su vez con una triple capa aislante de proteccion, garantizando maxima seguridad

IN.1004.001

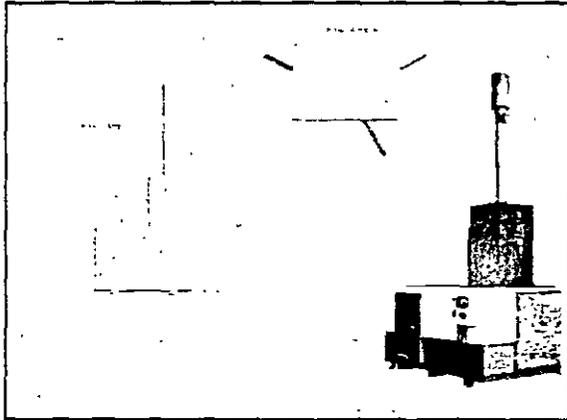
Tehuacan Puebla

Segundo tratamiento

- Los gases y particulas en suspension que resultan como residuos de la primera fase, son dirigidos a la segunda camara (post-combustion), teniendo una residencia dentro de la misma, de dos segundos, a una temperatura que varia entre los 800°C y 1000°C; esta camara se encuentra recubierta con una muy particular y exclusiva capa de vitroceramica de los equipos y que con un quemador situado en el fondo del horno es activada y emite rayos infrarrojos sumamente potentes, que al chocar energicamente contra las particulas en suspension las destruye y degrada, evitando asi, los costosos filtros convencionales

IN.1004.001

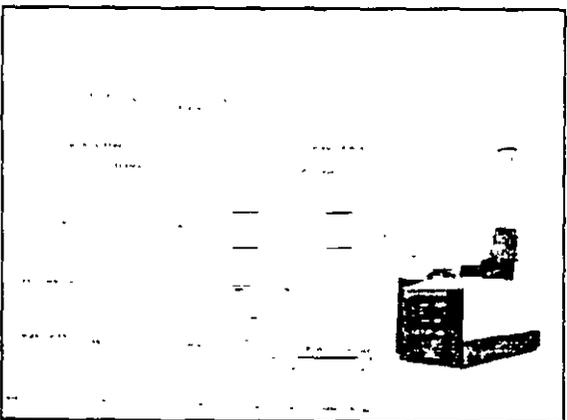
Caribe Mexicano



Potencial energético

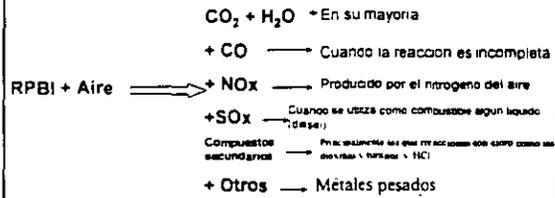
- El potencial energético que generan estos equipos es altamente aprovechable, utilizando el calor que emiten para **calentar agua**, o como **calefacción en instalaciones pequeñas** (clínicas, fábricas, etc.), mediante un sistema de recuperación del calor; y en algunos casos se puede utilizar para **generar corriente eléctrica en instalaciones medianas o grandes**.





Reacción de combustión

Dentro del incinerador de RPBI, se lleva a cabo una reacción de combustión, como sigue:



INCINERAR, 1997

Emisiones a la atmósfera de un incinerador

Como se puede apreciar y deducir de la ecuación anterior, las emisiones que se tienen son las siguientes. Hay que hacer notar que este tipo de emisiones depende en gran medida de los RPBI alimentados.

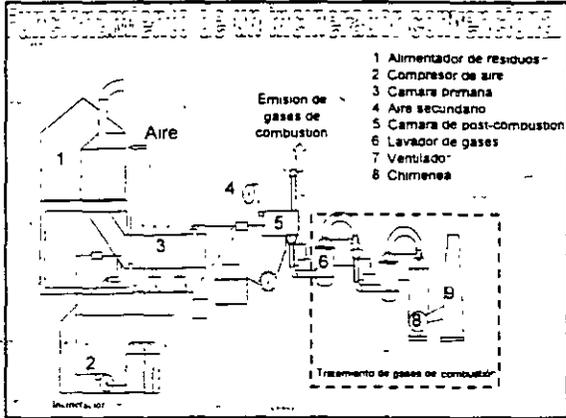
1. Partículas Suspensas Totales (PST)
2. Monóxido de carbono (CO)
3. Ácido clorhídrico (HCl)
4. Óxidos de nitrógeno (NOx)
5. Metales pesados, tales como:
 - 5.1 Plomo (Pb)
 - 5.2 Cromo (Cr)
 - 5.3 Arsénico (As)
 - 5.4 Cadmio (Cd)
 - 5.5 Mercurio (Hg)
6. Dioxinas
7. Furanos
8. Óxidos de azufre (SOx) Cuando el combustible sufre es líquido

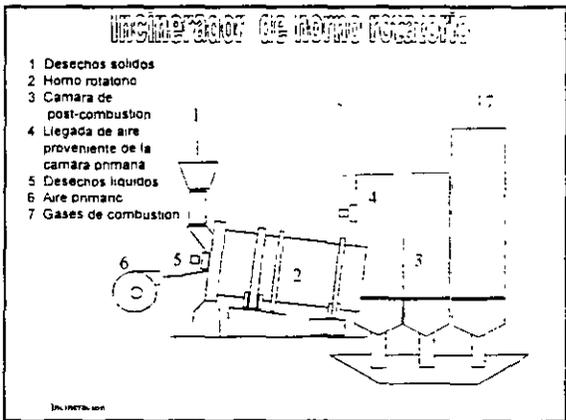
INCINERAR, 1997

Parámetros a controlar para una combustión completa



INCINERAR, 1997





Características de los residuos peligrosos

- CORROSIVIDAD
- REACTIVIDAD
- EXPLOSIVIDAD
- TOXICIDAD
- INFLAMABILIDAD
- BIOLÓGICO-INFECCIOSOS

Criterios establecidos por la OCDE para la clasificación y el manejo de residuos.

- Los residuos **incluidos en la lista verde** son aquellos cuya movilidad esta definida a través de transacciones comerciales normales y se refiere a residuos que no se consideran peligrosos
- Los residuos **incluidos en la lista ámbar** deben sujetarse a sistemas de control y de notificación, que permiten la exportación amparada en contratos y acuerdos globales y "silencios positivos" en el caso de una notificación sin respuesta
- Los residuos **incluidos en la lista roja** están sujetos a controles estrictos que implican un acuerdo y una notificación, embarque por embarque

inmexa-ent
