

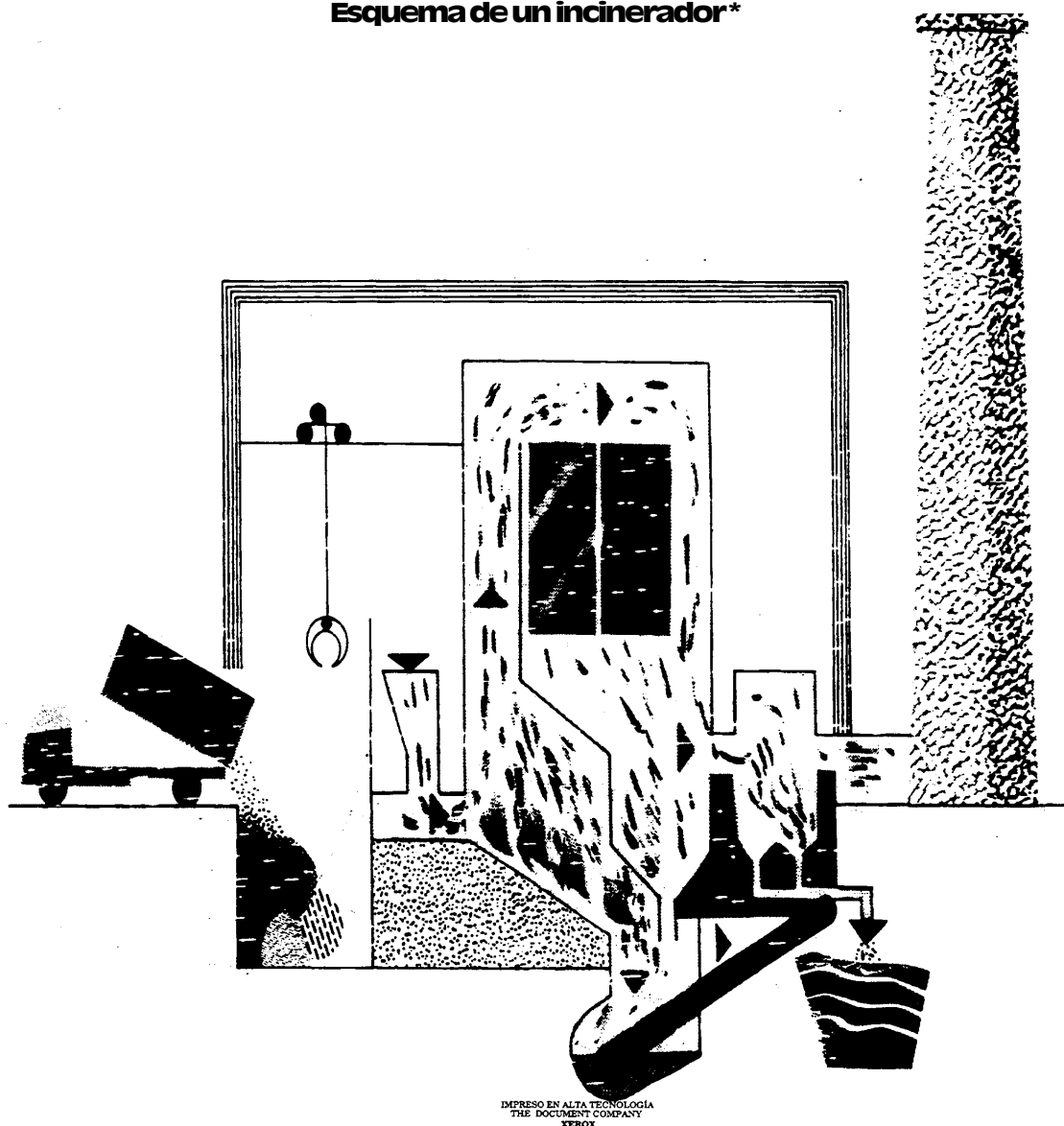
## Parte 4 Incineración

### 1 ¿Qué es la incineración?

Es una de las tecnologías térmicas existentes para el tratamiento de residuos. Incineración es la quema de materiales a alta temperatura (generalmente superior a  $900^{\circ}\text{C}$ ), mezclados con una cantidad apropiada de aire durante un tiempo predeterminado. En el caso de incineración de los residuos sólidos, los compuestos orgánicos son reducidos a sus constituyentes minerales, principalmente dióxido de carbono gaseoso, vapor de agua, y sólidos inorgánicos (cenizas).

Esta combustión se realiza en una instalación que suele llamarse planta de incineración, proyectada y construida para tal fin.

FIGURA 1  
Esquema de un incinerador\*



(\*) Diseño autorizado por la Asociación Brasileira de Ingeniería Química

### ¿Cuáles son las ventajas de la incineración de los residuos sólidos?

- **reducción drástica del volumen a ser descartado:** la incineración deja como sobras las cenizas, que generalmente son inertes. De esta forma, reduce la necesidad de espacio para el relleno sanitario;
- **reducción del impacto ambiental:** en comparación con el relleno sanitario, la incineración minimiza la preocupación a largo plazo relacionada con el monitoreo de la capa freática, ya que el residuo tóxico es destruido, y no «guardado»;
- **desintoxicación:** la incineración destruye bacterias, virus y compuestos orgánicos, como el tetracloruro de carbono, el aceite sucio, e inclusive, dioxinas. En la incineración, la dificultad de destrucción no depende de la peligrosidad del residuo, sino de su resistencia al calor. La incineración también se puede usar para descontaminar el suelo que contiene residuos tóxicos. Este, después de incinerado, es devuelto a su lugar de origen;
- **recuperación de energía:** parte de la energía consumida puede recuperarse para la generación de vapor o electricidad.

### ¿Cuáles son las desventajas de la incineración de los residuos sólidos?

- **costo elevado:** la incineración es uno de los tratamientos de residuos que presenta costos elevados tanto en la inversión inicial, como en el costo operacional. Normalmente, se debe incinerar sólo lo que no puede ser reciclado. Hoy, con las crecientes exigencias para la mitigación de los impactos ambientales causados por los rellenos sanitarios, estos están llegando a costar más de U\$S 20 por tonelada, alcanzando el rango de costo operacional de los incineradores;
- **exige mano de obra calificada:** es difícil encontrar y mantener personal bien calificado para la supervisión y operación de los incineradores;
- **problemas operacionales:** la variabilidad de la composición de los residuos puede causar problemas de manejo y de operación del incinerador, e inclusive exigir un mantenimiento más intenso;
- **límite de emisiones de componentes de la clase de las dioxinas y furanos:** no existe consenso en cuanto al límite de emisión de los incineradores.

#### CUADRO 1 Costo (rangos típicos)

INICIAL (INSTALADO) = U\$S 80.000 a 130.000 por tonelada día de capacidad

INCINERADORES MENORES

INCINERADORES MAYORES

EL COSTO VARÍA SEGÚN LA TECNOLOGÍA ESCOGIDA

COSTO POR TONELADA: U\$S 20 a U\$S 60/t RESIDUOS NO PELIGROSOS

U\$S 400 A U\$S 1.000/t RESIDUOS PELIGROSOS

FIGURA 2  
**Chimenea de un incinerador mal operado / bien operado**



A nivel mundial, la incineración se practica procurando la reducción de los volúmenes de residuos sólidos a ser dispuestos - ante los problemas con la disponibilidad de espacios, la reducción de la peligrosidad de los residuos - como es el caso de los desperdicios de hospitales, y a su vez, procurando aprovechar la posibilidad de recuperar energía.

En el Japón, el porcentaje de residuos sólidos incinerados llega hoy al 80%. La imposibilidad de disponer los residuos sólidos en rellenos sanitarios, a causa de la escasez de terrenos, llevó a este país a adoptar la incineración como alternativa de tratamiento, de forma intensiva. Actualmente dispone de centenares de incineradores. Sólo en Tokio funcionan trece usinas.

En los Estados Unidos, de los 200 millones de toneladas de residuos sólidos generados por año, 16% es incinerado.

En Brasil, el primer incinerador para residuos sólidos municipales fue instalado en la ciudad de Manaus, en 1896, veintidós años después de la implantación de la primera unidad construida en el mundo en la ciudad de Nottingham, Inglaterra, en 1874.

Esa actitud pionera brasilera no continuó con un crecimiento en la utilización de la incineración como forma de tratamiento de los residuos sólidos domiciliarios. Por lo que, hoy en Brasil, los incineradores en uso no llegan a dos docenas.

En Caracas, Venezuela, recientemente fue instalado un incinerador dedicado únicamente al tratamiento de desechos tóxicos.

En Uruguay, la única experiencia en usinas de incineración es la de Montevideo, a principios de siglo XX. Es interesante conocer que previo a su instalación la Intendencia se debatía entre una planta de clasificación y reciclaje industrial y la incineración. En el debate formaba parte una comisión asesora técnica especialmente creada para dar solución a los residuos sólidos urbanos. Finalmente, en 1915, fueron instalados tres incineradores que trataron todos los residuos sólidos de la ciudad durante unas décadas. Eran las usinas 1, 2 y 3. La 1, en el centro de la ciudad, el que por motivos de contaminación atmosférica y de crecimiento urbano se demolió, se estima alrededor de los años 50.

La 2, en el oeste, la única que aún está en uso - se le hizo una readecuación en 1995 - en la que se incineran todos los residuos hospitalarios (unas 25 t/día), excepto los radioactivos; no alcanza las temperaturas establecidas y genera unas 3.2 t/día de cenizas que se llevan al vertedero. Finalmente la 3, al noreste, aunque aún existe, está fuera de uso desde hace pocos años<sup>19,20</sup>.

## 2 Planificación de un horno incinerador

Una planificación estratégica a largo plazo es esencial para implantar un horno incinerador con éxito. Los responsables de las decisiones necesitan conocer la influencia de una variedad de temas en el proceso de planificación, y definir:

- quién asume la propiedad y las responsabilidades consiguientes, incluyendo los riesgos inherentes a la instalación;
- quién toma las decisiones legales y de ingeniería;
- la selección y coordinación del suministrador del incinerador;
- la venta de un producto (electricidad), en caso de que haya;
- la generación de capital, si fuera el caso anterior.

La planificación a largo plazo dentro de la intendencia es la clave para el éxito del proyecto y la operación eficiente del horno incinerador.

En caso de incineración con recuperación de energía, se debe conocer:

- composición de los residuos sólidos, directamente relacionada con la recuperación de la energía. La humedad y la reducción del porcentaje de plástico, por ejemplo, disminuyen la energía generada, elevando el costo por tonelada incinerada;
- la tarifa de la energía recuperada: la ganancia obtenida con la venta de la electricidad generada tiene gran influencia sobre el costo por tonelada incinerada.

En Europa existen decenas de incineradores de residuos sólidos municipales con recuperación de energía. La mayor parte de ellos tiene capacidad a partir de 200 t/día. Teniendo en cuenta que la energía eléctrica es más barata para nuestra región, considerando las condiciones de demanda y oferta de energía y otros factores de escala, parecería que la incineración de residuos municipales sería interesante económicamente para usinas con gran capacidad, posiblemente en el rango de 1.000 t/día.

### **Mercado para la energía**

Las usinas de incineración de los residuos sólidos municipales difieren de la mayoría de los servicios públicos por su característica de poder generar un producto, energía, que se puede vender, con la consiguiente ganancia. El responsable de la decisión acerca de la elección de la alternativa más conveniente, necesita, por lo tanto, estar preparado para comercializar el producto y atender satisfactoriamente a los compradores.

En la comercialización de la electricidad, es importante considerar factores como:

- Producción consistente. Los usuarios no aceptan interrupciones en el suministro. Se necesita una caldera de reserva para garantizar que el suministro sea constante.
- Precio competitivo. La instalación de combustión de residuos sólidos estará compitiendo con otros generadores en la venta de energía.

## 3 Dimensiones de la usina

Las dimensiones apropiadas de la usina resultan de la evaluación cuidadosa de una gran variedad de criterios:

### **Capacidad de la usina/suministro de residuos sólidos**

El suministro de residuos sólidos es el factor fundamental para calcular las dimensiones del horno. La capacidad instalada no sólo tomará en cuenta el poder calorífico de los

residuos sólidos, sino también el suministro constante de residuos sólidos próximo a la capacidad del proyecto, lo cual es la única garantía de una operación adecuada del horno.

### ***Programas alternativos para residuos sólidos***

Las futuras reducciones en la generación de residuos sólidos, programas de reciclaje y compostaje están directamente ligados al proyecto de la usina. Estos programas generalmente requieren menos tiempo y recursos para su implementación, y alteran la capacidad y el poder calorífico de los residuos sólidos que se debe incinerar. Después de la implementación de los programas de reducción de generación, reciclaje y compostaje, el volumen de residuos sólidos que se debe incinerar será menor, y permitirá la construcción de un horno menor, y de costo consecuentemente menor.

### ***Características de los residuos sólidos a ser incinerados***

Una buena incineración depende de la exactitud en el conocimiento de las características de los residuos sólidos. Por eso, la mayoría de las intendencias que planean tener un horno incinerador de residuos sólidos deben hacer su propia caracterización, con miras a obtener un cuadro preciso de la cantidad y composición de los residuos sólidos locales. Los recursos invertidos en esta fase pueden evitar errores muy costosos durante la fases sucesivas del proyecto.

Desde el punto de vista técnico, estos datos serán usados para verificar el poder calorífico de los residuos. Las informaciones acerca de la cantidad de materiales que se deben reciclar también ayudarán a determinar el poder calorífico. El poder calorífico de una masa de residuos sólidos puede ser mayor o menor de lo previsto y, en ambos casos la operativa de la planta puede ser afectada.

### ***Planificación de las interrupciones de la planta***

Es también muy importante tomar en consideración los tiempos de parada de la planta. La mayoría de ellas son proyectadas para operar continuamente (24 horas por día), pero habrá tanto paradas programadas (para mantenimiento), como imprevistas (fallas del equipo). Es necesario tener espacio para almacenar los residuos sólidos que continúen llegando durante la parada, y además la unidad debe tener la capacidad para absorber el exceso acumulado y bajar la reserva a niveles normales. Si estas capacidades no estuviesen incluidas en el sistema, será necesario enviar residuos sólidos al relleno sanitario o a una instalación alterna.

### ***Duración del proyecto***

El tiempo necesario para planificar, desarrollar y construir un incinerador es variable. Se considera que 5-8 años son el tiempo mínimo necesario para llevar un horno incinerador desde los estudios iniciales de planificación hasta su puesta en marcha.

### ***Ubicación del horno incinerador***

La elección del lugar para el incinerador será una de las decisiones más difíciles. Una variedad de barreras sociales y técnicas deberá ser negociada, para lograr una ubicación bien resuelta:

- efecto sobre los habitantes. Los vecinos estarán preocupados por los impactos sobre la salud asociados con el incinerador, la disminución del valor de las propiedades y el aumento del tráfico en la zona;
- impacto ambiental. El incinerador tiene un potencial de crear una gama de reales preocupaciones ambientales;
- planes de desarrollo. Es necesario evaluar los planes para el futuro uso del suelo donde esté localizado el incinerador;
- proximidad de la fuente de generación de los residuos sólidos. Es importante tomar en cuenta los costos de transporte dentro de un sistema de gestión integral de los residuos sólidos;

- proximidad de los mercados para la energía generada, cuando sea el caso. La energía generada deberá ser entregada a los compradores. Es preciso considerar la ubicación de las líneas de distribución eléctrica;
- aspectos logísticos. El ordenamiento territorial y las rutas de acceso también se deben tomar en cuenta;
- disposición de las cenizas generadas. Es necesario el acceso a un relleno sanitario adecuado;
- la tecnología de incineración que se va a usar.

### Caracterización del residuo

**Para incinerar un residuo, es indispensable caracterizarlo correctamente. Incinerar un residuo desconocido o en condiciones operativas erradas puede ocasionar desastres para el medio ambiente. Los siguientes son puntos esenciales en la caracterización de un residuo:**

- **PCI (poder calorífico inferior):** indica cuánto calor se libera durante la quema del residuo. Residuos con alto PCI consumen menos combustible. El valor medio para los residuos sólidos domiciliarios es de 1.300 kcal/kg. (5.44 MJ/kg). Un PCI muy variable puede dificultar el control de la temperatura del incinerador y causar:
  - combustión incompleta, con emisión de material tóxico a través de la chimenea;
  - fusión y acumulación de cenizas debido a temperaturas excesivas;
  - consumo excesivo de combustible;
  - generación de monóxido de carbono (CO) debido a insuficiencia de aire para la combustión.
- **Cenizas:** es lo que sobra luego de la incineración, y están constituidas por materia mineral, carbono no quemado y la mayor parte de los metales. El porcentaje de cenizas permite estimar el espacio necesario para el relleno sanitario. Las cenizas son: la escoria (captada en la base), y los volátiles, captados en los filtros de gases. Contienen metales pesados y dioxinas; por lo tanto, se consideran sustancias tóxicas<sup>17</sup>.
- **Humedad:** indica el porcentaje de agua contenida en el residuo. Un índice alto de humedad perjudica la recuperación de energía.
- **Composición de elementos químicos:**
  - **Carbono, hidrógeno y oxígeno:** elementos químicos principales de los residuos orgánicos que permiten calcular las condiciones de la combustión;
  - **Azufre, cloro orgánico y nitrógeno:** estos elementos forman gases ácidos corrosivos que pueden afectar la durabilidad del equipo. Los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y el ácido clorhídrico (HCl) se eliminan por absorción en solución alcalina. Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) deben ser minimizados por medio del control de las condiciones de combustión, con cámaras dobles y quemadores proyectados para tal fin;
  - **Metales:** mercurio, cadmio, plomo y otros, pueden darle una gran toxicidad al residuo o a las corrientes gaseosa y líquida que salen de un incinerador. Precisan ser identificados para la definición del proceso de su remoción de la corriente gaseosa o líquida. Son factores primordiales en la clasificación de la cenizas de incineración;
- **Características especiales:** existen propiedades de los residuos que deben ser tomadas en cuenta en el proyecto del incinerador y en los cuidados operacionales, a efectos de garantizar la integridad física de los operadores y del equipo. Son ellas: la toxicidad (por ejemplo: PCBs como ascarel), corrosividad (ácidos), olor (gas sulfhídrico), liberación de humo (ácido clorhídrico), reactividad (pentacloruro de fósforo).

## 4 Tecnologías térmicas

Entre los tipos y tecnologías de incineradores existentes, se pueden mencionar:

**Aire controlado:** incinerador en el cual el flujo del aire de combustión es reducido, con el propósito de minimizar la turbulencia y la generación de partículas volátiles.

**Horno rotativo:** incinerador con tambor rotativo, para que el residuo gire y quede expuesto al aire de combustión.

**Cámaras múltiples:** incinerador con compartimientos en serie para acomodar diferentes fases de la incineración y facilitar la separación de partículas.

**Parrillas móviles:** incinerador típico para los residuos sólidos municipales, provisto de parrillas, cuyo movimiento permite la distribución gradual del residuo a lo largo del incinerador.

**Inyección de líquido:** incinerador con tubos atomizadores para la incineración del residuo líquido que se encuentra en suspensión.

**Lecho fluidizado:** lecho cilíndrico vertical con arena mantenida en alta turbulencia por flujo de aire recirculante, especialmente indicado para residuos en forma de lodo.

**Hornos de cemento:** grandes hornos utilizados para la producción de cemento, y que debido a la alta temperatura de operación y a la gran masa de materia prima procesada, permiten la incineración de varios tipos de residuos.

**Quemadores de gas:** dispositivos para la quema de gases combustibles residuales, provenientes de procesos de fabricación.

**Incineración catalítica:** proceso de destrucción de residuos gaseosos, en que el catalizador permite el uso de temperaturas menores.

**Régimen de operación:** se puede incinerar residuos en régimen de tandas, o sea, suministrando una carga a la vez y esperando que se complete su incineración, para luego suministrar otra carga; o en régimen **continuo**, en el cual la alimentación de residuos no se detiene durante la incineración. El régimen de tandas es típico de incineradores pequeños y, generalmente, presenta los inconvenientes de la disminución de la temperatura y el aumento de turbulencia en el momento de la alimentación de cada carga, causando emisiones indeseables.

Cabe mencionar aquí otras tecnologías térmicas:

**Pirólisis:** semejante a la incineración, pero realizada con admisión estricta de aire de combustión; así provoca la descomposición térmica de los residuos sólidos a temperaturas bajas.

**Esterilización a vapor:** calentamiento en un recipiente sellado presurizado con vapor.

**Plasma:** calentamiento del residuo a altísimas temperaturas por medio de la aplicación de corriente eléctrica.

**Inactivación térmica:** calentamiento en seco, sin adición de vapor, agua ni llama.

**Sal fundida:** oxidación a alta temperatura por contacto con una sal fundida. Ejemplo: cloruro de sodio.

## 5 Etapas en la incineración de los residuos sólidos

La incineración puede subdividirse en tres fases principales:

- pre-tratamiento / alimentación;
- incineración;
- control de contaminación.

### *Pre-tratamiento / alimentación*

Los residuos sólidos municipales pueden ser manipulados a granel. En primer lugar son colocados en fosos de almacenamiento intermedios por los camiones recolectores. Luego, se transfieren para la incineración por medio de un cucharón de cuatro gajos que se desplaza sobre puentes rodantes, como muestra la Figura 3.

### ***Incineración***

Para cumplir con los patrones de control de emisiones atmosféricas, la incineración debe constar de dos fases: combustión primaria y combustión secundaria.

#### **Combustión primaria**

En esta fase, que dura de 30 a 120 minutos a una temperatura de 500 a 800°C, ocurren el secado, el calentamiento, la liberación de sustancias volátiles y la transformación del residuo remanente en cenizas. Allí se genera el material particulado, que es básicamente la humareda oscura producida en una quema no controlada. Las partículas menores son las más perjudiciales al ser humano.

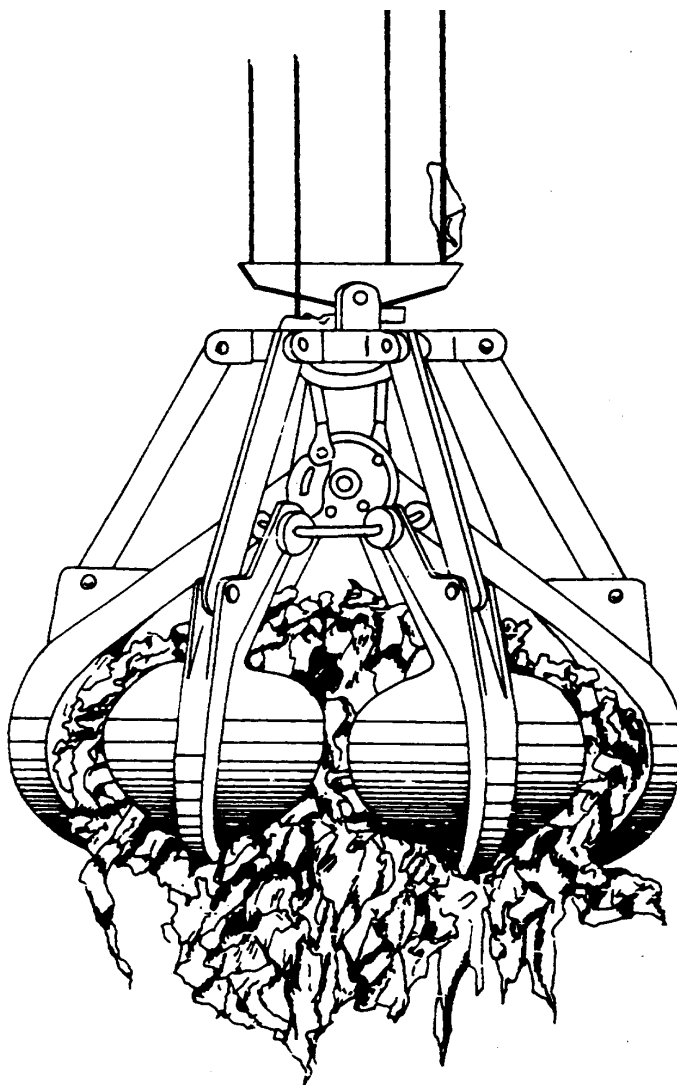
Para esta fase es importante suministrar aire de combustión en cantidad suficiente y de manera homogénea, exponiendo totalmente el residuo al calor.

Al final, la masa de cenizas ya no se reduce más, quedando: carbono no quemado, compuestos minerales de alto punto de vaporización y la mayoría de los metales.

***Los metales son apenas redistribuidos al pasar por el incinerador:***

- ***buena parte es evaporada o arrastrada por la corriente gaseosa y necesita ser recolectada en el sistema de remoción del material particulado;***
- ***otra parte permanece en las cenizas y puede ser recuperada para reciclaje.***

FIGURA 3  
**Alimentación por cucharón de cuatro gajos**





### Combustión secundaria

Los gases, vapores y material particulado, liberados en la combustión primaria, son soplados o succionados hacia la cámara de combustión secundaria o post-combustión, hacia donde permanecen alrededor de dos segundos expuestos a 1.000°C o más. En estas condiciones ocurre la destrucción de las sustancias volátiles y parte de las partículas.

Los principales factores que influyen en la destrucción de los residuos en esta fase son:

**Temperatura:** en la incineración, el objetivo es suministrar energía suficiente para que ocurra la ruptura de los enlaces entre los átomos del residuo, y luego, la recombinación que permite formar principalmente CO<sub>2</sub> y agua, sustancias bastante estables. La necesidad de mantener la temperatura correcta de incineración exige un control automático de la temperatura en las dos cámaras, generalmente con alarma para la temperatura baja y el bloqueo automático del suministro de residuos.

**Tiempo:** la absorción de la energía suministrada al residuo por la quema del combustible es rápida, pero no instantánea. El tiempo de 0,8 a 2 segundos, exigido como tiempo de residencia de los gases, es necesario para que ocurran las reacciones químicas de destrucción de los compuestos tóxicos.

Las variaciones en la cantidad de residuos alimentados o en la presión en el interior del incinerador, pueden provocar la reducción del tiempo de permanencia, perjudicando la incineración.

**Turbulencia:** es necesario que todo el material, al pasar por la cámara de combustión, permanezca expuesto a la temperatura de incineración durante la misma cantidad de tiempo. Ninguna porción deberá pasar «más rápido», ya que el tiempo de residencia debe ser mantenido. Por lo que, la cámara secundaria se dimensiona con el objetivo de que permita el paso turbulento de los gases, garantizando una mezcla adecuada.

**Exceso de aire:** la combustión completa de un residuo exige la presencia de oxígeno (O<sub>2</sub>) en cantidad adecuada. Al saber la composición de este residuo, se puede calcular la cantidad teórica de O<sub>2</sub> que se debe suministrar. En la práctica, sin embargo, es necesario proveer un exceso de aire, porque la mezcla residuo-O<sub>2</sub> no es perfecta.

Normalmente, el exceso de aire y la concentración de CO (monóxido de carbono) son medidos continuamente en la chimenea de un incinerador. Si la cantidad de aire suministrada es suficiente, la concentración de CO en la chimenea es cero, e indica que todos los compuestos orgánicos están siendo adecuadamente destruidos. Cuando el exceso de aire cae debajo de 1 a 1,5%, la combustión pasa a ser incompleta, lo cual se delata por la presencia de CO en la chimenea.

Un incinerador para residuos peligrosos, según la norma técnica brasilera ABNT NBR-1265 (ver Anexo B), debe presentar eficiencia de destrucción de 99,99% para determinado compuesto orgánico incinerado. Si este compuesto fuera un bifenilo policlorado (PCB) la eficiencia deberá ser de 99,999%. Pueden quedar, entonces, 0,01 o 0,001% de residuo tóxico que es diluido en los gases que salen por la chimenea, o mezclado en las cenizas, debiendo ser dispuestos en relleno.

En el Cuadro 2 se presentan algunos ejemplos de equipos o procesos, según la etapa de la incineración.

CUADRO 2 Etapas de la incineración				
PRE TRATAMIENTO	ALIMENTACIÓN	INCINERACIÓN	ACONDICIONAMIENTO DE LOS GASES	TRATAMIENTO DE LOS GASES
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Molienda</li> <li>•Secado</li> <li>•Compostaje</li> <li>•Embolsado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Manual</li> <li>•Correa de rodillos</li> <li>•Correorodante</li> <li>•Puente rodante con cuatro gajos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cámaras múltiples</li> <li>•Aire controlado</li> <li>•Horno rotativo</li> <li>•Parrillas móviles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Enfriamiento con agua</li> <li>•Mezcla con agua</li> <li>•Intercambiador de calor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Precipitador electrostático</li> <li>•Filtros de manga</li> <li>•Lavadores</li> </ul>

### **Control de contaminación**

El control de las emisiones se puede hacer a través de:

#### **Control de combustión**

El proyecto, construcción, operación y mantenimiento adecuados (buenas prácticas de combustión) son un aspecto fundamental en el control de las emisiones. Condiciones apropiadas de combustión limitan especialmente la formación de dioxinas y furanos. El monitoreo y el control continuos, tanto computarizados, como manuales, son sumamente importantes como «buenas prácticas de combustión». El entrenamiento de los operadores es considerado básico para prevenir la contaminación.

Las dioxinas y furanos también se forman después de la salida de la cámara de combustión. El enfriamiento brusco de los gases de combustión es el método de control que limita con éxito esta formación secundaria.

#### **Dioxinas**

Las dioxinas y furanos constituyen una clase de sustancias organocloradas entre las que hay algunos compuestos extremadamente tóxicos. Pueden estar presentes en el residuo. Pueden también, formarse en ciertas condiciones durante el enfriamiento de los gases incinerados, en el rango de los 300°C. Pueden, además, formarse en irregularidades operacionales que perjudican la incineración.

Aunque no existan dioxinas en un residuo, su formación puede ocurrir durante el enfriamiento de los gases de evacuación del incinerador. Existen evidencias de la presencia de dioxinas en concentraciones superiores a 30 ng/Nm<sup>3</sup>. Una solución posible para evitar la formación de dioxinas que ocurre luego de la incineración, es enfriar bruscamente los gases de salida. Con todo, esta técnica puede ser conflictiva con la estrategia de recuperación de energía. En el caso que este enfriamiento brusco no sea posible, un sistema de tratamiento de gases adecuado quitará las dioxinas junto con el material particulado, terminando en el relleno.

La agencia ambiental norteamericana - Environmental Protection Agency - estableció el límite de 30 ng/Nm<sup>3</sup> para el total de dioxinas y furanos emitidos por los incineradores de residuos sólidos municipales con capacidad igual o mayor que 250 t/día. En Alemania, el límite para la emisión de estos compuestos en incineradores de residuos peligrosos es 0,1 ng/Nm<sup>3</sup> TEQ (unidad de equivalencia de toxicidad, que tiene como referencia la 2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-para-dioxina).

Realizar los análisis de detección de dioxinas y furanos implica contar con equipos de alta tecnología y personal capacitado. Hasta 1996, Brasil no contaba con instituciones públicas que pudieran realizar esos análisis en niveles de concentración tan bajos.

#### **Control de material particulado**

Filtros de tejido, llamados filtros manga, precipitadores electrostáticos y lavadores Venturi son los dispositivos para controlar la emisión de partículas (Cuadro 3).

Los filtros manga son diseñados con largas bolsas hechas con tejido resistente al calor que capturan partículas finas. El polvo y las partículas son recolectados y dispuestos.

Los precipitadores electrostáticos tratan las emisiones con la aplicación de un voltaje en las partículas que entran, cargándolas negativamente. Las partículas, entonces, son quitadas en placas cargadas positivamente. Usan campos electrostáticos múltiples para recolectar el máximo de material particulado.

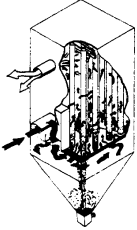
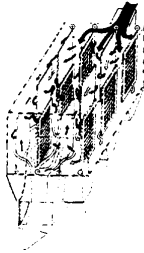

Los lavadores Venturi utilizan grandes volúmenes de agua en forma de gotitas que impactan la corriente gaseosa de manera de capturar las partículas, que en este caso son enviadas a una estación de tratamiento de efluentes líquidos.

#### **Control del gas ácido**

Las unidades de control de gas ácido más comunes son las llamadas scrubbers. Scrubbers de cal seguidos por filtros manga son considerados la mejor tecnología de control de gas

ácido. Un lodo de cal que reacciona con los gases ácidos es atomizado en el scrubber. El agua del lodo evapora enfriando el gas. El particulado y los productos de la reacción anterior son retenidos por un filtro manga. Este tipo de sistema es usado para controlar las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ácido clorhídrico (HCl), partículas, metales y dioxinas y furanos.

Otros sistema de control de gas ácido es el de inyección de absorbente seco (IAS) seguido por enfriamiento del gas y precipitador electrostático. Existen dos diferentes métodos de IAS. Uno involucra la inyección de álcali seco como cal hidratada en el gas de combustión después de la cámara de combustión. El otro método inyecta el absorbente directamente en la cámara de combustión.

CUADRO 3 Retención del material particulado - Ventajas y desventajas		
FILTRO MANGA ELECTROSTATICO	PRECIPITADOR	LAVADOR VENTURI
		
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja pérdida de carga</li> <li>• Recolección de partículas resistivas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta eficiencia partículas menores</li> <li>• Bajo costo de operación</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo inicial</li> <li>• No es flexible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo inicial</li> <li>• Operación simple</li> <li>• Puede recolectar gases</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exige enfriamiento cerca de 250 °C</li> <li>• No puede ser usado en corrientes húmedas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta pérdida de carga</li> <li>• Genera efluente líquido</li> <li>• Alto costo operacional</li> <li>• Poco eficiente para partículas menores que 0,5µm</li> </ul>

Los óxidos de nitrógeno no son eliminados por este proceso. Se debe minimizar su generación mediante el control de las condiciones de incineración, con quemadores adecuados en la segunda cámara.

Además de estos métodos citados, la separación de materiales antes de la combustión también puede reducir las emisiones, en especial las emisiones de metales. Los materiales que pueden contribuir con emisiones perjudiciales son:

- piezas soldadas con plomo, como recipientes de hojalata;
- pilas domésticas o de uso médico, que contienen metales pesados, como mercurio y cadmio;
- baterías de plomo-ácido (para vehículos), que son una de las principales fuentes de plomo en los residuos sólidos municipales;
- ciertos plásticos, como PVC, que pueden ser precursores de la formación de dioxinas;
- residuos de jardines, que pueden perjudicar la combustión debido a su humedad variable.

Esta lista contiene muchos materiales reciclables o compostables, que refuerzan la idea de que los programas de reciclaje y de compostaje pueden tener un impacto positivo en la operación de las instalaciones de combustión de residuos sólidos.

## 6 Gestión de la ceniza de incineración

La ceniza residual es un producto de la incineración de los residuos sólidos. La porción inorgánica no combustible de los residuos sólidos (como latas, frascos, polvo, etc.) y la materia orgánica no combustible (hollín) son los constituyentes de la ceniza.

Durante la incineración se generan dos tipos de ceniza: la ceniza de fondo y la ceniza suspendida en el gas de combustión. La ceniza de fondo está compuesta por el material no combustible que pasa por la cámara de combustión. Ella es usualmente recolectada por un dispositivo transportador y enfriada con agua. Esta ceniza constituye de 75 a 90% de toda la ceniza generada, según la tecnología que se emplee. La ceniza suspendida en el gas de combustión es un material más ligero recolectado por el equipo de control de contaminación.

Una preocupación especial, en cuanto a la ceniza que resulta de la incineración de los residuos sólidos municipales, es la presencia de metales pesados, especialmente de plomo y cadmio, que proceden de elementos como baterías de plomo-ácido, equipos electrónicos y algunos plásticos. Debido a los efectos potencialmente perjudiciales del desecho de ceniza, es necesario evaluarla en los estadios iniciales del proyecto. La lixiviación en los rellenos es la preocupación principal, ya que los metales solubles pueden contaminar el nivel freático. Las dioxinas asociadas con la ceniza suspendida en el gas de combustión, se pueden controlar bastante a través de buenas prácticas de combustión. Sin embargo, en caso de que estuviesen presentes, no son móviles en un relleno sanitario. Las emisiones de polvo se deben también controlar por medio de un manejo adecuado. Más allá del manejo y la disposición adecuados, existe una justa preocupación con respecto al riesgo potencial de contaminación.

### *Gestión adecuada de la ceniza*

La gestión adecuada de la ceniza implica el manejo apropiado desde su generación en el proceso de combustión, hasta su disposición final. Debido a los efectos potencialmente perjudiciales del contacto o aspiración de la ceniza de combustión de los residuos sólidos municipales, la seguridad de los trabajadores debe estar garantizada durante la carga de los vehículos de transporte de ceniza dentro de la unidad de incineración. En el transporte hacia otra localidad, se deben usar vehículos con carrocería cerrada y el proceso de descarga debe garantizar la minimización del levantamiento y escape de polvo y proteger a los trabajadores.

La ceniza de incineración de los residuos sólidos municipales debe ser adecuadamente analizada, para comprobar sus condiciones con respecto a los estándares internacionales aceptados, o a la legislación en caso que compete.

La descarga de ceniza no peligrosa puede hacerse en un relleno municipal para residuos sólidos. Debido a la naturaleza potencialmente peligrosa de la ceniza, el relleno utilizado debe estar equipado con sistemas de impermeabilización y recolección de percolado, además del monitoreo del agua del nivel freático. Este tipo de relleno no sólo es más seguro para el medio ambiente, sino que también reduce los riesgos asociados a futuras remediaciones.

## 7 Monitoreo y control automático

Dos tendencias recientes, que han tenido un gran impacto en la operación de los hornos incineradores, son las tecnologías de monitoreo y control automático. Casi todos los aspectos del proceso de combustión en la actualidad se pueden monitorear continuamente, desde la temperatura de la cámara de combustión hasta la composición del gas que sale de la chimenea. Existen también dispositivos de control operados por computadora, que pueden activarse al instante por alteraciones en la operación, e introducir la correspondiente acción correctiva.

Todos esos instrumentos han logrado un aumento de la seguridad y la reducción del riesgo ambiental de la instalación de hornos incineradores.

## 8 Costos de instalación de una usina de incineración

Los factores de costo varían considerablemente de una instalación a otra, y por ello, las estimaciones de costo específicas son difíciles de determinar. Las variables incluyen:

- tamaño (toneladas por día);
- tecnología;
- ubicación (costos de mano de obra y de construcción pueden variar considerablemente);
- tipo de financiamiento;
- tecnología de control de contaminación;
- costo de la disposición de la ceniza.

### *Costos de capital*

Los incineradores modulares (menos de 400 toneladas por día) tienen un costo de capital del orden de US\$100.000 a 130.000 por tonelada de capacidad (economías de escala se reflejan en el valor menor). Instalaciones mayores podrán costar entre US\$ 80.000 a 90.000 por tonelada de capacidad. Estos datos están basados en medias internacionales. Los costos reales pueden cambiar considerablemente según las condiciones específicas de cada localidad.

### *Costos operacionales*

Los costos de operación y mantenimiento también varían sensiblemente en función del tamaño, la localidad y la tecnología usada. La mano de obra es uno de los mayores componentes del costo operacional, y depende de la economía local. Los costos totales de operación y mantenimiento para una unidad de 2 mil toneladas diarias se estiman en US\$ 20 por tonelada anual. Esos costos aumentan progresivamente en la medida en que el tamaño de la planta disminuye.

## 9 Tipos de instalación para la incineración de los residuos sólidos municipales

### *Instalaciones para la quema masiva*

Los sistemas de quema masiva (o sea, sin pre-tratamiento de los residuos) no utilizan ningún procesamiento previo, más allá de la remoción de partes demasiado grandes. Esos sistemas generalmente tienen dos o tres unidades de combustión, que pueden tener una capacidad de 50 a 1.000 toneladas por día. La capacidad de las plantas, por tanto, va de 100 a 3 mil toneladas por día. Esas instalaciones son construidas en el sitio, y todos los sistemas nuevos poseen cámaras de combustión con paredes de agua para la recuperación de la energía.

### *Instalaciones modulares*

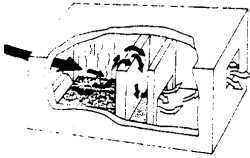
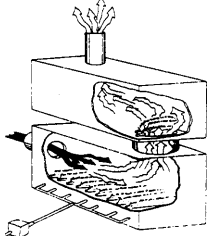
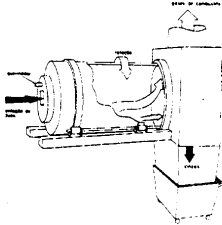
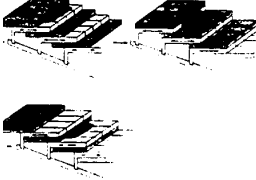
Las instalaciones modulares son pequeñas unidades de quema masiva con capacidad de 5 a 120 toneladas por día, poseyendo la planta en general de una a cuatro unidades, y su capacidad resultante es de 15 a 400 toneladas diarias. En general, esas unidades son construidas en una fábrica, y posteriormente trasladadas al sitio de instalación.

Las tecnologías de incineración por medio de un horno rotativo y aire controlado, son típicamente modulares. La tecnología de aire controlado se describe en el punto 12, debido a su importancia en el tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios.

La gama de diseños diferentes existentes en sistemas de incineración, es grande. Ante esta variedad, se debe resaltar que un incinerador sólo es adecuado cuando se hayan probado y aprobado sus niveles de emisión de contaminantes para el aire, el agua y las cenizas. Otros factores, como la inversión inicial, el costo de operación y la generación de energía son importantes, pero se deben considerar complementarios. Más todavía: como los patrones de emisión, en la actualidad, tienden a ser más rigurosos, lo que vale para hoy, podrá considerarse completamente obsoleto para mañana.

El Cuadro 4 compara cuatro tipos de incinerador.

CUADRO 4  
Tipos de incinerador

	CÁMARAS MÚLTIPLES	AIRE CONTROLADO	HORNO ROTATIVO	PARRILLAS MÓVILES
				
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simples de operar</li> <li>• Viable para pequeños generadores</li> <li>• Eficaz para residuos variados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja emisión de material particulado para ciertos residuos</li> <li>• Requiere poco espacio</li> <li>• Bajo costo inicial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy versátil</li> <li>• Operación simple</li> <li>• Fácil ajuste del tiempo de residencia</li> <li>• Buena reducción de masa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite buena recuperación de energía</li> <li>• Bajo costo inicial</li> <li>• Puede generar poco material particulado</li> </ul>
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mano de obra intensa</li> <li>• No procesa líquidos y lodos</li> <li>• Generalmente no alcanza temperatura adecuada para destruir residuos peligrosos</li> <li>• Alto desgaste refractario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede generar exceso de cenizas</li> <li>• Sensible a variaciones en el residuo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo inicial</li> <li>• Genera más material particulado</li> <li>• Elevado exceso de aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inadecuado para residuos variados coneniendo:               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Plásticos</li> <li>-Pedazos grandes</li> </ul> </li> </ul>

En la incineración de los residuos sólidos municipales, las tecnologías más utilizadas son:

**Horno rotativo:** para la generación de hasta 150 t/día de residuos variados, el horno rotativo puede ser una opción. Es considerada la tecnología más versátil para la incineración, por permitir la alimentación de sólidos en formas y tamaños variados, además de residuos pastosos y láminas. El horno rotativo es un equipo simple y de fácil operación, pero genera mayor cantidad de partículas.

**Parrillas móviles:** los grandes incineradores (de más de 200 t/día) generalmente utilizan cámaras con parrillas móviles perforadas, sobre las cuales el residuo es alimentado continuamente o casi, y desplazado lentamente desde la entrada a la salida. Durante este trayecto ocurren: secado, calentamiento y desprendimiento de materias volátiles, hasta que sólo queden las cenizas. Debajo de estas parrillas es inyectado aire de combustión. El aire entra en contacto con los residuos luego de pasar por las perforaciones, propiciando así una combustión homogénea y, generalmente, autosustentada después del inicio. La zona más caliente queda sobre las parrillas. Los gases y vapores generados son destruidos hacia los 900 - 1.000°C en una región equivalente a la cámara secundaria. El movimiento y la forma de las parrillas varían según el fabricante, pero los objetivos principales son los mismos:

- voltear suavemente el residuo, de modo que toda su superficie quede expuesta al aire de combustión;
- proporcionar aire en cantidad adecuada y distribuida lo más homogéneamente posible;
- minimizar el bloqueo del paso del aire por parte de material aprisionado o en fusión;
- minimizar y simplificar el mantenimiento.

## 10 Operación y mantenimiento de incineradores

### *Operación*

Tanto por la responsabilidad de proteger el medio ambiente, como por el alto costo del equipo, operar un incinerador correctamente es tan importante como escoger e instalar una unidad adecuada.

La forma de operación de un incinerador es definida en buena parte por el fabricante, y varía caso a caso. Con todo, se considera que algunos puntos fundamentales son válidos para prácticamente cualquier incinerador. Por ejemplo:

- **temperatura:** probablemente es la variable más importante y, en general, se mantiene en el nivel deseado por medio de controladores automáticos. La operación con temperatura por debajo del valor establecido, acarrea la emisión de sustancias tóxicas hacia la atmósfera. En cambio, al operar por encima de lo establecido, se corre el riesgo de dañar seriamente el revestimiento de ladrillos refractarios del incinerador;
- **oxígeno:** la indicación del nivel de oxígeno en la chimenea es esencial para evaluar si la oxidación de compuestos tóxicos se está realizando o no;
- **otros monitores,** como el de monóxido de carbono (CO), deben exigirse toda vez que la presencia de sustancias tóxicas en la chimenea, por encima de ciertos límites, indique el riesgo que dichas sustancias estén pasando por el incinerador sin ser destruidas. En funcionamiento normal, con una inyección de aire adecuada, todo el CO se oxida y produce CO<sub>2</sub>.

### *Mantenimiento*

El punto central con respecto al mantenimiento de un incinerador es su revestimiento refractario. Los factores más importantes en el cuidado de ese revestimiento son:

- **temperatura:** operar por encima de la temperatura especificada por el fabricante como límite máximo puede dañar el refractario. Normalmente es controlada automáticamente;
- **operación intermitente:** el calentamiento y el enfriamiento necesitan seguir una velocidad especificada por el fabricante. Aún dentro de estas condiciones, cada parada y arranque representan desgaste y riesgo para el refractario. Por lo tanto, la operación continua (24 horas por día y 7 días por semana) es la mejor opción para extender la vida del revestimiento refractario;
- **evitar** choques mecánicos causados por sólidos duros como, por ejemplo, piezas de metal. Además, evitar el suministro en grandes cantidades de sustancias como sodio (que destruyen gradualmente el revestimiento), es otro punto importante que se debe tener en cuenta.

### *Documentación*

En la planta se deben tener por lo menos cuatro manuales, periódicamente actualizados y aprobados por los encargados. Estos manuales se pueden dividir así:

**Proyecto:** todas las especificaciones de construcción civil, eléctrica, mecánica, incluyendo un diagrama de procesos e instrumentación, hojas con datos de bombas, válvulas, componentes electrónicos, etc. Estas especificaciones son fundamentales en la elaboración del plano de reposición de piezas por rotura.

**Operación:** todos los procedimientos operacionales deben estar registrados en forma clara y accesible a los operadores. Este manual debe contener todas las condiciones, tales como diferentes cargas de residuos sólidos, secuencia de parada y arranque, velocidad de enfriamiento y calentamiento, frecuencia y valores aceptables de lectura para las distintas variables del proceso.

**Mantenimiento:** debe contener detalle de mantenimiento preventivo, lista de piezas de repuesto, procedimientos de calibración de sistemas de control automático, valores establecidos para todas las variables, plano de interrelaciones para todas las condiciones irregulares de operación, valores de prealarma, alarma e interrupción de operación, además del registro de eventos principales, como mantenimiento correctivo, alteraciones de valores establecidos para la interrelación, etc.

**Resolución de problemas:** cada arranque de una planta que opera en régimen continuo, presenta problemas operacionales en mayor cantidad que durante la operación normal. Es importante tener registrados en un manual estos problemas, sus causas probables y sus soluciones.

Son problemas típicos:

- accionamientos hidráulicos y eléctricos inoperantes;
- ausencia o inestabilidad de la llama en los quemadores;
- corrosión de los revestimientos refractarios.

## 11 La incineración y la legislación

Como ya se dijo en otras partes, en Uruguay, a nivel nacional rige la Ley 16.466 del 19 de enero de 1994 de Evaluación de Impacto Ambiental y su reglamentación el Decreto 435/994. Dentro de la lista de actividades comprendidas por la ley, relativo al tema residuos sólidos, están explicitados las plantas de tratamiento y disposición final de residuos tóxicos y peligrosos, habiendo un párrafo final que deja abierto la inclusión de otras actividades a juicio del Poder Ejecutivo.

La **legislación brasilera** es más explícita para el tema de usinas de incineración, por lo que a modo ilustrativo, se agrega la siguiente información:

La resolución CONAMA - Consejo Nacional de Medio Ambiente - n° 01 del 23 de enero de 1986, obliga a la realización de Estudio de Impacto Ambiental y Relatorio de Impacto al Medio Ambiente - EIA/RIMA - para incineradores de residuos sólidos municipales cuya capacidad exceda 40 t/día. Para capacidades menores, la elaboración de EIA/RIMA está definida por la respectiva Secretaría de Estado del Medio Ambiente. En la medida en que los municipios se estructuren adecuadamente, estos pueden asumir las funciones, entre otras, de la habilitación ambiental.

La habilitación de un incinerador comprende dos fases: la instalación - en que el proyecto de la unidad es sometido al organismo de control ambiental para análisis y aprobación del proyecto, incluyendo las medidas mitigadoras del impacto ambiental. Mediante aprobación, la habilitación de instalación es emitida pudiendo ser iniciada la construcción del incinerador. Después de la construcción, para la obtención de la habilitación de funcionamiento es preparado por el interesado un "plan de test de quema", que debe ser aprobado por el organismo de control ambiental. Este organismo también evaluará los resultados del test y establecerá las condiciones de operación. Para residuos peligrosos, las exigencias del test de quema constan en la norma técnica brasilera ABNT NBR-1265 (Ver Anexo B).



## 12 Incineración de los residuos sólidos de los servicios de salud y hospitalarios

La incineración de los residuos sólidos hospitalarios es considerada la mejor alternativa de tratamiento por las razones siguientes:

- reduce drásticamente el volumen del residuo, dejando una pequeña cantidad de cenizas;
- es un proceso simple, a pesar de ser crítico en cuanto a los procedimientos operacionales;
- como desventaja, existe la emisión de compuestos tóxicos, tales como las dioxinas y furanos en caso de que el incinerador no esté proyectado y operado adecuadamente.

La generación de residuos sólidos hospitalarios es casi cien veces menor que la de los residuos sólidos municipales, y en general es suficiente la utilización de incineradores pequeños.

Cabe resaltar que su carácter de residuo peligroso exige un correcto rigor operacional. Además de eso, su contenido energético es mucho mayor que el de los residuos sólidos municipales, de modo que se vuelve atractiva la posibilidad de recuperar energía. El valor medio del poder calorífico de los residuos sólidos hospitalarios es de 21,8 MJ/kg.

En este sentido, a medida que la generación de residuos sólidos hospitalarios aumenta, en la toma de decisión se debe tomar en cuenta:

- la posibilidad de enviarlos a municipios/empresas que posean incinerador;
- la contratación de prestación de servicios, en lugar de comprar equipo;
- la adquisición de una unidad pequeña para tratar los residuos sólidos hospitalarios del propio generador;
- un incinerador grande construido en sociedad, y que pueda prestar servicio a otros generadores.

Los residuos sólidos hospitalarios varían siempre de composición, en especial por estar constituidos de sobras y por tener procedencia heterogénea. El proceso de incineración puede verse seriamente afectado por esta variabilidad del residuo y sus envases.

Una vez que en el proyecto del incinerador se haya definido cuál deba ser la composición de los residuos que se deben incinerar, el organismo de control ambiental exigirá un plan mínimo de monitoreo, que se vuelve más complejo y costoso a medida que se deseen incinerar sustancias más peligrosas, en mayor cantidad y variedad.

Por tal motivo, al planificarse un ensayo de quema, es importante establecer el equilibrio entre la versatilidad en la aceptación de diferentes residuos, y el rigor en la selección durante su recepción (tipo y frecuencia de análisis y criterios de aceptación).

En los residuos sólidos hospitalarios pueden encontrarse sustancias peligrosas, como acetona, metanol, xileno e, inclusive, metales tóxicos provenientes de baterías retiradas de equipos electrónicos. Algunos metales pesados son extremadamente tóxicos para el ser humano, y exigen un tratamiento especial.

La admisión de residuos con composición muy diferente de la esperada, puede causar problemas de distinta gravedad, tales como:

- contaminación de la corriente gaseosa, líquida y/o de las cenizas. Ej.: metales pesados;
- daño al revestimiento refractario y a las parrillas. Ej.: exceso de sustancias con PCI elevado (polietileno), exceso de flúor, vidrios, etc.;
- explosiones. Ej.: explosivos y sustancias inestables muy reactivas;
- desgaste del revestimiento refractario. Ej.: alta cantidad de sodio (sal de cocina);
- corrosión. Ej.: alta cantidad de azufre y/o cloro (sulfatos, sal de cocina, PVC);
- combustión incompleta. Ej.: sólidos en pedazos grandes (trozos de madera, vidrios, yeso ortopédico);
- consumo excesivo de combustible. Ej.: residuo muy húmedo (los residuos sólidos urbanos generalmente contiene más del 40% de agua);
- generación de monóxido de carbono (CO) y partículas en exceso. Ej.: PCI alto y variable, cuando se alternan plásticos y material anatómico (órganos y tejidos de cirugías) de los residuos sólidos hospitalarios.

### ***Incineración de los residuos sólidos hospitalarios***

Los residuos sólidos hospitalarios generalmente se dispone en bolsas plásticas (Capítulo III), que se introducen manualmente en pequeños incineradores.

Los tipos de incineradores más usados son:

**Cámaras múltiples:** consisten básicamente en dos cámaras en serie, separadas por una trampa para la decantación de partículas. Como regla, sólo en la segunda cámara se mantiene un quemador para garantizar las condiciones típicas de combustión secundaria.

**Aire controlado:** este tipo de incinerador opera, en su cámara primaria, con inyección de una cantidad de aire menor del necesario para la combustión completa, de modo que la quema se vuelve lenta y con poca generación de partículas. Luego, en la segunda cámara los gases son calentados hasta 900 - 1.000 grados, destruyendo así los compuestos tóxicos. La energía generada en la quema puede volver innecesario el uso de combustible auxiliar durante la operación manual. La pureza de los gases de combustión dependerá de la homogeneidad del residuo suministrado.

En cuanto al tamaño del incinerador, se considera que entre 0,5 t/día y 20 t/día existen muchas alternativas para la selección de uno adecuado.

Dos factores estratégicos son esenciales, para decidir si se instala un incinerador:

- la inversión es alta, pudiendo llegar a más de 2 millones de dólares para unidades de 20 t/día;
- el costo del transporte de los residuos es pequeño, en comparación con el costo de un horno de incineración, de modo que puede ser preferible incinerar en unidades distantes más de 100 km.

Ciudades con hasta 50 mil habitantes pueden utilizar incineradores pequeños, con capacidad de 0,5 t/día, para destruir sus residuos sólidos hospitalarios. En este sentido, en caso de que sea necesario aumentar la capacidad, se pueden adquirir nuevos módulos idénticos, y aprovechar los conocimientos de operación y mantenimiento.

Los municipios con población de 50 a 500 mil habitantes y con eventual necesidad de destruir residuos más variados, como los industriales, pueden considerar la posibilidad de incinerar en un horno rotativo con capacidad de 5 t/día.

### ***Otras formas de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios***

#### **Esterilización a vapor (en autoclaves)**

Es un método de tratamiento también ampliamente utilizado para la descontaminación de los residuos microbiológicos y otros de laboratorio, antes de su disposición final, principalmente usado en los Estados Unidos. Como es un proceso que, para ser eficiente, debe permitir la penetración del vapor y la conducción del calor por toda la masa que se debe esterilizar, se vuelve inadecuado para el tratamiento de grandes volúmenes de residuos, debido a que el «estado físico y el espesor del material que debe ser tratados en autoclave, son factores determinantes para la efectiva ejecución del proceso».

El uso de autoclave exige el desarrollo de una tecnología razonablemente compleja, y por tanto debe ser operado por un personal entrenado. Los residuos así tratados, deben ir al relleno sanitario y jamás ser reciclados, pues no hay garantía de destrucción de los organismos patógenos.

#### **Desinfección química**

Es un proceso en el cual los residuos son sumergidos en una solución química desinfectante, que destruye los agentes infecciosos. Los residuos líquidos son despejados en sistemas de goteo, y los residuos sólidos resultantes son llevados al relleno sanitario. Las recomendaciones para su uso se refieren más a la desinfección de utensilios y superficies, que de los mismos residuos, debiendo ser necesario, para mayor garantía, un monitoreo de cada lote de los productos utilizados. El mayor inconveniente es que este proceso deja unos residuos tanto o más peligrosos para el medio ambiente, que los residuos sólidos tratados.

### **Inactivación térmica**

Es un proceso de calentamiento de los residuos sólidos a temperaturas que destruyen grandes volúmenes de residuos líquidos. Se colocan sobre una llama, a temperaturas preestablecidas, por un período de tiempo específico.

### **Esterilización por gases**

El uso de gases en el tratamiento de residuos es posible, pero los riesgos asociados al óxido de etileno utilizado en el proceso, desaconsejan esta técnica. Por estos riesgos, es un método que requiere toda una estructura especial de servicio para su realización.

### **Radiaciones ionizantes**

Es una tecnología reciente para el tratamiento de los residuos, que utiliza rayos gama, a partir de cobalto 60 y ultravioleta, para destruir los microorganismos infecciosos. En los Estados Unidos, el uso de rayos gama es semejante a la técnica empleada para la esterilización de alimentos y otros productos de consumo. La radiación ultravioleta es más empleada en el tratamiento de aguas residuales.

### **Uso de microondas**

La utilización de microondas para destruir agentes infecciosos está siendo empleada con éxito en algunos servicios sanitarios de Europa. Es un proceso novedoso, todavía poco conocido.

### ***La legislación brasilera y la incineración de los residuos sólidos hospitalarios***

La Resolución CONAMA n° 06 del 19/09/91 desobliga la incineración de los residuos sólidos hospitalarios y determina que los organismos estatales establezcan las normas para su tratamiento y disposición.

La Resolución CONAMA n° 01 del 23/01/86 obliga la realización de Estudios de Impacto Ambiental y Relatorio de Impacto al Medio Ambiente para incineradores de residuos sólidos hospitalarios cuya capacidad exceda 40 t/día. Para capacidades menores, la necesidad de elaboración de EIA/RIMA está definida por la respectiva Secretaría de Estado del Medio Ambiente.

La incineración de residuos peligrosos está reglamentada por la norma técnica brasilera ABNT NBR-1265, que excluye los residuos peligrosos por patogenicidad e inflamabilidad.

De acuerdo a la norma técnica ABNT NBR-10004, el residuo hospitalario solamente estará tipificado como peligroso por su toxicidad y/o patogenicidad. (Ver Capítulo II, 2.3).

En el estado de San Pablo, el proyecto de norma técnica de CETESB E 15.011 se aplica a incineradores de residuos infecciosos provenientes de establecimientos de salud, puertos y aeropuertos, cuya capacidad sea menor o igual a 1.000 kg/h.

**TABLA 1**  
**Valores máximos de emisión según norma técnica CETESB E 15.011**  
**San Pablo**

HF	5 mg/Nm <sup>3</sup>
CO	125 mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	1.200 mg/Nm <sup>3</sup>
Material particulado	150 mg/Nm <sup>3</sup>
Dioxinas	0,14 mg/Nm <sup>3</sup>
Cadmio y mercurio	0,28 mg/Nm <sup>3</sup>
Arsénico y níquel	1,4 mg/Nm <sup>3</sup>
Plomo y cromo	7 mg/Nm <sup>3</sup>

Esta norma establece que el test de quema debe ser realizado:

- con capacidad máxima del incinerador;
- antes de entrar en operación normal;
- cuando se desea alterar sus condiciones de operación.

Durante este test para sistemas con capacidad de hasta 200 kg/h, son especificados los valores máximos de emisión a la atmósfera de compuestos, como, por ejemplo, muestra la Tabla 1.

Exige además, la existencia de indicadores de temperatura, presión, oxígeno, monóxido de carbono y registradores, según la capacidad del sistema. También son exigidos mecanismos automáticos de bloqueo de la alimentación cuando situaciones anormales ocurran, como, por ejemplo:

- baja temperatura en las cámaras;
- ausencia de llama en cualquier quemador;
- presión positiva en las cámaras de combustión;
- falta de energía eléctrica o caída de tensión;
- mal funcionamiento del registro de temperatura.

## Referencias

- 1 ACHARYA, p. ET AL. Factors that can influence and control the emissions of dioxins and furans from hazardous wastes. J. Waste Manage. Ass., v.41, p.12, Dec. 1991.
- 2 BRUNNER, C.R. Handbook of incineration systems. New York: Mc Graw-Hill, 1991.
- 3 BRUNNER, C.R. Hazardous air emissions from incinerators. New York: Chapman and Hall, 1985.
- 4 DELLINGER, H.B. et al. Evaluation of the origin, emissions and control of organic and metal compounds from cement kilns co-fired with hazardous wastes. Scientific Advisory Board. June 8, 1993.
- 5 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Decision-makers guide to solid waste management. 1989.
- 6 FREEMAN, H.M. Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal. New York: Mc Graw-Hill, 1989.
- 7 GROVE, N. Recycling Official Journal of the National Geographic Society, Washington, v.186, n.1, p.94-115, July 1994.
- 8 MANDELLI, S.M.C. et al. Tratamento de resíduos sólidos - Compêndio de Publicações. Universidade de Caxias do Sul, 1991.
- 9 MANTUS, E.K., et al. All fired up: burning hazardous waste in cement kilns. S.I.: Environmental Technology International, 1992.
- 10 NIESSEN, W.R. Combustion and incineration processes - Applications in environmental engineering. New York: Marcel Decker.
- 11 PERRY, R.H., CHILTON, C.H. Chemical Engineer's Handbook. 5. Ed. S.I.: Mc Graw-Hill Kogakusha, 1973.
- 12 REINHARDT, P.A., GORDON, J.G. Infectious and Medical Waste Management. S.I.: Lewis Publishers, 1991.
- 13 ROSS, R., Mc GOWAN, T. Hazardous waste incineration is going mobile. Chemical engineering Magazine, Oct. 1991.
- 14 TCHOBANOGLOUS, G. et al. Solid waste: engineering principles and management issues. New York: Mc Graw-Hill, 1977.
- 15 VOGEL, G.A., MARTIN, E.J. Estimating capital costs of facility components. Chemical engineering Magazine, Nov. 28, 1983.
- 16 PUBLIC Cleaning Services in Tokyo, 1992. Bureau of Public Cleansing Tokyo Metropolitan, 1993.
- 17 ZULAUF, W. Informaciones personales. São Paulo, 1994.
- 18 REPUBLICA DE VENEZUELA (1.992). Decreto 2.211, Normas para el Control y Manejo de los Desechos Peligrosos. Gaceta oficial No. 4.418 Extraordinario del 23 de abril de 1.992.
- 19 INTENDENCIA MUNICIPAL DE MONTEVIDEO. Departamento Desarrollo Ambiental. División Disposición Final. Informaciones personales.
- 20 ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN URUGUAY, Serie Análisis Sectoriales N° 7, Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud - Dirección Nacional de Medio Ambiente - Agencia de la República Federal Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ) - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Marzo 1996.