

## Capítulo 4: Tipos de hornos. Emisiones a la atmósfera y correcciones

### Índice

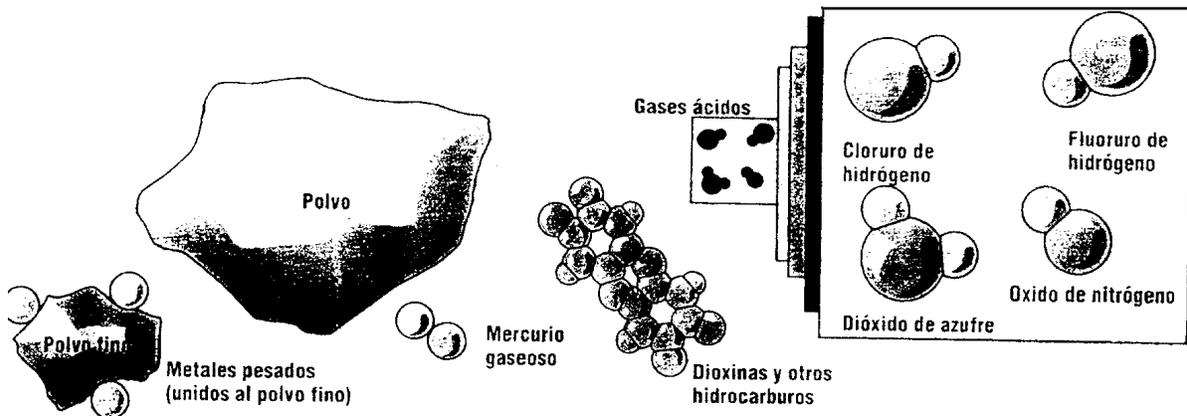
<b>1. EMISIONES GASEOSAS CONTAMINANTES .....</b>	<b>2</b>
1.1. LOS LÍMITES DE EMISIÓN.....	3
1.2. DESTINO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS.....	4
1.3. DIOXINAS Y FURANOS.....	4
1.3.1. EFECTOS Y DESTINO DE DIOXINAS Y FURANOS.....	5
1.3.2. PRESENCIA DE DIOXINAS Y FURANOS.....	6
<b>2. TIPOS DE HORNOS PARA INCINERACIÓN.....</b>	<b>7</b>
2.1. HORNOS DE PARRILLAS .....	7
2.2. HORNOS ROTATORIOS.....	9
2.3. HORNOS DE LECHO FLUIDIZADO .....	11
2.4. HORNOS PARA LÍQUIDOS.....	12
2.5. IDONEIDAD DE LOS DIVERSOS TIPOS DE HORNOS.....	13
<b>3. TRATAMIENTO Y LAVADO DE GASES.....</b>	<b>14</b>
3.1. CONTAMINANTES EN LOS GASES PROCEDENTES DE LA INCINERACIÓN.....	14
3.2. TRATAMIENTO Y LAVADO DE GASES .....	15
3.2.1. LIMPIEZA DE GASES CON PARTICULAS. VIA SECA.....	15
3.2.2. EL LAVADO DE GASES.....	17
3.2.3. LA DEPURACIÓN EN SEMISECO.....	18
3.3. MUESTREO, ANÁLISIS Y TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO .....	18
3.4. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS POR VÍA SECA Y VÍA HÚMEDA .....	19
<b>4. TRATAMIENTOS ESPECIFICOS.....</b>	<b>21</b>
4.1. TRATAMIENTO PARA EL DIÓXIDO DE AZUFRE, SO <sub>2</sub> .....	21
4.2. TRATAMIENTO PARA LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO, NO <sub>x</sub> .....	22
4.3. TRATAMIENTO PARA PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN .....	23
4.4. LA ADSORCIÓN .....	25
4.4.1. DIOXINAS, MERCURIO.....	26
4.5. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES, COV's .....	26
<b>5. APLICACIÓN A INCINERADORAS .....</b>	<b>28</b>
<b>6. OTROS SISTEMAS DE DEPURACIÓN .....</b>	<b>29</b>
6.1. TECNOLOGÍA PIROLÍTICA .....	29
6.2. CONVERSIÓN CATALÍTICA.....	29
6.3. ADSORCIÓN POR CARBÓN ACTIVO.....	29
6.4. LA ADSORCIÓN DE LOS OLORES.....	30
6.4.1. APLICACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES A LOS OLORES.....	30

# 1. EMISIONES GASEOSAS CONTAMINANTES

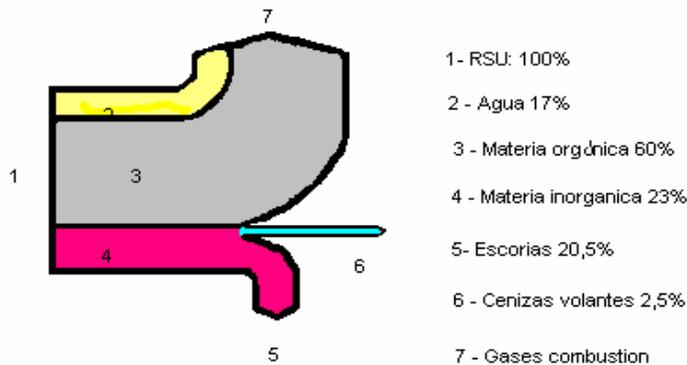
La figura expone el tamaño relativo de los agentes contaminantes presentes en los gases de combustión procedentes de la incineración de residuos. El combustible (RSU) se combina con el aire, libera energía y genera, básicamente, dos tipos de residuos:

- los sólidos (cenizas y escorias)
- los gaseosos (o contenidos en los gases)

Estos últimos son los responsables de las emisiones y, si estas superan los estándares establecidos por la legislación vigente, es preciso instalar los equipos de lavado y filtraje.



El diagrama de Shankey de la figura inferior demuestra que la mayor cantidad de residuos que produce una incineradora es en forma de emisiones gaseosas (77%), que se componen de gases y vapor de agua. Si el balance incorpora la masa de aire, las emisiones pueden superar el 95%.



BALANCE DE MASA. (No se tiene en cuenta el aire de combustion)

## 1.1. LOS LÍMITES DE EMISIÓN

Los límites de emisión de contaminantes depende, obviamente de cada país o estado cuyas autoridades sean competentes en la materia.

Por lo general la legislación distingue entre residuos sólidos urbanos y residuos industriales, siendo mas estricta en estos últimos. En el caso de Cataluña, la emisión esta regulada por el decreto 323/1994. La tabla siguiente expone estos límites.

Tipo	RSU asimilables	o RSU asimilables	o RSU asimilables	o Especiales
Capacidad	< 1 t/h	1 a 3 t/h	> 3 t/h	-
Partículas totales	200	100	30	10
HCl	250	100	50	10
HF	-	4	2	1
CO	100	100	100	50
C orgánico total	20	20	20	10
Pb+Cr+Cu+Mn	-	5	5	0,5
Ni+As	-	1	1	1
Cd+Hg	-	0,2	0,2	-
Cd+Tl	-	-	-	0,05
Hg	-	-	-	0,05
SOx	-	300	300	300
NOx	-	-	300	300
Dioxinas + Furanos	-	-	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$

Todos los valores están expresados en mg/Nm<sup>3</sup> y referidos a T= 273 °K. P= 101,3 Kpa. y 11% de O<sub>2</sub>. Los Especiales corresponden a la Norma Europea UE 98.

Las instalaciones de incineración están diseñadas para destruir el componente orgánico, ahora bien en muchas ocasiones junto al residuo entra compuesto inerte que, lógicamente no va a destruirse y, en todo caso se transforma o se emite con los gases, como acontece con los metales pesados.

Otro tipo de compuesto se origina por una mala combustión, como es el caso del monóxido de carbono o parte del carbono total. Sin embargo hay otros, como el SOx que se emiten por oxidación de los compuestos sulfurados.

En general los gases ácidos, como el HCl, HF, así como el SOx anteriormente citado, se abaten con lechada de cal.

## 1.2. DESTINO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

Aunque la distribución de los efluentes contaminantes que aparecen en la figura están extraídos de la incineración de los RSU, la norma general es válida para la incineración y tratamiento de otros caudales de residuos de características similares.

En ambas figuras se indican los elementos contaminantes según vayan a las corrientes de:

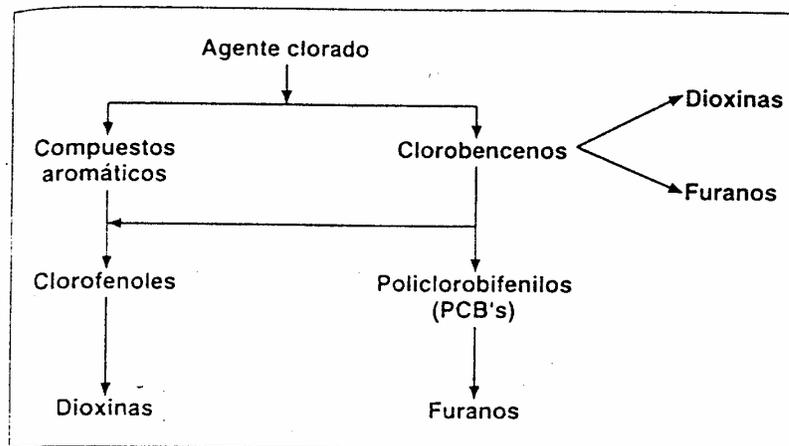
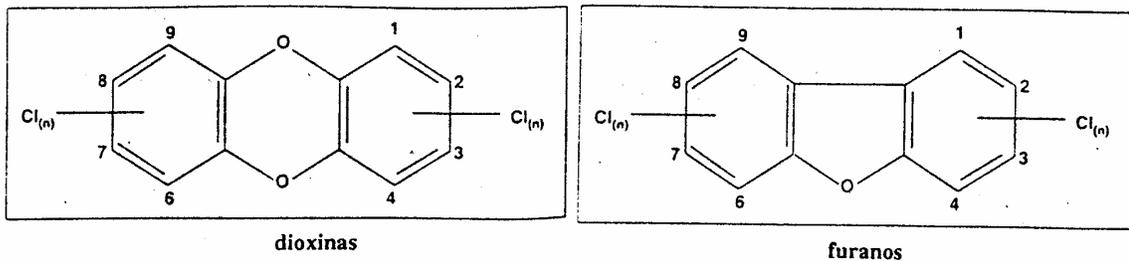
- Gases.
- Cenizas volantes.
- Escorias

y además aparecen separados los elementos metálicos de los no-metálicos.

## 1.3. DIOXINAS Y FURANOS

Las dioxinas y los furanos son compuestos tóxicos formados por anillos bencénicos en cuyos radicales se insertan oxígenos y cloros. Ello da lugar a un sinfín de isómeros de los cuales unos pocos son extremadamente tóxicos.

Son compuestos térmicamente estables hasta una temperatura aproximada de 600 °C. Son liposolubles y muy poco solubles en agua. Es debido a ello que son muy estables y de ahí su persistencia en el medio (se han encontrado dioxinas en muestras de fósiles).



Un nivel térmico que asegure una temperatura de 800 °C durante un tiempo de residencia de, al menos, 2 segundos garantiza la destrucción de estos compuestos. Sin embargo se da la paradoja de que la propia instalación térmica, en la zona de baja temperatura, puede ser la generadora de dioxinas y furanos. El principio general de formación esta esquematizado en la figura y su origen radica en la degradación térmica de agentes clorados en presencia de abundante exceso de aire. Si estos compuestos no son destruidos, pasan a las escorias.

Otra fuente de generación de dioxinas, en las incineradoras, es la llamada síntesis "de novo". Durante el enfriamiento de los gases se reforman las dioxinas entre 500 y 250 °C (de hecho es el mismo proceso anterior), por ello se recomienda acelerar la velocidad de enfriamiento de los gases, sobre todo cuando se prevean problemas.

Existe una formación natural de dioxinas en el cieno y en el compost. Los incendios naturales generan, al igual que numerosos procesos industriales, muchas más dioxinas que las incineradoras.

### 1.3.1.EFECTOS Y DESTINO DE DIOXINAS Y FURANOS

El inventario de dioxinas y furanos llevado a cabo por el CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España) y el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, indica que en los tres últimos años las emisiones de dioxinas y furanos generadas por el conjunto de las incineradoras españolas (8 operativas) ha pasado de 20 gramos a 1,2 gramos al año y figuran entre las mas eficientes del mundo.

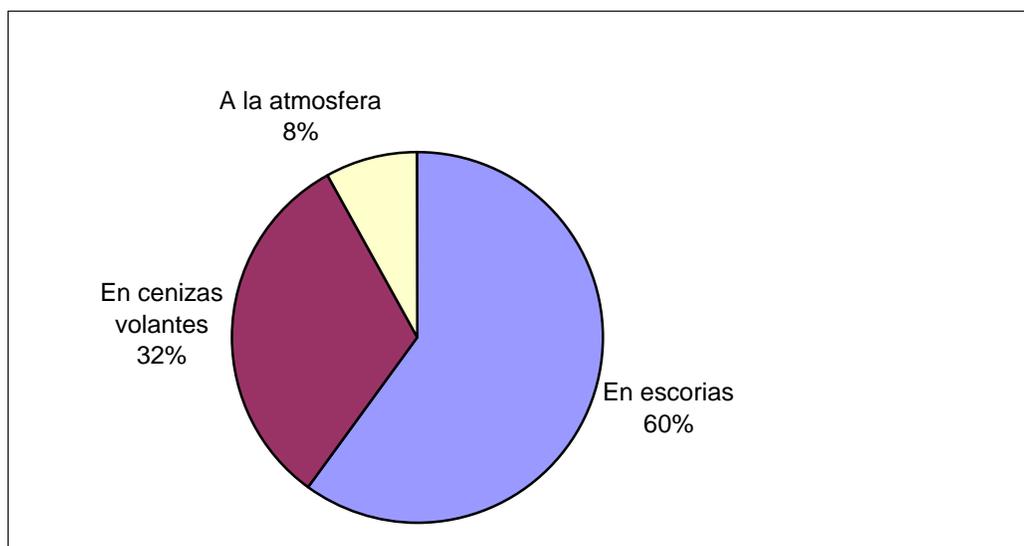
Dónde se encuentran: En compuestos utilizados en la producción de aceites dieléctricos, lubricantes, pinturas, preservantes de la madera, pesticidas, retardantes de llama, circuitos eléctricos, etc.

Efectos tóxicos:

- Efectos en la piel: Cloracné, hiperpigmentación, hiperqueratosis.
- Efectos neurológicos: Neuropatías, disfunciones sexuales, neuritis, etc.
- Efectos en el cuerpo: Fibrosis hepática, problemas digestivos, dolores musculares, disfunciones en el sistema inmunológico, etc.

Los mayores emisores: La industria siderúrgica, metalúrgica, fabricación de cemento, calderas, calefacciones, tráfico, plantas termoeléctricas, químicas, fabricación de vidrio y cerámica, industria textil, petroquímica, vertederos e incineradoras.

Destino de las dioxinas: La gráfica siguiente muestra, en el caso de las incineradoras de RSU que las emisiones a la atmósfera no son, con mucha diferencia, las mayores emisoras de dioxinas y furanos un promedio, a partir de 130 ensayos de casos estudiados, de donde se encuentran las dioxinas y furanos.



### 1.3.2. PRESENCIA DE DIOXINAS Y FURANOS

Debido al carácter estable de estos compuestos su presencia es considerable en diversos ámbitos. Las tablas siguientes reproducen los resultados de diferentes investigadores (1) Vogtmenn&Fricke (1992) y (2) Hezbolzheimer& Colom (1998).

Todos los valores se hallan expresados en **ng TR/kg (SMS)**

Bajo bosque (0-2 cm) (1)	35
Zona Industrial (1)	18
Arcén carretera (1)	21
Zona agrícola (1)	5

Hojas (1)	24-23
Hojas cercanas carretera (1)	42
Papel reciclado (1)	6-17
Papel de periódico (1)	0,2-2
Aserrín y corteza de madera (1)	10
Corteza de árbol (1)	3
Residuos municipales (2)	4.50
Fracción orgánica de RSU (2)	4.29

Compost de FO de RM (1)	12.07
Compost de RV (1)	10.58
Compost de RM (1)	103
Compost de Torrelles de Llobregat (2)	5.0

## 2. TIPOS DE HORNOS PARA INCINERACIÓN

El horno es la cámara donde se vaporiza, piroliza, gasifica y, aunque parcialmente, combustiona el residuo. Es evidente que una parte importante de la combustión ha de generarse en el interior del horno, de lo contrario la temperatura generada sería insuficiente para mantener el nivel térmico.

El quemador auxiliar del que deben disponer todos los hornos es la herramienta para alcanzar un nivel de temperatura, generalmente alrededor de los 850°C, suficiente para conseguir la autocombustión del residuo. A partir de este punto el quemador puede apagarse. Si al apagar el quemador auxiliar, la temperatura descende será causa de que el poder calorífico del residuo es muy bajo. Si tan bajo es será preciso replantearse la incineración.

Puede también darse el caso de que el calor generado por el residuo sea aceptable, sin embargo no se alcance el grado de temperatura deseable. Por ello es preciso hacer un ligero repaso a los tipos de hornos más usados para la destrucción térmica de los residuos sanitarios.

En el presente tan solo se llevara a cabo una breve descripción de aquellos hornos que se usan para el tratamiento de residuos sanitarios.

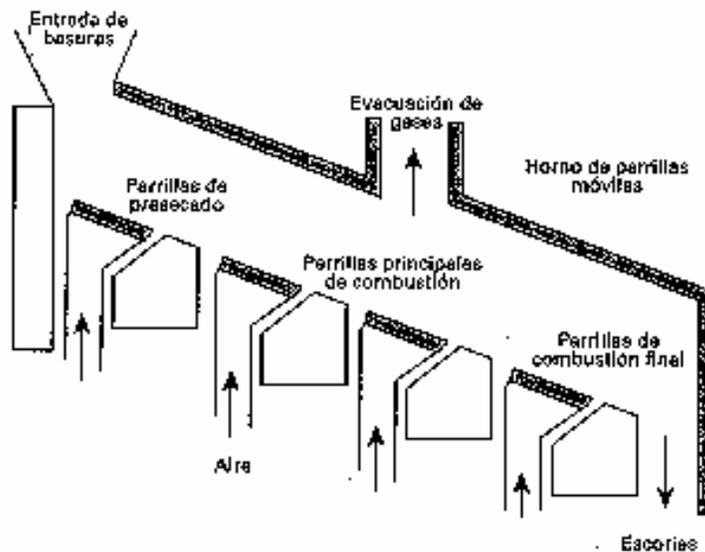
### 2.1. HORNOS DE PARRILLAS

Son los más conocidos y los más extendidos debido a su empleo en el tratamiento de los RSU, por su versatilidad y capacidad de tratamiento.

La carga, residuo, se introduce en la parrilla por gravedad o por medio de un cilindro hidráulico. Por lo general el residuo se introduce “todo uno”, es decir sin triturar lo que favorece la presencia de acumulaciones de material que impiden la libre transmisión del calor por radiación.

El movimiento de la carga sobre la superficie de la parrilla se logra por efecto de la gravedad (planos inclinados) o bien por diversos mecanismos que obligan a la carga a desplazarse, como los rodillos o las parrillas móviles.

Según el modo de accionamiento de las parrillas la introducción del aire, que se inyecta por la parte inferior es diferente. La figura reproduce un esquema de un horno típico de parrillas.



Como muestra el esquema la carga entra por gravedad en una primera zona, parrilla, de presecado. De hecho la calidad del secado es muy deficiente puesto que la humedad contenida en el residuo es poco accesible.

En la parte central, parrillas principales de combustión, además de la combustión, buena parte de la carga piroliza y gasifica. En la última parte de la parrilla es donde tiene lugar, propiamente, las reacciones de combustión.

La gran presencia de aire, normalmente este tipo de hornos funciona con un exceso de aire superior al 100%, produce varios problemas:

- La velocidad es muy alta y provoca un gran arrastre de material. (Hay que hacer notar que si bien es una velocidad alta para favorecer el arrastre es muy baja para la tasa de transferencia de calor por convección)
- Al tratarse de aire frío (aunque muchas veces entra precalentado a 160°C) enfría todavía más el residuo e impide la vaporización y gasificación.

De hecho las parrillas metálicas son precisamente el punto débil del sistema puesto que tienen limitado la concentración de calor generado ( $w/m^2$  de parrilla), o lo que es lo mismo, la carga térmica:  $w/m^3$  de volumen de horno. La temperatura que puede soportar la parrilla es muy inferior a un refractario, de ahí la necesidad de la refrigeración con aire.

Así, para un RSU de 10 GJ/t (2400 Kcal/kg) y una producción de 20 t/h, se puede emplear la parrilla o los rodillos. Esto supone una carga térmica del orden de 0,18-0,36  $t/m^2h$ , o 0,5-1,0  $Mw/m^2$ .

Si bien la ventaja de los hornos de parrillas es que admiten todo tipo de carga sin tratamiento previo y la inversión es relativamente baja, los inconvenientes, sobretodo para la incineración de residuos sanitarios son significativos:

- Las parrillas propician la aparición de restos carbonosos (coque y compuestos orgánicos no quemados) en las escorias.
- Las parrillas, sobretodo las móviles, pueden ocasionar problemas mecánicos o bien necesitar un frecuente mantenimiento.
- Existe con frecuencia puntos calientes en las parrillas que ocasionan daños y diferencias de temperaturas que afectan a la calidad de la gasificación
- El tiempo de retención de sólidos es una constante.

## 2.2. HORNOS ROTATORIOS

Este tipo de horno es muy versátil y es apto para trabajar con materiales sólidos, fangosos e incluso líquidos. La alimentación del horno se ajusta hasta lograr que la carga ocupe, aproximadamente un 20% del volumen interno del horno.

La función principal del horno es convertir los residuos sólidos, líquidos o pastosos en gases. Ello se consigue en este tipo de hornos gracias a:

- Variación de la velocidad e inclinación del horno, con lo que el tiempo de residencia de los sólidos aumenta hasta lograr su total destrucción.
- Aumento de la temperatura muy por encima el que pueda conseguirse en un horno de parrillas, puesto que su interior esta íntegramente construido con materiales refractarios y aislantes.
- Posibilidad de trabajar con un exceso de aire mínimo, estequiometría e incluso defecto de aire. En estas condiciones la velocidad de la corriente de gases es muy débil y se minimiza el arrastre de material particulado.
- Posibilidad de inyectar aire de combustión caliente (más de 250<sup>0</sup>C), con lo que la calidad y cinética de los procesos se ve muy mejorada.

El horno está constituido por un recipiente de acero recubierto interiormente con una capa de refractario y aislante. Su forma es casi-cilíndrica. El horno dispone de una entrada para la alimentación de residuos, un quemador auxiliar y la entrada de aire comburente.

La salida de gases se lleva a cabo en toda la sección del horno. Las escorias, caen por el cenicero que dispone el horno. De esta manera es factible extraer del horno las escorias en proceso continuo, circunstancia que favorece la marcha general del proceso y evita que la instalación deba pararse periódicamente.

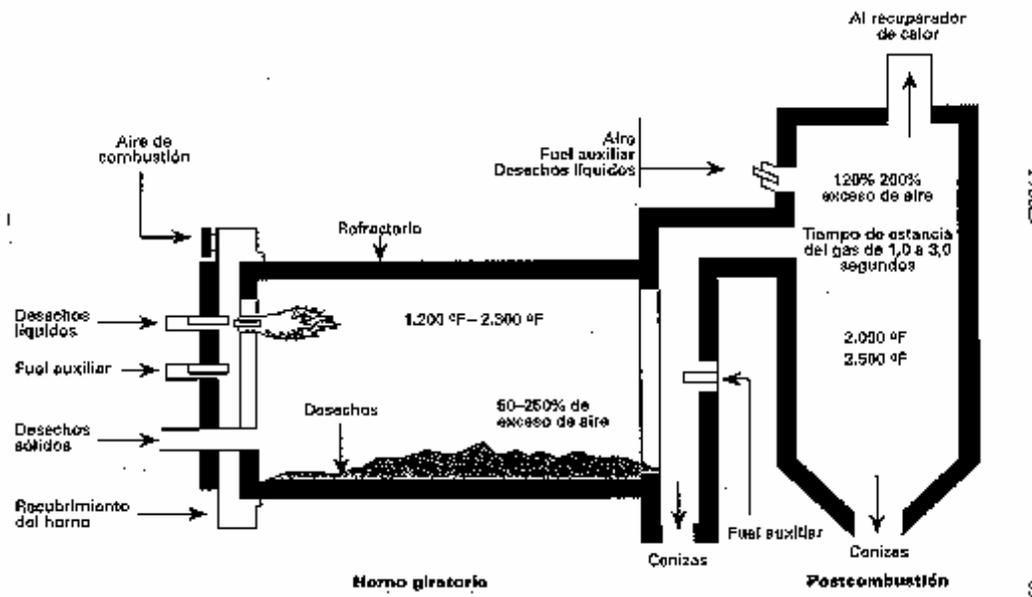
El ventilador general de tiro provoca una depresión en todo el sistema. El objetivo, aparte claro está de arrastrar los gases de combustión, es diverso:

- Evitar que cualquier gas del proceso pueda salir al exterior.
- Ayuda a enfriar las escorias y los materiales inertes que salen junto a ellas.

- Mantiene la entrada del horno, la junta entre la puerta y el cilindro (horno rotativo), libre de posibles salidas de gases.

En caso de no instalar una caldera de recuperación para enfriar los gases, el aire de combustión se precalienta con los gases de emisión y es distribuido en dos corrientes: La corriente principal que se introduce en el horno, como aire de combustión y otra parte que hace la misma función en la cámara de oxidación y postcombustión. El aire sobrante se evacua a la atmósfera.

El horno trabaja con un exceso de aire reducido. De esta manera la temperatura es superior a la que tendría con un exceso de aire mayor, la gasificación de los materiales mas elevada y la velocidad de la corriente de gases reducida, con lo que se minimiza el arrastre de partículas. Una temperatura de trabajo alta (poco exceso de aire) y con un mantenimiento regular asegura una buena combustión.



El horno se apoya sobre dos conjuntos de ruedas. Estas son las que soportan el peso de toda la instalación. A su vez una de estas parejas de ruedas se halla conectada a un motovariador que le imprime la velocidad de rotación (variable).

El horno se halla ligeramente colocado en desnivel para que permita la correcta evacuación de las escorias. Variando la inclinación, o bien la velocidad de rotación del horno, es posible controlar el tiempo de permanencia de los sólidos en el interior de la cámara de combustión. La componente horizontal resultante de dicha posición es absorbida por una rueda cuyo eje esta colocado verticalmente e impide que el horno se deslice.

### 2.3. HORNOS DE LECHO FLUIDIZADO

Este tipo de horno ha sido concebido para el tratamiento de materiales conflictivos, PCI bajo o diferencias de tamaño en el combustible y/o en la alimentación. Así es un buen candidato para la incineración de residuos sólidos y/o pastosos.

El principio de funcionamiento estriba en la gran transferencia de calor que se lleva a cabo desde las partículas de refractario que constituyen el lecho que se mantiene en constante agitación, gracias al caudal de fluidificación.

A una determinada velocidad de ascensión del aire (1,5 a 2 m/s) el lecho se fluidiza y adquiere las características de un fluido (régimen de burbujeo). En este momento el lecho se expande proporcionando unas condiciones óptimas de superficie específica, mezcla sólido/gas y homogeneidad térmica. Esta propiedad supone que los residuos puedan ser destruidos a una temperatura inferior a la de otros tipos de hornos.

La alimentación se realiza por la parte central del lecho. En función del diseño y del tipo de horno (burbujeante o circulante) el arrastre de material será más o menos intenso. En cualquier caso las partículas serán recogidas en un ciclón.

El principio de funcionamiento supone unas limitaciones en la alimentación. Así, un horno de lecho fluidizado no es adecuado para la introducción de residuos de gran tamaño o dimensiones no homogéneas.

La parte existente entre el lecho y la bóveda del reactor actúa como una cámara de postcombustión. En esta zona la temperatura es superior, mientras la temperatura del lecho permanece sensiblemente constante.

Desde el punto de vista técnico las ventajas que aporta el lecho fluidizado en comparación con el convencional pueden sintetizarse en:

- Requiere un menor exceso de aire con lo que el rendimiento de la combustión será mayor.
- Puede trabajar a temperaturas menores con lo que se evita la fusión parcial de las escorias del combustible en el seno del lecho.
- No hay partes móviles en el sistema, con lo que el mantenimiento es mucho más reducido.
- Al trabajar a menores temperaturas, la generación de NOx es más limitada, casi nula.
- Las instalaciones son más compactas.
- Gracias a la gran inercia térmica del lecho admite grandes fluctuaciones en el caudal de residuos o en su poder calorífico.
- Posibilidad de introducir catalizadores en el lecho. Esto se suele llevar a cabo a base de inyectar carbonato cálcico con la propia carga, de este modo se abaten los gases ácidos in situ.

Como desventaja mas sobresaliente hay que citar el mayor coste de instalación y el cuidado con la naturaleza de los residuos para evitar que se formen eutécticos que puedan fundir o colapsar el lecho.

Pero desde la óptica medioambiental las ventajas son, si cabe, más importantes:

- Posibilidad de usar mezclas heterogéneas de combustibles, siendo el estado físico de alguno de ellos difícil de manipular (fangos).
- Minimización de las emisiones de  $\text{SO}_2$  por adición de reactivos en el propio lecho (carbonatos).
- Reducción de los niveles de  $\text{NO}_x$  al trabajar a menores niveles térmicos y excesos de aire más reducidos.
- Aumento del tiempo de residencia.

## 2.4. HORNOS PARA LÍQUIDOS

Son reactores cilíndricos, en disposición vertical u horizontal con revestimiento de material refractario en su interior y equipados con uno o mas quemadores. Por lo general uno es el quemador, mas bien inyector y atomizador del residuo líquido mientras que el otro es el quemador de combustible convencional. Los modelos verticales son mas usados cuando el residuo contiene un alto porcentaje de sales o cenizas inorgánicas.

Alcanzan temperaturas entre 700 y 1.000°C, intervalos de temperaturas dentro de las cuales la mayoría de los líquidos combustionan correctamente. El principal problema estriba en el diseño de la boquilla atomizadora del combustible líquido. La cámara se ha de diseñar para que durante la trayectoria que siguen las gotas de líquido, éstas volatilicen y se oxiden en fase gaseosa.

Las principales ventajas son su bajo coste de explotación, por no tener partes móviles. El principal inconveniente radica en la propensión a embozarse de las boquillas atomizadoras.

Hay que pensar que la finalidad de esta instalación es la transferencia del calor hacia los tubos de la caldera para su conversión en vapor. Ello supone una disminución de la temperatura de los gases que, a veces, puede ir contra los principios antes anunciados de reducción del tiempo de residencia.

Con frecuencia un típico incinerador de residuos líquidos donde la longitud del incinerador, la mala calidad de la atomización del combustible (y/o residuo), el brusco enfriamiento de la corriente de gases a la salida del incinerador o bien una suma de estos problemas, conduce a un mismo resultado: la ineficacia de la destrucción térmica.

## 2.5. IDONEIDAD DE LOS DIVERSOS TIPOS DE HORNOS

La forma física del residuos es el factor mas determinante para la elección de un tipo u otro de horno. Sin embargo, hay que citar todo un sinfín de propiedades a tener en cuenta:

- Análisis elemental del residuo.
- Poder calorífico inferior.
- Contenido de inertes.
- Corrosividad.
- Cantidad y calidad de los contaminantes potenciales en los efluentes.

La tabla siguiente indica la idoneidad de los diversos tipos expuestos, de acuerdo con los tipos de residuos mas próximos a los sanitarios.

Tipo de residuo	Rotativo	Líquidos	L.fluidizado	Parrillas
Granular, homogéneo	x		x	x
Irregular	x			X
Sólido bajo punto fusión	x	x	x	
Orgánicos con cenizas fundibles	x			X
A granel voluminoso	X			
Vapores orgánicos	X	x	x	x
Líquidos orgánicos	x	X		
Fangos con carga halogenada	x	x		
Fangos orgánicos	x		x	

### 3. TRATAMIENTO Y LAVADO DE GASES

Durante el proceso de combustión los contaminantes presentes en los residuos son transferidos, básicamente a la corriente gaseosa, formándose además nuevos contaminantes durante el proceso.

Las tendencias en cuanto al tratamiento se pueden resumir en:

- Control de la contaminación en origen, bien mediante la segregación en origen y con un perfecto control de los parámetros de combustión.
- Depuración de los gases de combustión.

Esta última visión es la que prevalecía hasta hace bien poco. No obstante la tendencia actual es a la segregación en origen, la trituración, o sea la preparación del residuo antes de su entrada en el horno. De todas maneras no debe minimizarse la depuración de los gases.

#### 3.1. CONTAMINANTES EN LOS GASES PROCEDENTES DE LA INCINERACIÓN

En líneas muy generales los contaminantes presentes en los gases procedentes de la incineración de residuos sanitarios, se pueden dividir en cuatro grandes grupos:

- **Gases ácidos**, provienen de la composición del propio residuo. Se deben abatir por vía seca a base de inyectar reactivos o por vía húmeda.
- **Compuestos orgánicos**. Que van desde los hidrocarburos a las dioxinas pasando por el CO. En general son consecuencia del propio proceso de combustión. Por tanto hay que prestar atención al horno, la cámara de oxidación, de postcombustión y al enfriamiento de la corriente gaseosa.
- **Partículas**: Se pueden, a su vez, clasificar en inquemados y escorias. Estas últimas son consecuencia de la fracción inorgánica presente en el residuo. Mientras que los inquemados pueden proceder del propio residuo (fracción muy fina) o bien de un defectuoso proceso de combustión. Las escorias se recogen en el cenicero, mientras que el material fino ha de recuperarse en el ciclón, filtro de mangas o electrostático.
- **Metales pesados**: Proceden del residuo a incinerar. El sistema habitual para su abatimiento es la adsorción y los filtros de mangas y electrostáticos.

La tabla siguiente muestra, en líneas muy generales el orden de magnitud de la presencia de estos contaminantes en los incineradores de residuos especiales.

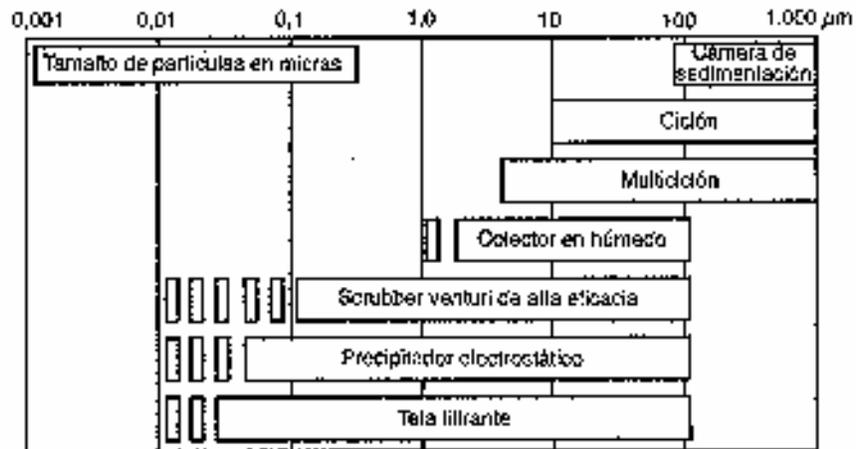
GRUPO	COMPUESTO	CONCENTRACIÓN
Gases ácidos	HCl	500-1000 mg/Nm <sup>3</sup>
	HF	5-10 mg/Nm <sup>3</sup>
	SO <sub>x</sub>	100-400 mg/Nm <sup>3</sup>
	NO <sub>x</sub>	200-400 mg/Nm <sup>3</sup>

Compuestos orgánicos	Hidrocar. Poliaromáticos	1-100 ng/Nm <sup>3</sup>
	Clorobencenos	1-100 ng/Nm <sup>3</sup>
	Dioxinas, furanos	5-100 ng/Nm <sup>3</sup>
Partículas	Inquemados	
	Escorias	
Metales pesados	Hg	0,3-0,4 mg/Nm <sup>3</sup>
	Cd	0,05-0,1 mg/Nm <sup>3</sup>
	Pb	0,5-3,0 mg/Nm <sup>3</sup>
	As, Ni, Cu, Cr, etc	

## 3.2. TRATAMIENTO Y LAVADO DE GASES

### 3.2.1. LIMPIEZA DE GASES CON PARTICULAS. VIA SECA

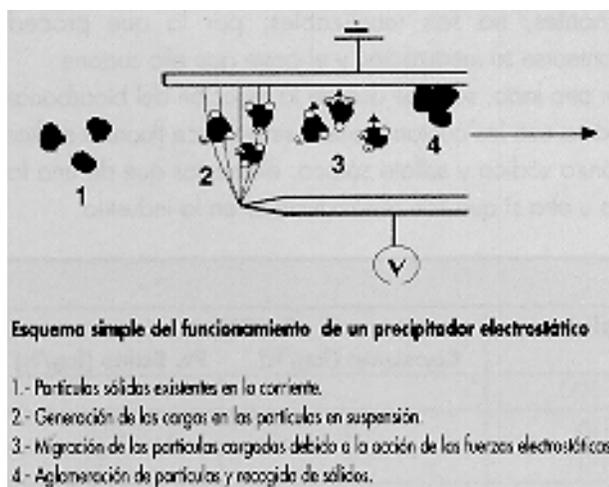
Las partículas de tamaño  $< 1 \mu\text{m}$  son especialmente nocivas para la salud humana. La primera elección del dispositivo de eliminación se lleva a cabo en función del tamaño de partícula a captar, según indica el dibujo adjunto.



**Precipitador electrostático:** El gas circula a baja velocidad en un recinto que ioniza el aire debido a la diferencia de potencial de 60 a 80 kV en corriente continua (el consumo eléctrico es elevado). A intervalos regulares un mecanismo de limpieza hace caer el polvo al fondo de la tolva.

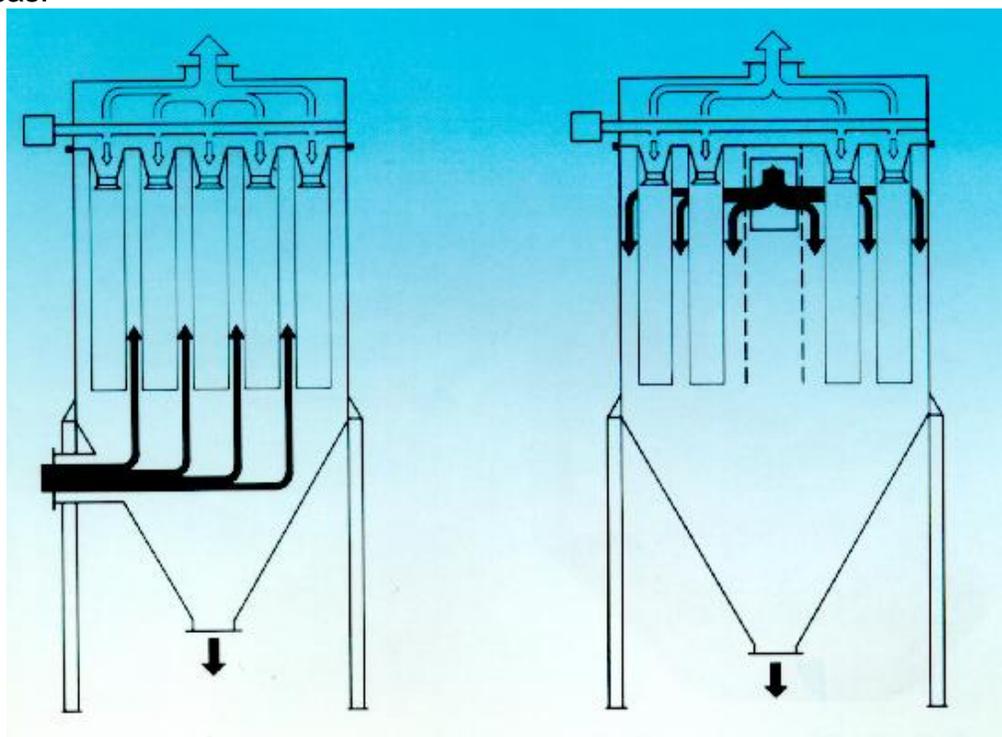
Son útiles cuando el volumen de gas a tratar es muy elevado y el contaminante de tamaño pequeño y/o vaho. Además puede funcionar a alta temperatura y presión. La eficacia suele ser superior al 98%.

La figura muestra el principio de funcionamiento del precipitador.



**Filtros de mangas:** Su eficacia suele ser superior al 99%. La velocidad de paso del gas es muy reducida.

La figura muestra la disposición típica de un filtro de mangas. Hoy en día las telas soportan perfectamente hasta 300 °C, no obstante tienen servitudes de agresiones químicas.



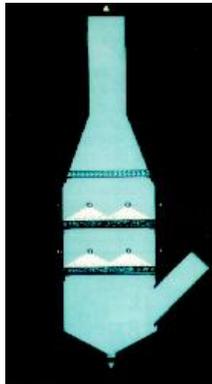
**Filtros cerámicos:** Su gran ventaja es que trabajan a temperaturas superiores a 900 °C y son resistentes a la acción de los gases ácidos, tampoco necesitan estructura de soporte puesto que la cerámica es rígida. El principio de funcionamiento es similar a los filtros de mangas.

El material es carburo de silicio, alúmina, mullita, etc y pueden ser duros (llamados de candela) o blandos (fibras). Los primeros presentan una altísima pérdida de carga y se usan poco.

### 3.2.2.EL LAVADO DE GASES

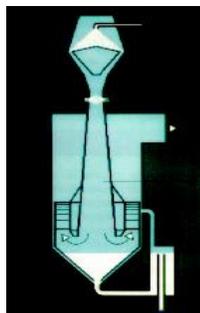
El principio básico de todos los lavadores es adherir la partícula sólida a un vehículo líquido para su mayor facilidad de separación.

Torres de lavado: Es el sistemas mas usado. El gas atraviesa a contraflujo una serie de bandejas o bandejas de cuerpos rellenos con el líquido de lavado. La baja velocidad del gas restringe la aplicación a partículas superiores a  $30\ \mu\text{m}$ . Su eficacia es limitada pero la inversión y el consumo es baja.



Lavadores Venturi o scrubbers: La primera parte es la zona de saturación del gas. El cuello del Venturi, 3, (máxima velocidad de gas y mínima presión). La velocidad relativa partícula / agua es muy elevada lo que permite la transferencia de partículas contaminantes al agua.

En la trompeta de deceleración (4) se forman gotas que luego caen en el decantador inercial y en la decantación centrífuga. A la salida (7) se instala un demister (separador de gotas).



### 3.2.3.LA DEPURACIÓN EN SEMISECO

También conocida como absorción en seco. Los principios elementales del abatimiento de los compuestos ácidos son:

- $2 \text{HCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- $2 \text{HF} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaF}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- $2 \text{SO}_2 + 2 \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2(\text{CaSO}_3 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}) + x \text{H}_2\text{O}$
- $\text{SO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

El reactivo  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se puede usar en polvo (vía seca) o en suspensión de agua.

En el sistema en semisecho, la lechada de cal se inyecta por presión en el interior del reactor. El agua se evapora y la cal se combina con los ácidos presentes. La sal o sales formadas son recuperadas en el filtro de mangas o en el precipitador electrostático. Es una alternativa cada vez mas usada porque no genera penachos ni aguas residuales.

### 3.3. MUESTREO, ANÁLISIS Y TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO

Las emisiones contaminantes a la atmósfera se definen y están reguladas en términos generales por su carácter mayoritario de gases procedentes de combustión en: centrales térmicas, refinerías, industria química en general, papeleras, incineradoras, etc.

La caracterización de las emisiones gaseosas generadoras se lleva a cabo incluyendo los siguientes parámetros que las definen y cuantifican.

Los parámetros comúnmente estudiados en las emisiones de gases:

- Flujo o caudal de salida de los gases a la atmósfera.
- Partículas sólidas (P.S. o M.P.S.)
- Opacidad
- Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )
- Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )
- Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ )
- Compuestos orgánicos volátiles (C.O.V o V.O.C.)
- Olores
- Metales pesados (Mercurio, Plomo, etc.)
- Compuestos organoclorados

Además existen otros parámetros o circunstancias que suelen estudiarse o que hay que considerar al margen de los mencionados.

Condiciones o situaciones de los puntos de muestreo en una misma sección: se trata de hacer muestras integradas en la sección y de que el muestreo sea

isocinético, es decir, con velocidad lineal de aspiración de la muestra similar a la de la corriente de salida por el conducto o chimenea, por lo que es preciso medir el tiempo:

- Velocidad de salida de la corriente de gas
- Densidad del gas, que depende de su composición, en la cual se tiene en cuenta:
- Humedad, o % de vapor de agua
- Asimismo interesa evaluar el peso molecular, para saber en cual se precisa conocer los componentes mayoritarios además de la humedad, que son:
- Oxígeno (O<sub>2</sub>)
- Nitrógeno (N<sub>2</sub>)
- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)
- Temperaturas y presión en las condiciones de medida y en las de salida, para normalizar las condiciones analizadas.

Otro dato interesante es cuantificar finalmente en kg/hora los flujos de cada contaminante y referirlos a las producciones de energía o de productos obtenidos en el proceso o a los consumos de materia prima en el momento de la medición.

### **3.4. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS SISTEMAS POR VÍA SECA Y VÍA HÚMEDA**

A la salida de la cámara de postcombustión es preciso enfriar los gases antes de emitirlos a la atmósfera. El principio de funcionamiento del tratamiento de gases por vía seca estriba en la atomización de un neutralizante, habitualmente lechada de cal, sobre la corriente gaseosa. Con ello se persiguen dos objetivos: enfriar los gases y neutralizar la carga ácida.

En el sistema de vía seca la secuencia es: Carga automática del horno. Horno, o cámara de combustión y cámara de postcombustión, que está dotada de una chimenea de emergencia.

A la salida los gases circulan a través de un intercambiador de calor para ceder el calor sensible al aire de combustión y reducir la temperatura de los gases para poder entrar a la torre de enfriamiento y neutralización. Algunas de estas torres se hallan dotadas de un sistema de carga del residuo generado por la neutralización para descargarlo en un contenedor por medio de un mecanismo de extracción.

En la parte superior, la torre dispone de una puerta de inspección y los gases limpios son evacuados por el ventilador.

A la salida de la caldera (150-180 °C) el gas ha de precalentarse hasta 350 °C porque esta es la temperatura de volatilización de algunos vapores de metales pesados.

<b>VENTAJAS VÍA SECA</b>	<b>INCONVENIENTES VÍA SECA</b>
El residuo de los filtros es seco	Se aumenta la cantidad de residuos
Compatible con filtros de mangas	Los reactivos pueden ser caros
Mayor superficie de reacción antes y en el filtro de mangas	Normalmente precisa una caldera para reducir las temperaturas antes del filtro de mangas
Los reactivos son fáciles de manipular	Se usan mayor cantidad de reactivos que en los sistemas vía húmeda o semi-seca
El sistema no produce penacho	Hay que precalentar el gas a la salida de la caldera
Pocos problemas de corrosión	

El principio de funcionamiento del tratamiento de gases por vía húmeda consiste en hacer pasar la corriente gaseosa a través de un líquido frío. Con ello se consigue: enfriar los gases y condensar la carga ácida. Este sistema, desde el punto de vista de la reformación de dioxinas y furanos es más seguro y también recupera la mayor parte del material particulado.

En el sistema de vía húmeda la secuencia es: Carga automática del horno. Horno, o cámara de combustión y cámara de postcombustión, que está dotada de una chimenea de emergencia.

A la salida los gases se hacen recircular a través de un líquido, a veces simplemente se ponen en contacto, con ello se cede el calor sensible y también el latente de los constituyentes de los gases. Para ello se usan cámaras donde la presión se reduce y con ello la temperatura del gas y la velocidad. El agua se debe enfriar para poder ser inyectada de nuevo. Después los gases atraviesan un filtro.

El mayor inconveniente de este sistema es que transfiere toda la contaminación al agua y, normalmente, esta se debe depurar, con el gasto adicional que ello reporta. Finalmente los gases son evacuados a la atmósfera por el ventilador.

<b>VENTAJAS VÍA HÚMEDA</b>	<b>INCONVENIENTES VÍA HÚMEDA</b>
Buen control de gases ácidos	Genera efluente líquido que precisa tratamiento
Buen control de las emisiones de Hg y Cd sin necesidad de aditivos	Debe precalentarse el efluente para eliminar el penacho
Variedad de tecnologías probadas	Potencial problemas de corrosión. Materiales más caros

## 4. TRATAMIENTOS ESPECÍFICOS

Debido a la importancia y a la presencia de gases ácidos en los tratamientos térmicos de la mayoría de residuos en este apartado se realiza un análisis pormenorizado de las emisiones de estos compuestos mas representativos.

### 4.1. TRATAMIENTO PARA EL DIÓXIDO DE AZUFRE, SO<sub>2</sub>

Los procesos para la eliminación del SO<sub>2</sub> son los siguientes:

- Vía húmeda con caliza o cal mediante lavado de gases (eficacia 95% en la desulfuración, poco eficaz para el NO<sub>x</sub> o nieblas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o de mercurio), p. Ej. Con torre de absorción de gases sobre suspensión de caliza en agua, dispersada por pulverización a presión y esparcida a contra corriente, con posterior oxidación forzada mediante difusores de aire inyectada por una soplante en el tanque receptor del liquido para su recirculación. Así se genera yeso (CaSO<sub>4</sub>. ½ H<sub>2</sub>O) recuperable y vendible, de los fangos en suspensión en las aguas residuales. Si se emplea CaCO<sub>3</sub>, la reacción oxidante que se genera es:



En la variante sin aireación forzada, inhibiendo la oxidación, se genera CaCO<sub>3</sub> + SO<sub>2</sub> = CaSO<sub>3</sub> + CO<sub>2</sub>, pero es mas difícil de controlar, mientras que si se usa la lechada de cal: Ca(OH)<sub>2</sub>, se obtiene CaSO<sub>3</sub> sin la liberación del CO<sub>2</sub>.

Aunque es el método mas generalizado y económico, dado el bajo precio de la caliza o cal, conlleva los siguientes costes: se precisa la eliminación de nieblas posteriores antes de la salida a chimenea, consume cierta potencia adicional de soplante para vencer la perdida de carga de la torre de absorción, la energía precisa para generar presión para pulverización del licor absorbente, el bombeo del liquido de recirculación, molinos para deshacer la piedra caliza, en suma entre el 1-2 % de la potencia generada en una central térmica.

- Vía húmeda con sosa, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, preferida en ocasiones por las industrias para evitar el manejo de fangos (en instalaciones a partir de 20 Mwe es mas costosa que la vía húmeda con cal, y a partir de 10 Mwe es mas costosa que las soluciones por vía seca), que genera Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tras la oxidación forzada, que pueden ser vertido al alcantarillado si no se superan los limites establecidos.

En ambos casos el mercurio presente en el gas se elimina parcialmente y pasa como HgCl<sub>2</sub> líquido.

- Vía seca (mas económico que el de la vía húmeda, aunque consume mas cal) mediante inyección de suspensión de cal pulverizada caliente sobre el

gas con tiempo de contacto corto 8-10 segundos antes del secado, a partir de lo cual la reacción es mas lenta por formarse un recubrimiento superficial de los productos de la reacción sobre la cal (hasta el 90% de eficacia para el  $\text{SO}_2$ ), genera dos terceras partes de partículas de  $\text{CaSO}_3$  y un tercio de  $\text{CaSO}_4$  y polvo de cenizas que son secadas completamente y recogidas junto con las cenizas volantes en un colector de polvo (no empleable cuando el contenido de azufre en el carbón es superior al 2%), que se recircula con una relación 2-4.

La transferencia de masa se ve favorecida por la presencia de cloruros y también la aglomeración de las partículas mas pequeñas en un precipitador electroestático de polvo, si bien tiene el efecto contrario en la vía húmeda. El subproducto generado es menos valorizable que el de vía húmeda, destinándose a vertedero.

- Vía seca de lecho circulante (eficacia de hasta el 98%, con carbón de hasta 4% de S). Tiene las mismas ventajas y menos mantenimiento que el de vía seca. Consiste en un conducto vertical con diseño especial para un buen contacto cal/gas de 3-5 segundos, que no precisa boquillas de pulverización, con una zona de secado instantáneo de la corriente de salida, que se conduce a un colector de polvo, del que se recoge y realimenta el sistema mezclado con la inyección de cal, purgando antes una vigésima parte para su valorización. Implica alta carga de sólidos en el colector de polvo, pero como lo que se recircula es la fracción gruesa, no aumenta necesariamente la carga de partículas finas.

En la recirculación se pueden incluir zeolitas al carbón activo para captar adicionalmente metales tóxicos y compuestos orgánicos.

La mayoría de las plantas de cogeneración de carbón e incineradoras de residuos sólidos emplean el sistema de vía seca con filtros de mangas. En las incineradoras la contaminación de la emisión puede consistir mas en HCl que en los  $\text{SO}_x$ . La forma de tratarla es la misma, pero el pH de trabajo puede llegar a 1.0 frente a 5-6 con el  $\text{SO}_x$  por vía húmeda y las temperaturas por vía seca o lecho circulante entre 180 a 230 °C, frente a 135 hasta 160 °C para combustión de carbón.

## 4.2. TRATAMIENTO PARA LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO, $\text{NO}_x$

Tienen un doble origen: por la oxidación del nitrógeno de constitución combustible y por la oxidación de nitrógeno del aire debido a las temperaturas que la combustión alcanza ( $\text{NO}_x$  térmico). Por lo tanto se puede actuar para reducirlo en primer termino mediante el control de la combustión: así p.ej. si se baja la temperatura de llama el  $\text{NO}_x$  térmico bajara. Si se divide en dos etapas la combustión, la primera en zona escasa de oxigeno para la liberación y recombinación del nitrógeno del combustible como  $\text{N}_2$ , y en la zona posterior se adiciona el resto de oxigeno para completar la combustión, al menos se elimina

el nitrógeno de constitución. Mediante este sistema, con quemadores de diseño especial para bajar los NOx, con recirculación del gas para provocar la desnitrificación y con la regulación del Oxígeno se consigue una eficacia del 50% en la eliminación de NOx.

El NO generado en la combustión es insoluble en agua y tiene escasa acidez. La oxidación por vía húmeda, la reacción es lenta en el aire, por lo que se requeriría de un oxidante que complicaría la depuración al generar nieblas de SO<sub>3</sub>. Todo ello agrava el problema de los NOx. Los procesos para su eliminación consisten en la reacción del NO con un reductor, como NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, etc.

- El método de reducción selectiva no catalítica selectiva (SCR), similar pero con catalizador (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y mas recientemente mezclas de CuO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que tienen efecto combinado para reducir también el SO<sub>2</sub> sin riesgo de envenenamiento del catalizador). Se introduce cierta pérdida de carga con el paso de los gases por el relleno soporte del catalizador. Funcionamiento optimo a 370-400 °C (eficacia de hasta el 90%). Pueden ser procesos tanto con lecho fijo como fluidizado e incluyen una etapa de regeneración del catalizador.

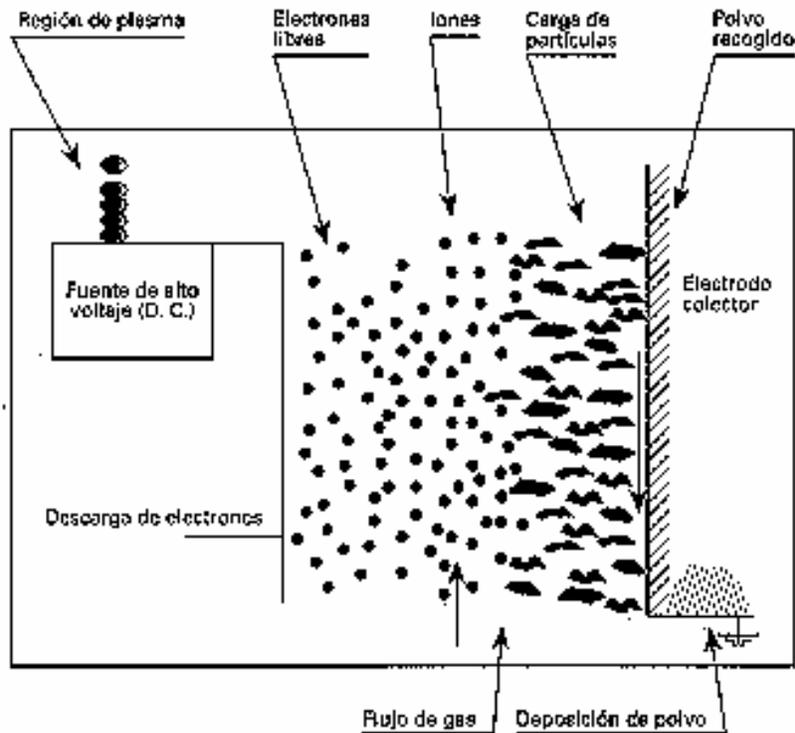
#### 4.3. TRATAMIENTO PARA PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN

En primer lugar se elimina generalmente el polvo mediante los distintos procesos físicos existentes, con especial facilidad por su rapidez de decantación las partículas entorno a 100 μmm o mayores: cámara de decantación, ciclón, etc.

El humo de combustión esta formado por partículas desde menos de 0.01 hasta 1 mm. Las nieblas tienen partículas entre 2 y 200 μmm, mayores ya forman la llovizna y la lluvia. Las partículas de humo están entre 0.001 y 0.1 mm y forman en el aire los núcleos de condensación de las nieblas, por lo que en determinados casos también contribuye a su eliminación el uso de los mismos procesos húmedos de los gases ya expuestos.

Para tamaños entorno a 1 μmm las suspensiones en el gas empiezan a ser estables. Para ello su eliminación se ha extendido el uso de precipitadores electroestáticos (principalmente entre las centrales térmicas). Los hay también de placas o de tubos mojados, para casos en que hay que evitar la adherencia del sólido. Se están realizando pruebas con aditivos para mejorar de carga y aglomeración de las partículas en las placas del precipitador: inyección de SO<sub>3</sub>, Na, agua, etc.

La figura muestra el principio de funcionamiento de un precipitador electrostático.

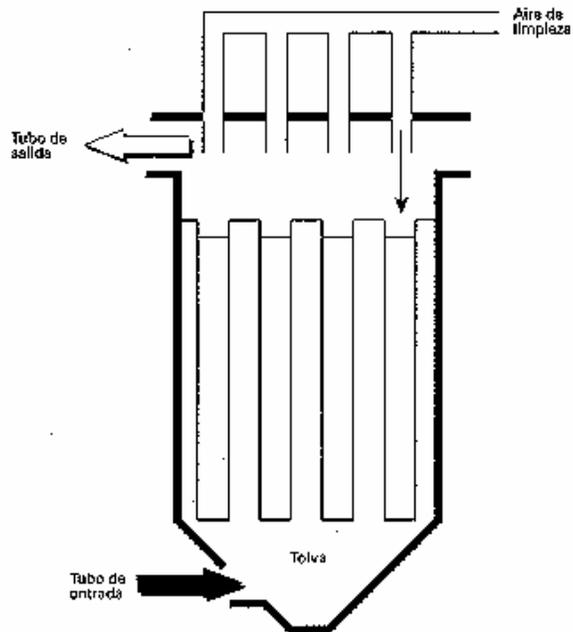


Los filtros de mangas son usados en todos los ámbitos con la limitación dada por el material de las mangas que sea capaz de soportar la corrosividad que pueda tener el polvo recogido y aparición en el de posibles focos de ignición y por el ataque de los gases así como su temperatura (hasta 180 °C).

Precisan como mantenimiento la inspección periódica y reparación de posibles fugas por aparición de poros o agujeros en las mangas. La pérdida de carga que suponen al paso del gas esta entorno a 8-15 mm c.a.

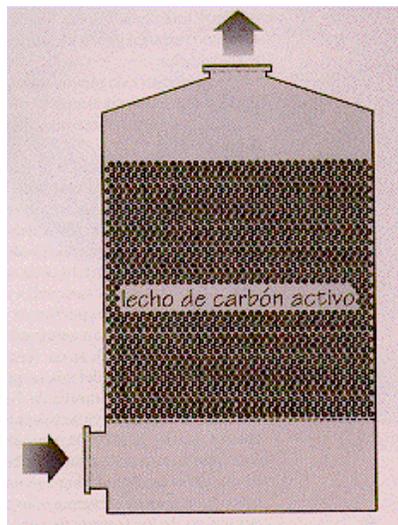
Existen nuevos desarrollos como cartuchos de mangas filtrantes autolimpiantes mediante vibración, desarrollos híbridos como la filtración de partículas cargadas a través de lecho de relleno, etc.

La figura muestra el principio de funcionamiento de un filtro de mangas.



#### 4.4. LA ADSORCIÓN

La adsorción es un fenómeno que tiene lugar en la superficie de un cuerpo (adsorbente) y consiste en separar dos fases: una sólida, y veces líquida, de una fluida. Es un proceso muy empleado en depuración de gases donde el elemento contaminante que se halla suspendido en el gas a depurar es retenido por el elemento adsorbente.



El fenómeno tiene lugar gracias a fuerzas débiles del tipo Van der Waals, de ahí la importancia de la superficie específica. El carbón activado es un material microporoso fabricado a partir de materia prima carbonácea, como la turba, madera o lignito. El proceso de activación desarrolla miríadas de poros de dimensiones casi

atómicas en el seno del material, lo que constituye una enorme superficie específica, del orden de 2.000 m<sup>2</sup> por gramo de carbón activado.

El dibujo ilustra el concepto de como las "láminas" moleculares se mantienen unidas mediante enlaces químicos. Cuando las impurezas son adsorbidas quedan atrapadas en el interior de esta estructura formando enlaces físicos fuertes con el carbón.

Los átomos de carbono existentes en la superficie interna del carbón ejercen una atracción (fuerzas de Van der Waals) sobre las moléculas de los líquidos y gases circundantes. Esta es la base del mecanismo que permite al carbón activado separar uno o más componentes de una mezcla.

#### 4.4.1. DIOXINAS, MERCURIO

Por sus propiedades semivolátiles las dioxinas suelen ser adsorbidas por las partículas de cenizas volantes, estando presentes en las partículas sólidas emitidas al aire. Ya se ha comentado la disminución en su generación mediante modificación de los parámetros de combustión.

Su eliminación junto con el mercurio puede hacerse mediante adsorción sobre carbón activo inyectado junto con cal en el proceso de vía seca o bien instalando un modulo de lecho de carbón en serie con el depurador de vía húmeda, pero con un alto coste. Recientes pruebas con cenizas volantes que contienen restos de carbón inquemado, aun obtenido en condiciones bien determinadas, han logrado reducciones del 98% en Hg partiendo de concentraciones previas en la emisión entre 0.3 y 40 ug/Nm<sup>3</sup>.

#### 4.5. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES, COV's

Los Compuestos Volátiles Orgánicos son un conjunto heterogéneo de compuestos que tienen de común la propiedad de ser volátiles, vapores o gases, a temperatura ambiente. Operaciones o grupos generadores de COV's son el calentamiento de sustancias orgánicas o los disolventes.

Los disolventes son sustancias orgánicas que tienen capacidad de disolver otros productos, por tanto cuando han sido usados contienen una notable carga contaminante, además de la propia naturaleza del disolvente.

Los disolventes más comunes son:

- hidrocarburos (benceno, hexano, tolueno, xileno,...)
- alcoholes (metanol, etanol, isopropanol,...)
- cetonas (acetona, metil etil cetona (MEK),...)
- halogenados (cloruro de metilo, 1,1,1, -tricloroetano, tricloroetileno, percloroetileno, tetracloruro de carbono, CFC's,...)

Los tratamientos son los siguientes:

- Incineración térmica (para altas concentraciones superiores  $5\text{g/Nm}^3$ )
- Incineración catalítica, para menores concentraciones.
- Adsorción (carbón activo, etc.), para bajas concentraciones superiores, con o sin regeneración de disolventes.
- Lavado de gases, para altas concentraciones superiores.
- Filtros percoladores, por tratamiento biológico para eliminación de olores (bajas concentraciones).

## 5. APLICACIÓN A INCINERADORAS

La depuración de gases en este tipo de incineradoras es complejo, puesto que la naturaleza de los residuos entrantes también lo es. Una configuración estándar puede ser:

- Reactor de inyección de lechada.
- Ciclón para una primera separación.
- Scrubber para la retención de los gases ácidos.

Las modernas incineradoras de residuos industriales están dotadas de inyección de carbón activo y filtros con catalizadores para la eliminación, casi total de las dioxinas y furanos.

La emisión de este tipo de plantas, las de residuos peligrosos. Esta regulada por la directiva 2000/76 CE de 4 de Diciembre de 2000.

## 6. OTROS SISTEMAS DE DEPURACIÓN

### 6.1. TECNOLOGÍA PIROLÍTICA

En la industria química, petroquímica y farmacéutica se generan una serie de compuestos cuya depuración es conveniente realizarla por vía térmica. Para ello se usa un reactor de pirólisis que transforma el residuo, normalmente líquido o fango en gas de síntesis.

En este sentido la vía térmica se usa para desodorizar las corrientes gaseosas que contienen productos odoríficos. La combustión se realiza a 850 °C.

### 6.2. CONVERSIÓN CATALÍTICA

Muchos motores, sobretodo si su eficacia es elevada generan CO, NO<sub>x</sub> e hidrocarburos HC. Uno de los sistemas mas eficientes es la "Reducción catalítica no selectiva" ((NSCR). Las reacciones típicas son:

- $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
- $\text{HC} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{NO}_x + \text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{N}_2$
- $\text{NO}_x + \text{H}_2 \rightarrow \text{HO}_2 + \text{N}_2$

Los óxidos metálicos, que son los catalizadores, están depositados sobre el soporte que pueden trabajar a temperaturas superiores a los 700 °C (si bien gracias precisamente al proceso catalítico basta con 300 °C).

### 6.3. ADSORCIÓN POR CARBÓN ACTIVO

En el tratamiento de gases el carbón activo suele inyectarse antes del filtro de mangas para adsorber algún resto de metal pesado (sobretodo el Hg) y las dioxinas y furanos.

La parte activa lo constituyen los poros con diámetros de 5 a 30 µm.. La micrografía muestra el macroporo (no activo) y el microporo (útil) de una misma muestra de carbón activo.

Para el correcto funcionamiento, partiendo de la curva de distribución granulométrica indicada por el fabricante, deben observarse las siguientes reglas:

- El tiempo de contacto del carbón activo con el gas ha de ser como mínimo de 2 segundos. Y la inyección continua.
- Para una correcta reacción la temperatura de los gases debe estar comprendida entre 100 y 170 °C.
- El pH del medio ha de ser ligeramente básico.

En el caso de un RSU estándar una dosificación puede ser de 1 kg de carbón activo por tonelada de RSU, en presencia de unos 25-30 kg de bicarbonato sódico. Esta dosificación permite la reducción de dioxinas y furanos a los niveles estándares de emisión.

#### 6.4. LA ADSORCIÓN DE LOS OLORES

Las sustancias que emiten olores pueden provocar una variedad de sensaciones: agradables o revulsivas.

El sistema más simple de eliminar es el filtro de carbón activo. La adsorción se produce con un amplio espectro de sustancias que interaccionan con la superficie del carbón activo hasta formar una capa monomolecular. Una vez la superficie está llena, el filtro queda saturado y pierde su función.

La adsorción no se produce en moléculas de peso molecular bajo, como el  $\text{CNH}$ . Los costes de funcionamiento son reducidos excepto cuando hay que reponer la carga.

En el caso de que el gas a depurar se halle a altas temperaturas, se puede usar el filtro catalítico. En esencia es un soporte cerámico poroso en el que se ha depositado el catalizador. El principio de funcionamiento es la oxidación térmica a baja temperatura. El catalizador es caro y puede envenenarse.

La tabla siguiente expone los principales compuestos que provocan olores.

INDUSTRIA GENERADORA	SUSTANCIA OLOROSA
Estaciones Depuradoras	$\text{H}_2\text{S}$ , $\text{NH}_3$ , aminas, mercaptanos.
Estaciones de bombeo	$\text{H}_2\text{S}$ , $\text{NH}_3$ , aminas, mercaptanos
Redes de alcantarillado	$\text{H}_2\text{S}$ , $\text{NH}_3$ , aminas, mercaptanos
Fábricas de pienso, sebo,..	COV's, $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{NH}_3$ , aminas, mercaptanos
Industria del plástico	Hidrocarburos, Isocianatos, nitrilos, alcoholes, esterés, aminas, fenoles,.
Industria de pinturas	Sustancias halogenadas, Hidrocarburos, Isocianatos, nitrilos, alcoholes, esterés, aminas,
Industria de la madera	Formaldehído, fenoles, amoníaco

##### 6.4.1. APLICACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES A LOS OLORES

Por lo general el impacto de las sustancias que desprenden olores es, simplemente, molesto. Así compuestos como el dimetil-amina, sustancia maloliente procedente de la industria de la harina de pescado, tiene un umbral de percepción de 0,047 ppm., en cambio otras como el sulfhídrico, además de ser malolientes son tóxicas.

La tabla siguiente indica la presencia de alguno de estos contaminantes y el ATC (Absolute Threshold Concentration), o umbral porcentual en ppm.

Sustancia	ATC ppm	Lixiviado vertedero	Fab. harina pescado	EDAR's	Excrementos animales	Secado pinturas
Sulfuro de hidrógeno	0,21	X	X	X	X	X
Acetaldeido	0,21	X	X	X	X	X
Butilaldeido					X	X
Benceno	4,68		X	X	X	X
Tolueno	2,14	X	X	X	X	X
Fenol	0,047	X	X	X	X	X
Ácido acético	1,0	X	X		X	
Mercaptanos (metil)	0,021	X	X	X	X	
Metilamina	0,021	X	X	X	X	
Amoniaco	46,8	X		X	X	

Para la neutralización de los olores se usa, cada vez mas, la nebulización (neumática o hidráulica) de "aceites esenciales" constituidos por componentes naturales (extractos de aceites vegetales), que son inocuos. Las gotas han de tener un tamaño entre 2 y 5  $\mu\text{m}$  y ser proyectadas a unos 6 m/s.

El sistema de funcionamiento no es químico, sino que la partícula olorosa es adsorbida por el principio activo del aceite, formando macromoléculas completamente exentas de olor de manera permanente.