

**Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”**

**Seminario**

**LA GESTION INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS**

**Asociacion para el Estudio de los Residuos Sólidos (ARS, Buenos Aires, AR)  
International Solid Waste Association (ISWA, Copenhagen, NL)**

**5-8 Junio 2000  
Alvear Palace Hotel  
Salón Versailles  
Av. Alvear 1891  
Buenos Aires, Argentina**

**FABIO BONATO**

**TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE  
RESIDUOS INDUSTRIALES POR  
TERMODESTRUCCION**

**Buenos Aires (AR)**

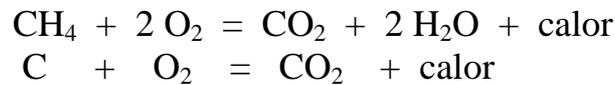
**2000**

## COMBUSTIÓN.

- **Definición**

La combustión es una reacción química de oxidación entre un combustible y un comburente (por ejemplo el oxígeno contenido en el aire) con producción de energía suficiente como para mantener la reacción misma, es decir que sea autosuficiente. Por lo tanto la combustión es una descomposición térmica.

Una ejemplo de una reacción de combustión es la del metano o el Carbono:

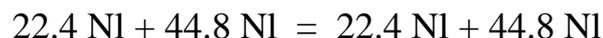
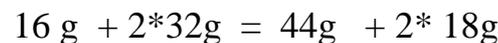
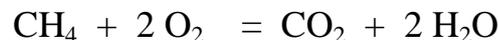


En la práctica la combustión ocurre a través de una serie de mecanismos complejos, con fases intermedias como los radicales libres, y además las reacciones ocurren con fluidos en movimiento y con fuertes variaciones de temperatura, es decir con transferencia de masa y energía.

Como la combustión es una reacción química, puede suceder que sé de en forma estequiométrica o no. Por lo tanto existe un Oxígeno teórico (aire teórico estequiométrico) y uno práctico.

El aire teórico de combustión o aire estequiométrico (At), es aquel necesario para que la reacción de combustión se desarrolle completamente, según su reacción estequiométrica.

Los humos teóricos o gases de combustión (Ht), son la suma de todos los gases de combustión formados.



Nota. NI: Litro normal (medido a 760 mmHg y 0 °C = 273 °K )

El aire esta compuesto esencialmente por 21 % O<sub>2</sub> y 79 % N<sub>2</sub> en volumen.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Por lo tanto 1 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> necesita de 2 m<sup>3</sup> de Oxígeno o sea  $2 \cdot 100/21$  m<sup>3</sup> de Aire, es decir 9.5 m<sup>3</sup> de Aire teórico. Los humos húmedos teóricos serán 10.5 m<sup>3</sup> totales.

Existen fórmulas simplificadas que pueden ser aplicadas con buena aproximación a grupos de combustibles de la misma especie, conociendo su poder calorífico, para la determinación del aire teórico de combustión At (comburente) y de los humos teóricos Ht.

◆ Combustibles sólidos:

$$At = (1,01 \text{ P.c.i.} / 1000 + 0,5) \text{ en Nmc / kg.}$$

$$Ht = (0,89 \text{ P.c.i.} / 1000 + 1,65) \text{ en Nmc / kg.}$$

◆ Combustibles líquidos:

$$At = (0,85 \text{ P.c.i.} / 1000 + 2) \text{ en Nmc / kg.}$$

$$Ht = (1,11 \text{ P.c.i.} / 1000) \text{ en Nmc / kg.}$$

◆ Combustibles gaseosos:

Gases pobres:

$$At = (0,875 \text{ P.c.i.} / 1000) \text{ en Nmc / Nmc}$$

$$Ht = (0,725 \text{ P.c.i.} / 1000 + 1) \text{ en Nmc / Nmc}$$

Gases ricos:

$$At = (1,09 \text{ P.c.i.} / 1000 - 0,25) \text{ en Nmc / Nmc}$$

$$Ht = (1,14 \text{ P.c.i.} / 1000 + 0,25) \text{ en Nmc / Nmc}$$

• *Aire práctico de Combustión:*

El aire real, para todos los combustibles, depende del exceso de aire utilizado para lograr en la práctica la combustión completa.

El exceso de aire se define de la siguiente forma:

$$E = Ae - At \quad E \% = [ ( Ae - At ) / At ] * 100$$

E = Exceso de aire

E% = Exceso porcentual de aire

Ae = aire efectivo de combustión (práctico)

At = aire teórico de combustión

$$Ae = At * e$$

$$e = 1 + E / 100$$

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Hay otra forma de conocer el exceso de aire que se posee una combustión, y se logra conociendo las cantidades de Dióxido de Carbono y Monóxido de Carbono que se hallan presentes en los humos luego de la combustión, respecto de los teóricos máximos que se deberían encontrar, es decir el CO<sub>2</sub> máximo que se forma si la combustión se realiza en forma estequiométrica.

$$e = \text{CO}_2 \text{ max.} / \text{CO}_2$$

$$e = 1 / ( 1 - 0.048 \text{ O}_2 + 0.017 \text{ CO} ) \text{ aproximada para combustibles gaseosos.}$$

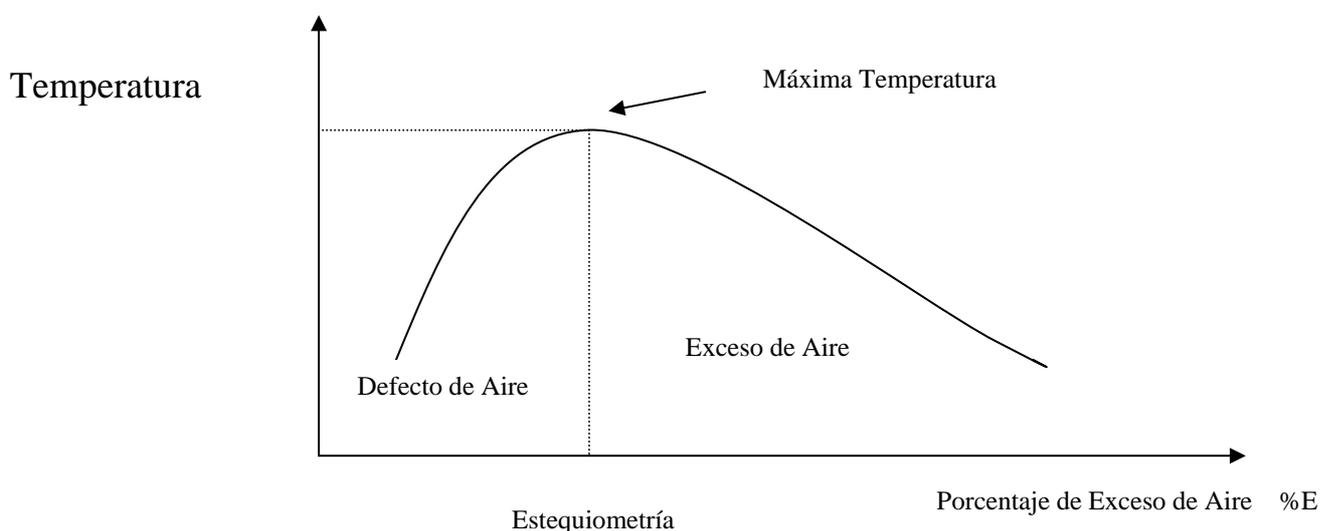
e: coeficiente de exceso de aire.

CO<sub>2</sub> : % de Dióxido de Carbono

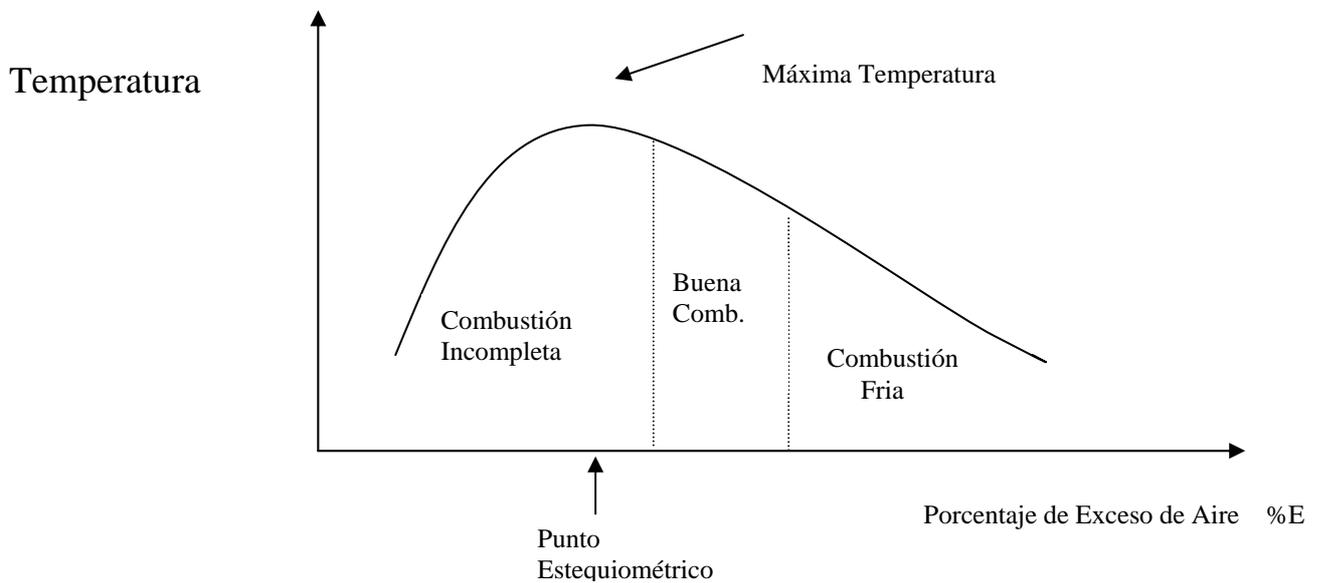
CO: % de Monóxido de Carbono

O<sub>2</sub> : % de Oxígeno

### *Curva Temperatura-Exceso de aire*



*Curva Combustión-Exceso de aire*



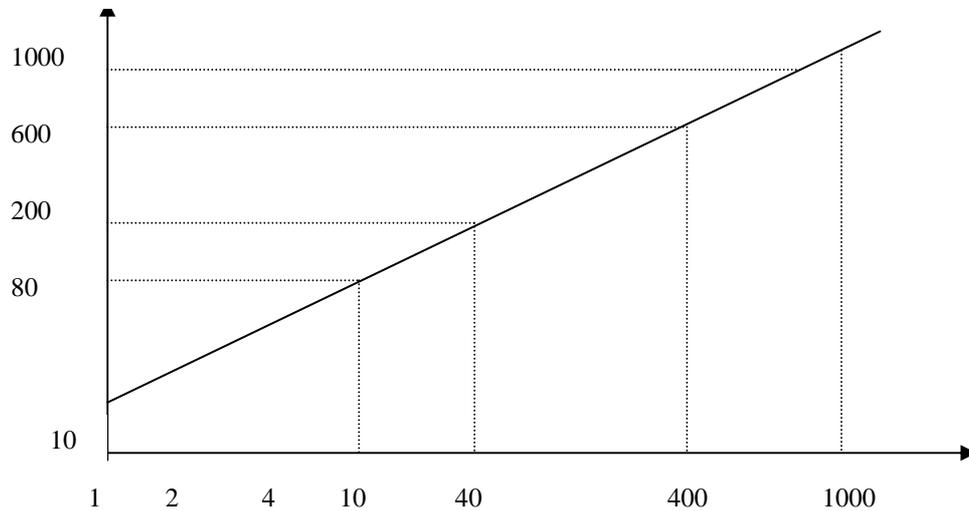
Como se puede observar de la curva Temperatura - Exceso de Aire, para la cantidad estequiométrica de Oxígeno, se corresponde la máxima temperatura, ya que se logra una combustión total y no existe exceso de aire que produzca enfriamiento.

En la práctica y como la combustión es un proceso combinado y complejo, y debido a los gradientes de temperatura, a los procesos difusivos y cinéticos y a los problemas de contacto, es necesario trabajar con un pequeño exceso de aire para lograr una buena combustión. Debe tenerse en cuenta que a medida que el exceso de aire aumenta, la temperatura disminuye, llegando a obtener lo que se denomina una combustión fría, que resulta ser una combustión antieconómicamente, pues se consume una alta cantidad de combustible.

Debido a que la combustión es un proceso de superficie, en los combustibles sólidos y líquidos es sumamente importante la cantidad de superficie expuesta al proceso. Por ello es necesario, a fin de acelerar el proceso de combustión triturar los sólidos y atomizar los líquidos de manera adecuada, para lograr así un mejor contacto Oxígeno-Combustible y por ende un aumento en la velocidad de combustión.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Diámetro de Gota (um)



Tiempo de Quemado (ms)

Luego dada una determinada temperatura, y un contacto lo suficientemente importante, la combustión ocurre en un tiempo dado que resulta ser inversamente proporcional a la temperatura, y en general para tamaños de partículas pequeños se trata de pocos segundos.

## INCINERACIÓN

- **Definición**

Es una combustión controlada, con emisión de calor.

La incineración aplicada a los residuos, se lleva a cabo en plantas industriales especialmente diseñadas y los convierte, en gases y cenizas (sólidas / líquidas).

Se debe tener en cuenta, que a la combustión, que es de por sí un proceso complejo, se le debe sumar el hecho que en la incineración aplicada a residuos este es precisamente el combustible, y que se trata de una mezcla heterogénea de sustancias con composiciones químicas diversas.

El proceso de incineración, viene utilizándose desde hace siglos (sobre todo en épocas de epidemias), pero recién en la segunda mitad de este siglo se emplean equipos tecnológicamente diseñados para cumplir con un mínimo de parámetros impuestos por las distintas legislaciones.

- **Incineración residuos.**

El proceso de incineración es aplicable a residuos tanto sólidos, líquidos, semisólidos como gaseosos, y a residuos tanto urbanos, industriales como patológicos.

Según la Ley de Residuos Peligrosos N° 24.051 y su Decreto Reglamentario 831/93, el tratamiento por incineración se puede aplicar a cualquier tipo de residuo excepto para aquellos que posean característica peligrosa explosiva, sin previo tratamiento.

H1	<u>Explosivos:</u> Por sustancia explosiva o desecho se entiende toda sustancia o desecho sólido o líquido (o mezcla de sustancias o desechos) que por sí misma es capaz, mediante reacción química, de emitir un gas a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la zona circundante.-
----	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

En general se aplica a residuos que poseen un poder calorífico medio y alto, o sea tengan una matriz fundamentalmente orgánica y no más del 60-70% de agua, para que resulte ser un proceso económicamente viable.

Es decir para residuos que se encuentren aproximadamente dentro de los siguientes límites:

Contenido de compuestos Inorgánicos:	< 15 % (cenizas)
Contenido de agua:	< 65 %
Contenido de compuestos orgánicos	> 30 % (Poder calorífico)

Existen numerosos casos de residuos que, no obstante no ser económicamente viable aplicar el proceso de incineración, se utiliza por ser el único ambiental y técnicamente aplicable, como por ejemplo el caso de tierras o barros contaminados con pequeñas cantidades de compuestos orgánicos sumamente tóxicos o no biodegradables o separables por otros métodos físicos o químicos. En estos casos el contenido de compuestos orgánicos muchas veces no supera el 1% p/p, y sin embargo se tratan mediante el proceso de incineración.

Los gases que se forman durante el proceso de incineración, antes de ser emitidos a la atmósfera, deben ser tratados y controlados de manera tal de eliminar los vapores ácidos, el material particulado y todas aquellas sustancias contaminantes que puedan contener.

Las cenizas (tanto las escorias como las volantes), que se forman en el proceso de incineración, deben analizarse para conocer el grado de toxicidad y determinar si es necesario o no un tratamiento posterior para poder ser utilizadas o dispuestas en rellenos de seguridad.

En general no se produce una eliminación total de los residuos, sino que se reduce el volumen de los mismos, y este depende del contenido de materiales inertes (cenizas). De todos modos la reducción alcanza aproximadamente un 90 % en peso y un 95% en volumen.

La Incineración, luego del sistema por disposición en la tierra ( Relleno Sanitario), es el método más utilizado en el mundo para el tratamiento de los residuos urbanos.

Es la tecnología de tratamiento que más se ha promovido en estos últimos años en Estados Unidos y la Unión Europea.

## **Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”**

Para tener una idea del grado de uso de esta tecnología en el mundo, se puede decir que aproximadamente el 15 % de los residuos urbanos de todos los países de la CEE se tratan por este medio.

En la CEE funcionaban en 1994 aproximadamente unas 600 Plantas de Incineración solo para residuos urbanos.

Esta tecnología es la que más se ha impulsado en esta última década en la CEE, por ejemplo en 1989 se incineraban un total de 246.350 ton/año de residuos peligroso en toda España y en solo 3 años, en 1992 se incremento un 17 % incinerándose unas 338.100 ton/año, casi 1.000.000 Kg/día, de un total que asciende los 5.000.000 Kg/día de producción.

La cantidad de residuos urbanos tratados por incineración en toda España en 1991 fue 635.000 ton, contando para ello con 16 plantas incineradoras de residuos urbanos y para 1997 aumentar en unos 200.000 toneladas más por año.

En Italia en 1994 se han tratado por incineración 1.900.000 toneladas de residuos urbanos, contando para ello con 52 plantas.

Japón posee cerca de 2000 plantas incineradoras, con un 75 % de sus residuos tratados por esta tecnología.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Los Residuos Industriales, que habitualmente se incineran en Argentina son:

Y) 1	Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, controles, centros médicos y clínicas para la salud humana y animal (Legislado en la Provincia de Buenos Aires por la Ley 11.347).-
Y) 2	Desechos resultantes de la producción y preparación de los productos farmacéuticos.-
Y) 3	Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos para la salud humana y animal.-
Y) 4	Desechos resultantes de la producción, la preparación y utilización de biocidas y productos fitosanitarios.-
Y) 6	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos.-
Y) 8	Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinadas.
Y) 9	Mezclas y emulsiones de desecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.-
Y) 11	Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico.-
Y) 12	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices.-
Y) 13	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos.-
Y) 16	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos.-
Y) 17	Desechos resultantes del tratamiento de superficies de metales y plásticos.-

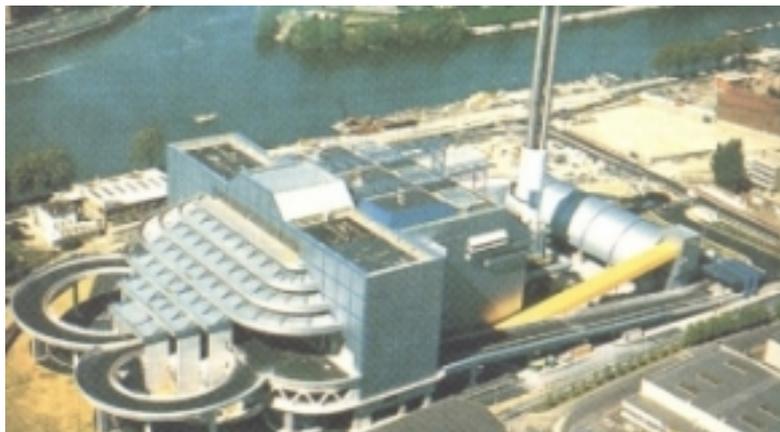
## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

### • **Planta incineradora:**

La incineración de residuos se lleva a cabo en plantas industriales, que cuentan mínimamente con los siguientes sectores:

- Depósito de residuos (sólidos, líquidos, etc)
- Laboratorio
- Sala de control y comandos.
- Sistema de alimentación (trituradoras, cintas transportadores, pistones, sinfines, etc.)
- Sistema de termodestrucción (horno, circuito de enfriamiento, tratamiento de particulado, gases y vapores, quemadores, ventiladores, chimenea)
- Depósito de escorias, cenizas volantes y/o barros.
- Sistemas de tratamiento de las escorias, cenizas y/o barros.
- Sistemas de tratamiento de los Efluentes líquidos.
- Sistema de monitoreo de los efluentes gaseosos y líquidos.
- Sistemas de gestión de la energía (eléctrica, gas, vapor, agua caliente, etc.)
- Servicios auxiliares (mantenimiento, seguridad, oficinas, etc.)

Sistemas de medición y control de los parámetros son sumamente importantes para lograr una correcta conducción del proceso.



Planta incineradora de Saint-Ouen , Francia

Producción: 660.000.Ton/año de residuos domiciliarios preseleccionados

Vapor producido: 1.160.000 Ton/año.

Electricidad producida: 23.000.000. MW-h

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Planta incineradora de residuos urbanos en Europa.



- **Componentes del sistema de termodestrucción.**

Los sistemas de termodestrucción, independientemente del tipo constructivo cuentan con:

- Cámara de combustión (primaria), con sus sistemas de alimentación.
- Cámara de post - combustión (secundaria).
- Sistema de recuperación de energía (no indispensable en Argentina).
- Tratamiento del particulado de los gases.
- Tratamiento de los gases y vapores.
- Chimenea de salida y medición (análisis) para el control de los gases.

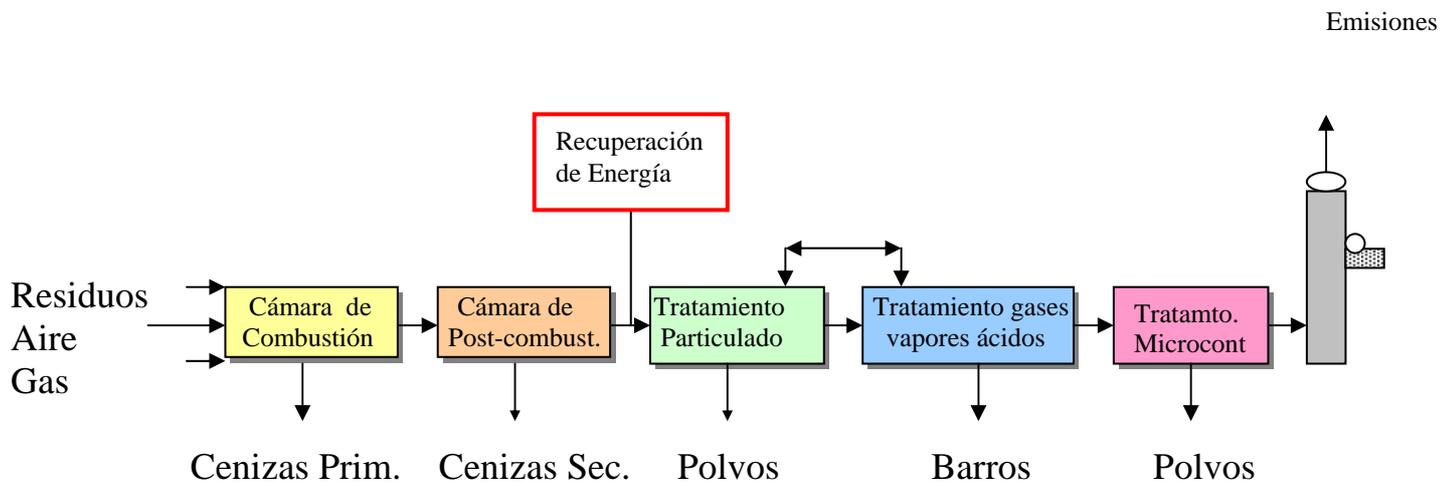
Existen sistemas que cuentan sólo con las dos cámaras (primaria y secundaria), sin tratamientos posteriores, los cuales solo se podrán aplicar a aquellos residuos donde se garantice la ausencia de contaminantes en los gases, o que de ser así se encuentren en cantidades menores a los límites impuestos legalmente.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

La combustión propiamente dicha se realiza dentro de hornos (cámaras), que son estructuras de hierro cerradas, revestidas interiormente de materiales aislantes y refractarios para poder soportar las altas temperaturas que reinan en su interior.

Por exigencia de Ley todos los sistemas de termodestrucción de residuos, deben contar con dos cámaras de combustión, una cámara primaria o de combustión y una cámara secundaria o de post-combustión.

- **Lay Out de un sistema de termodestrucción de residuo.**



- **Clasificación de los sistemas de incineración, según la combustión:**

Los sistemas de tratamientos térmicos se pueden clasificar basándose en los requisitos de oxígeno, que se presentan en la primer cámara, ya que la segunda cámara debe funcionar siempre con un exceso de aire, exceso que por otra parte se encuentra legislado:

- Pirólisis (ausencia completa de oxígeno).
- Gasificación (subestequiometría de oxígeno).
- Combustión total (estequiometría de oxígeno).

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

### PIROLISIS

Significa rotura por calor, usa una fuente externa de calor para producir las reacciones endotérmicas prolíficas en un ambiente ausente de oxígeno (a veces se denomina destilación destructiva).

Los productos de la pirólisis comprenden:

- ◆ Gases: principalmente  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ , y otros.
- ◆ Líquidos: alquitranes o aceites (acetona, ácido acético, metanol, hidrocarburos oxigenados complejos).
- ◆ Sólidos: coque (carbono puro), material inerte.

La proporción de cada fracción varía con la temperatura de pirólisis, y aproximadamente es:

gases 10 al 20 %; alquitranes 60 %; coque 20 al 30 %.

El poder calorífico del alquitrán obtenido es de aproximadamente 5000 kcal / kg. y el de los gases de 6000 kcal /  $m^3$ .

La composición de los gases también depende de la temperatura de pirólisis, aproximadamente es:  $H_2$ : 5 - 30 %;  $CH_4$ : 10 %;  $CO$ : 30 - 35 %;  $CO_2$ : 20 - 45 %;  $C_2H_4$ : 1 %;  $C_2H_6$ : 1 - 3 %.

No existen muchas plantas en el mundo que utilicen este tipo de tecnología para el tratamiento de los residuos, ya que presenta algunos inconvenientes económicos, debido a los precios del mercado de combustibles.

### GASIFICACION

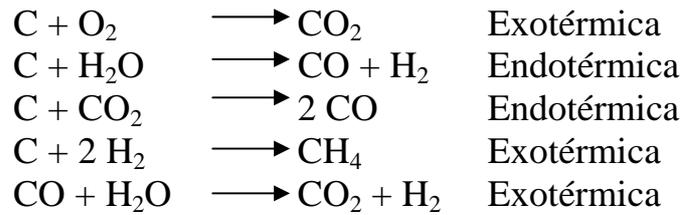
Este proceso se realiza con presencia de oxígeno pero en cantidades subestequiométricas (en defecto), por lo tanto es un sistema de combustión parcial del residuo y por ello es parcialmente autosostenido en función del calor generado.

El proceso produce gases combustibles que se pueden utilizar en motores, turbinas, calderas con un exceso de aire y un sólido o líquido de bajo poder calórico.

Para el caso específico del tratamiento de los residuos, los gases se envían a la segunda cámara (cámara de post-combustión).

Las reacciones principales son:

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”



La composición aproximada de los gases en este proceso es:  $CO_2$  10 %;  $CO$  20 %;  $H_2$  15 %;  $CH_4$  2 %; resto  $N_2$ .

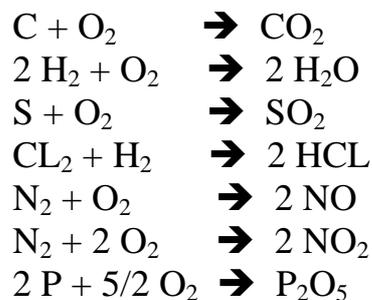
El poder calorífico de los gases es de  $2500 \text{ kcal} / \text{m}^3$ .

El poder calorífico del líquido es de  $1300 \text{ kcal} / \text{m}^3$ .

### COMBUSTION TOTAL

Este proceso utiliza la cantidad estequiométrica de oxígeno, aunque en la práctica dada la naturaleza heterogénea de los residuos, es necesaria una cantidad de oxígeno en exceso para asegurar así una alta turbulencia, la mezcla completa de los gases de combustión y poder llegar a todas las partes del residuo, para lograr una combustión completa.

Las distintas reacciones que ocurren se pueden ejemplificar, según:



Este tipo de incineración es el más ampliamente utilizado, para residuos industriales y urbanos.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Los gases producidos a la **salida de la cámara primaria** en general tienen la siguiente composición: **(para un residuo tipo urbano)**

CO <sub>2</sub>	5 - 12 % v / v
H <sub>2</sub> O	5 - 15 % v / v
O <sub>2</sub>	7 - 16 % v / v
N <sub>2</sub>	65 - 85 % v / v
CO	10 - 2000 mg / Nm <sup>3</sup>
HCl	200 - 2000 mg / Nm <sup>3</sup>
HF	2 - 30 mg / Nm <sup>3</sup>
SO <sub>x</sub>	20 - 400 mg / Nm <sup>3</sup>
Particulado	2 - 10 g / Nm <sup>3</sup>

Metales pesados:

Pb, Cd, Hg, Cr, Zn, Cu, Ni, As.                      10 - 150 mg / Nm<sup>3</sup>

El caudal volumétrico de los gases formados, es función del poder calórico del residuo, por ejemplo: para un residuo tipo urbano se encuentra comprendido entre 4 y 8 Nm<sup>3</sup> de gases por kg de residuo incinerado.

- **Descripción de los componentes básicos de un sistema de termodestrucción:**

**a) Cámara de combustión**

a.1) Incineradores por gasificación.

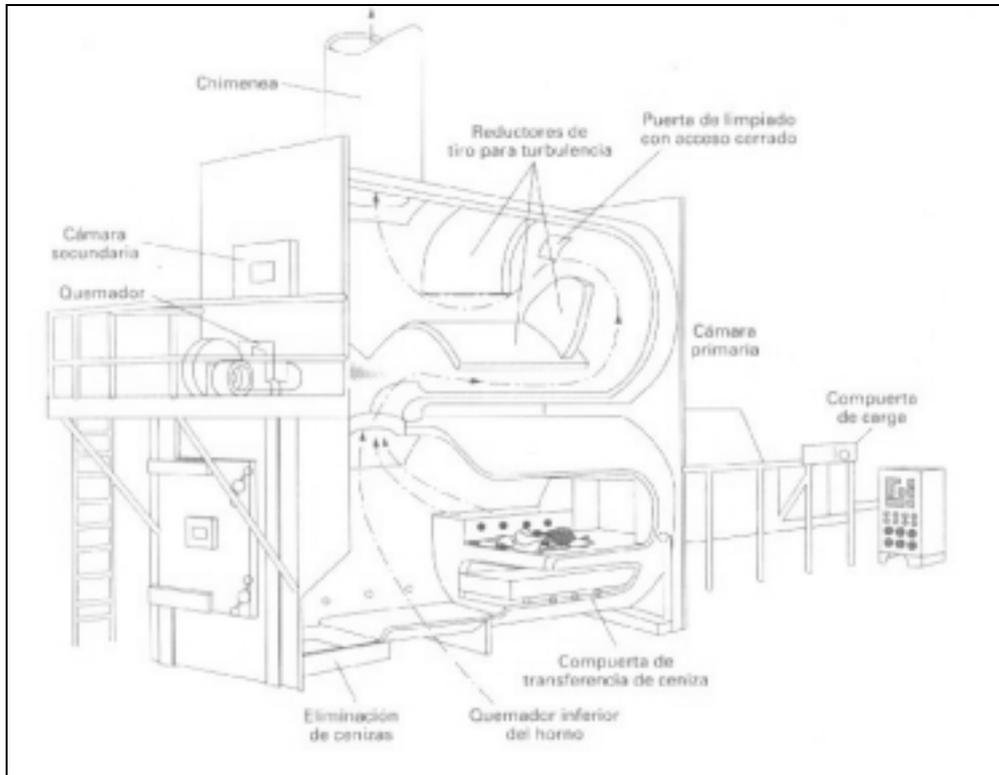
El más ampliamente difundido es el de lecho horizontal fijo, conocido también como incinerador con aire restringido o incinerador pirolítico.

El residuo que ingresa a la cámara generalmente en forma intermitente, se gasifica a temperaturas de 650°C aproximadamente, luego los gases son conducidos a la segunda cámara donde se completa la combustión con un exceso de aire, a temperaturas de 950 – 1200 °C:

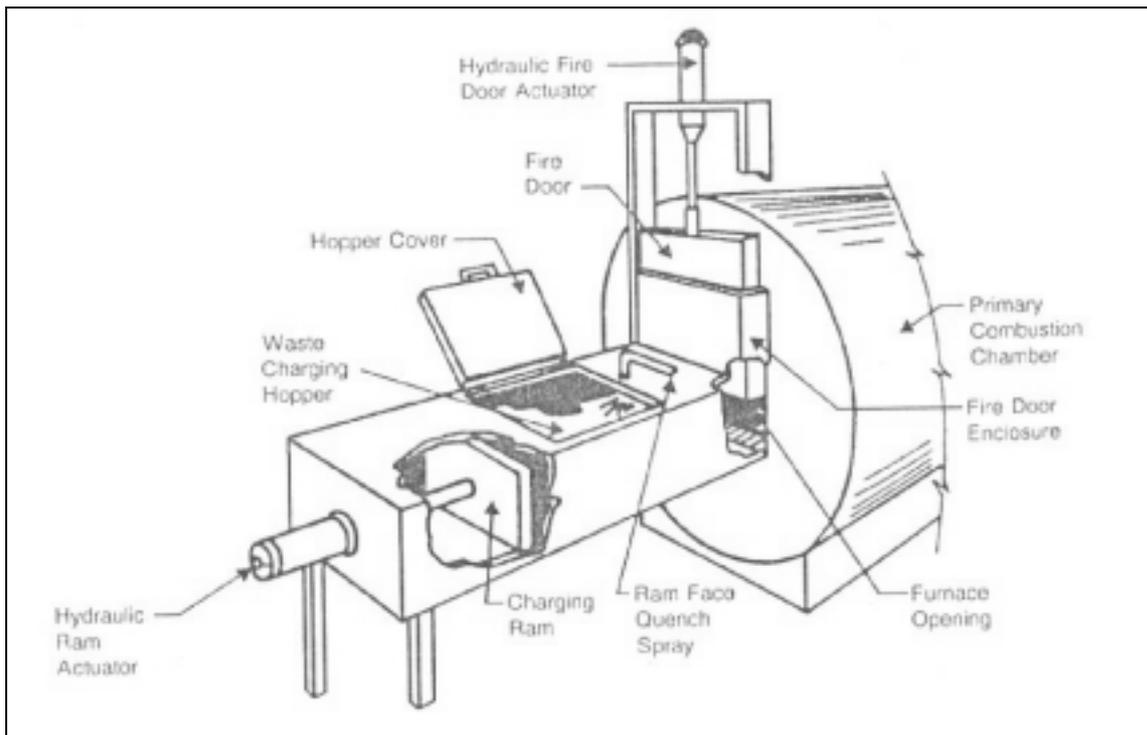
Ventajas y desventajas

- ⊗ Los sistemas gasificadores funcionan en general en forma Batch.
- ⊗ El residuo ingresa en forma discontinua.
- ⊗ Las potencialidades en general son pequeñas, de 200 kg / h.
- ⊗ El proceso de gasificación es un proceso lento, que demanda entre 8 y 15 hs.
- ⊗ Los equipos son relativamente pequeños (hay menor cantidad de gases), pues la primera cámara trabaja en defecto de oxígeno. Esto resulta en equipos generalmente más económicos.
- ⊗ Se produce menor arrastre de material particulado, por ser un proceso más lento.

*Croquis de un Gasificador*



*Sistema de carga típico de un Gasificador*



## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

### a.2) Incineradores con exceso de aire controlado

Aquí se produce la combustión, casi total (en general se logra el 99,99 % de eficiencia medido en las cenizas y un 95 % a 98 % de eficiencia respecto de los gases, medidos como contenido Carbono no oxidado respecto del residuo que ingresa). Las reacciones que ocurren son todas de oxidación total, dejando un sólido / líquido incombustible (ceniza) y una fase gaseosa que es conducida a la segunda cámara.

Las cenizas son descargadas en general al final o por debajo de esta cámara. Si la cámara se ha dimensionado correctamente, un 50 a 100 % de exceso de aire (E) es suficiente para que este sistema funcione correctamente.

Los parámetros de funcionamiento son:

★ Temperaturas	800° - 1000° C
★ Tiempo de residencia de las cenizas	1 - 5 horas
★ Oxígeno en exceso	3 - 12 % v / v

Además posee:

- ☼ Quemadores con combustible auxiliar para garantizar dichas temperaturas.
- ☼ Ventiladores para proporcionar el exceso de oxígeno.
- ☼ Las paredes se encuentran revestidas con material aislante y refractarios especiales.

En todos ellos es importante el sistema de alimentación del residuo, el cual varía dependiendo del estado de agregación de los residuos, la viscosidad, la inflamabilidad y el tipo de carga discontinua o continua (pistones, tornillos sin fin, cintas transportadoras, manual, tolvas con doble compuerta, lanzas sin fluido secundario, lanzas con aire, lanza con vapor, etc.

Todos ellos deben garantizar el ingreso del residuo en forma segura y sin ingreso importante de aire falso innecesario.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

### Ventajas y desventajas

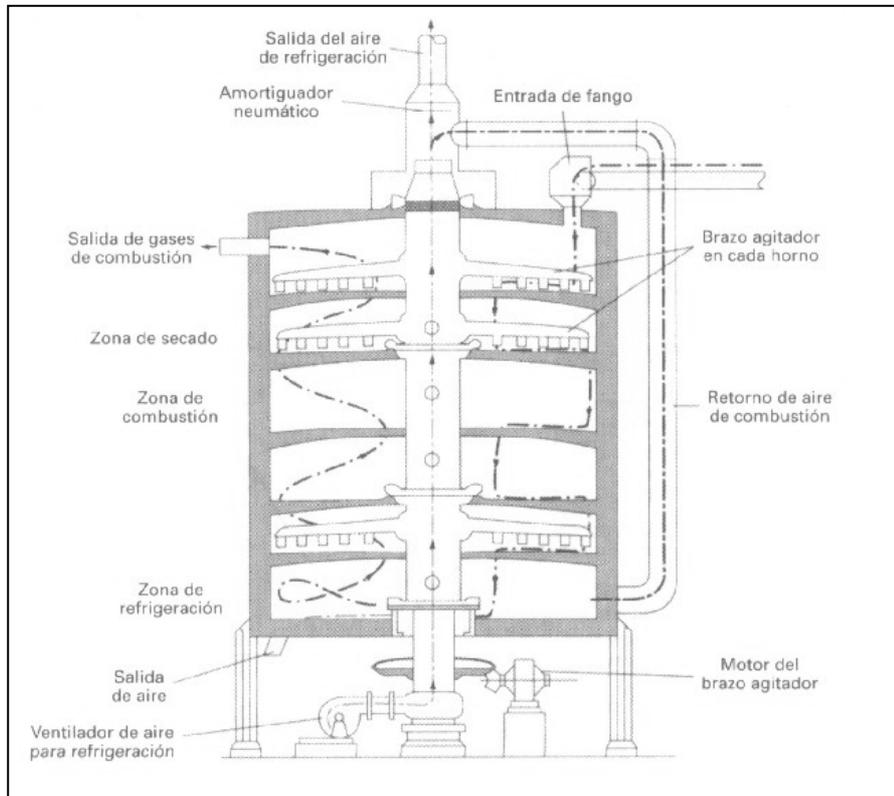
- ⊗ El residuo ingresa generalmente en forma continua.
- ⊗ Las potencialidades en general son medias o grandes, de 500 kg / h a 20.000 Kg / h.
- ⊗ El proceso de combustión es cuasi instantáneo.
- ⊗ Los equipos son grandes (hay mayor cantidad de gases), pues la primera cámara trabaja en exceso de oxígeno. Esto resulta en equipos más costosos..
- ⊗ Se produce mayor arrastre de material particulado, por ser un proceso más rápido.

- **Clasificación de los sistemas de incineración, según la forma de la cámara de combustión:**

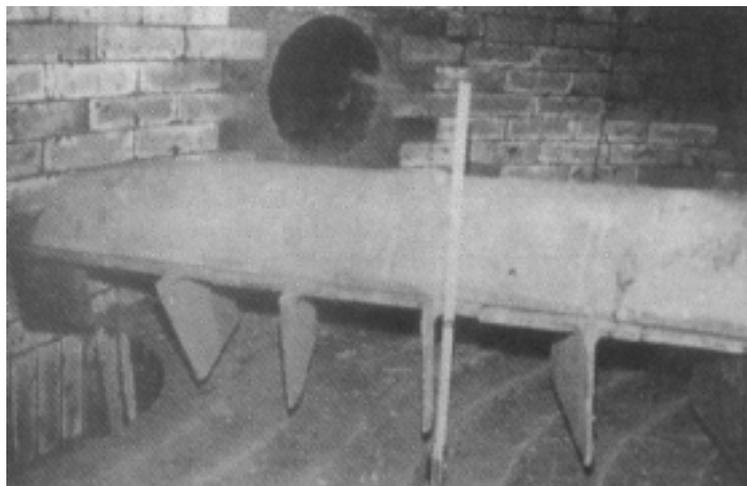
Dependiendo de la forma que tiene la cámara de combustión se originan distintos sistemas industriales:

1. Cámara horizontal fija.
2. Cámara vertical fija.
3. Cámara vertical fija con múltiples pisos y eje central con brazos limpiadores (tipo Herreshoff).
4. Cámara cilíndrica inclinada rotativa, tambor rotante (tipo horno cal - cemento).
5. Cámara horizontal con grillas móviles o fijas.
6. Cámara vertical fluidizada.
7. Cámara tipo túnel.

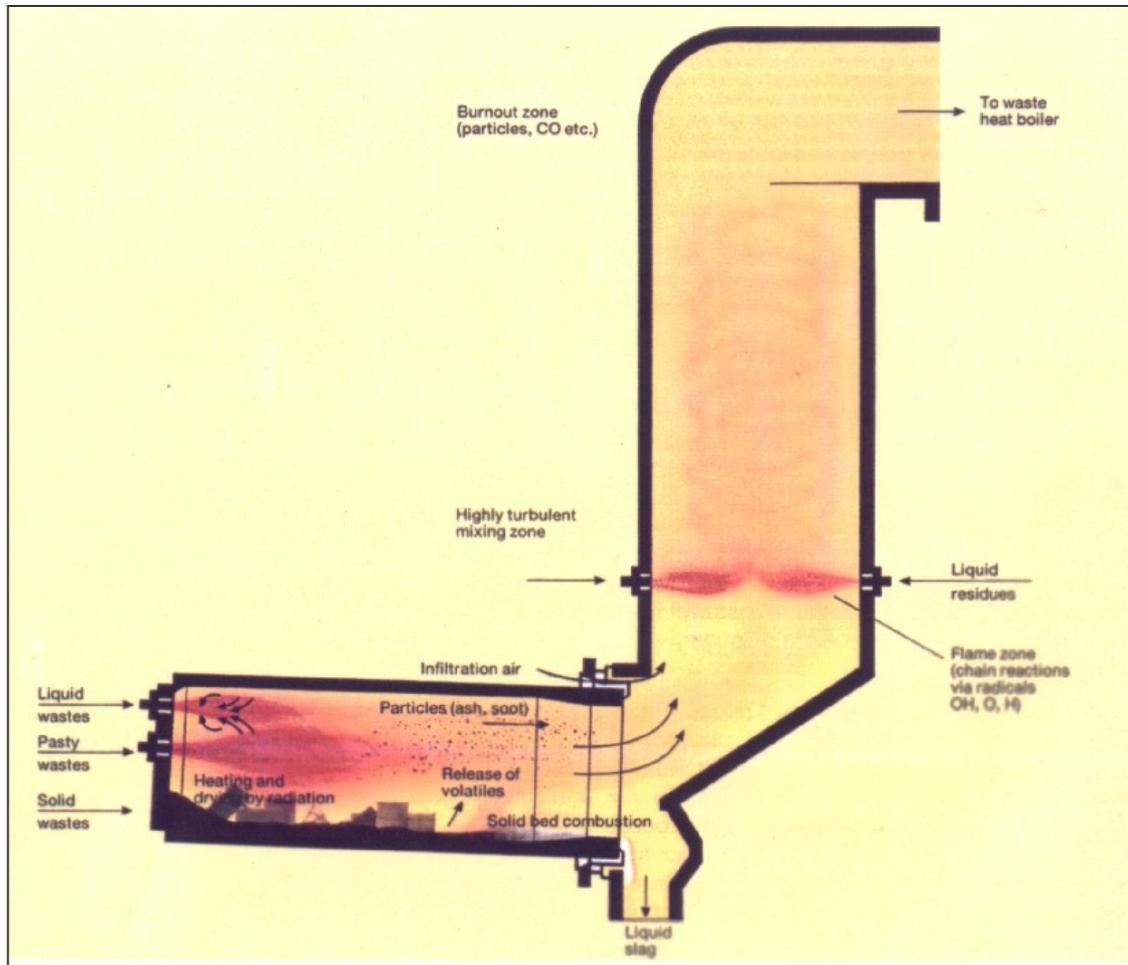
*Cámara primaria tipo múltiple pisos*



*Interior de una cámara de múltiples pisos (particular brazos y dientes)*



*Cámara primaria rotativa y cámara secundaria.*



**b) Cámara de Post - combustión**

Tiene por objeto garantizar la completa oxidación de los productos gaseosos que provienen de la primera cámara, por esto está considerada como el primer tratamiento de los gases.

La eficiencia de termodestrucción debe ser mayor a 99,99 %. ( excepto para PCB, PCT y otros )

$$EC: (CI - CE) / CI * 100$$

CI: flujo másico de un compuesto que ingresa

CE: flujo másico del mismo compuesto que egresa

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Los parámetros de funcionamiento ( las 3T) deben ser:

❖ Temperaturas	850° - 1200° C
❖ Tiempo de residencia	mayor a 2 segundos
❖ Turbulencia elevada	velocidad de ingreso 10 m / s
❖ Oxígeno en exceso	3 % v / v ( 6 % v / v)

Además posee:

- ♦ Quemadores para garantizar la temperaturas y una mejor turbulencia.
- ♦ Descarga para las cenizas (sólidas / líquidas).
- ♦ Paredes internas revestidas con materiales refractarios y aislantes especiales.

En general son del tipo vertical, con uno o más pasos.

En esta cámara generalmente se instalan las lanzas para atomizar los residuos líquidos con alto poder calórico.

**c) Sistemas de recuperación de energía**

Luego de la cámara de Post- combustión y antes de cualquier otro equipo de control existe siempre una sección de enfriamiento de los gases, pues estos salen a temperaturas superiores a los 950° C y para acceder a los siguientes equipos la temperatura normalmente debe estar entre 200° y 400° C. Esto se puede lograr introduciendo:

- Una caldera para recuperar el calor
- Un enfriador a agua
- Una sección de mezcla con aire.

Actualmente todos los sistemas que se construyen en Europa poseen algún tipo de recuperación.

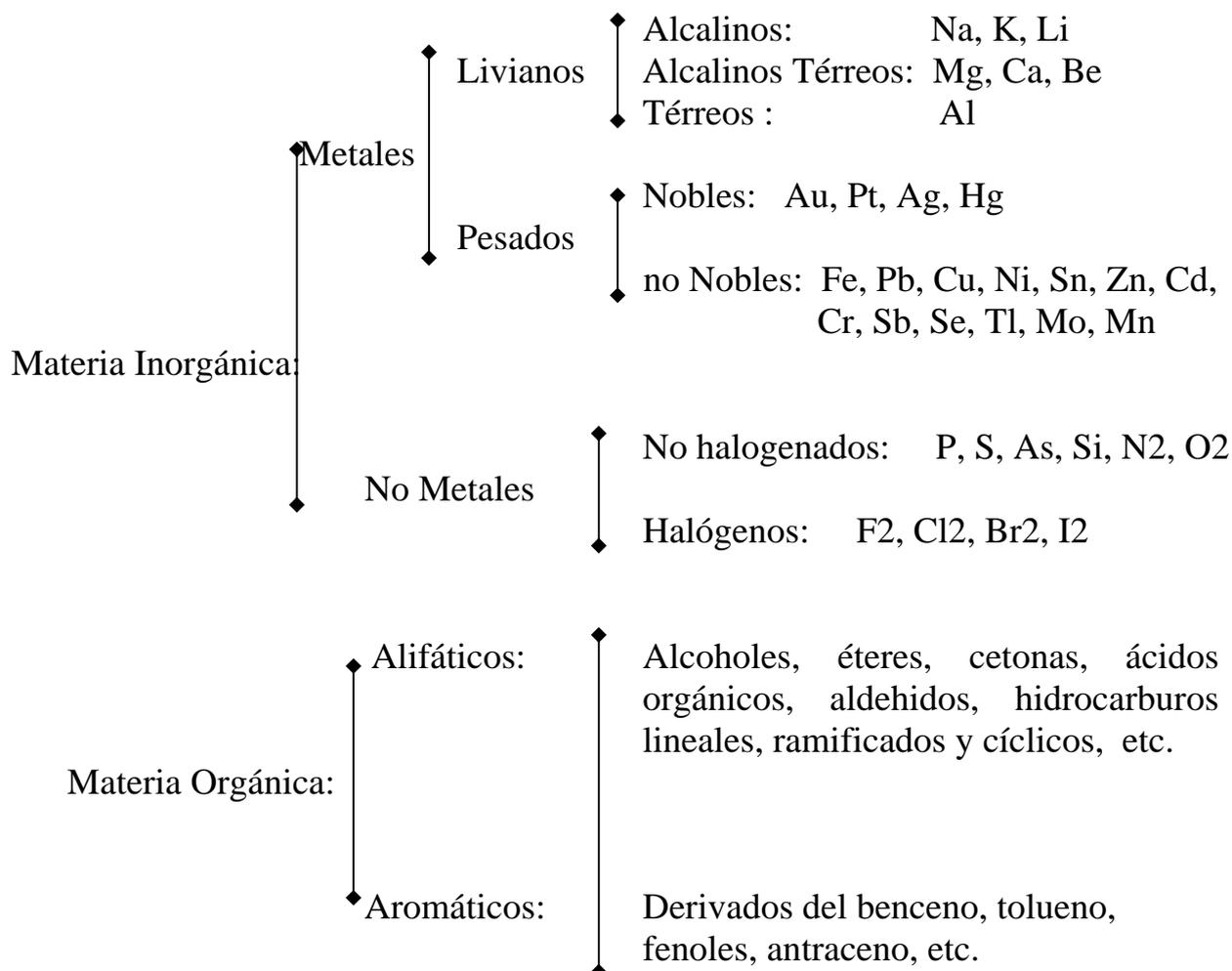
#### d) composición de los residuos

Las sustancias que componen los residuos se pueden dividir químicamente en:

Materia Inorgánica: metales, no metales, sus óxidos y sales.

Materia Orgánica: todos los compuestos derivados del carbono.  
(excepto Carbonatos y Bicarbonatos).

Analizando en forma más particular, vemos que los elementos más importantes son:



## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Dentro de las sustancias inorgánicas encontramos:

Los ácidos, las bases y los minerales que son sales y óxidos.

Dentro de las sustancias orgánicas encontramos:

plásticos, solventes, fármacos, resinas, derivados del petróleo, etc.

Pero todos tienen en común (como elementos más importantes) al : C, H y/o O, N, S, Halógenos.

Durante la combustión, los distintos elementos se combinan con el **oxígeno** dando como resultado productos sólidos (cenizas y escorias) y gaseosos

Por lo tanto la combustión de los residuos en condiciones controladas conducirá principalmente (a la salida de la cámara de Post-combustión) a la formación de los siguientes productos:

**Material Inorgánico:** Cenizas y escorias, que están formadas por los distintos metales, sus óxidos y sales.

Dentro de las cenizas se encuentran también aquellas sustancias que no sufren el proceso de oxidación (ej.: Silicatos, Aluminatos, etc.)

**Material Orgánico:** Siendo sus elementos más importantes el C, H, O, N, S y Halógenos, estos darán como productos:

Carbono C :	Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub> , Monóxido de Carbono CO ( este último solo en el orden de las ppm)
Hidrogeno H <sub>2</sub> :	Vapor de agua H <sub>2</sub> O
Nitrógeno N <sub>2</sub> :	Oxidos de Nitrógeno varios, NO <sub>x</sub> ( NO + NO <sub>2</sub> )
Azufre S:	Oxidos de Azufre varios, SO <sub>x</sub> ( SO <sub>2</sub> + SO <sub>3</sub> )
Cloro Cl <sub>2</sub> :	Ácido Clorhídrico (ClH) , Cloro (Cl <sub>2</sub> )
Otros Halógenos:	Hidrógenos de los distintos Halógenos, FH, BrH, etc.
Fósforo P:	Óxidos de Fósforo, Pentóxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Es necesario destacar que las instalaciones industriales de un sistema de termodestrucción, deben cumplir tanto en la fase de **diseño** como en la de **conducción**, con normas internacionales, nacionales y provinciales estrictas, donde los parámetros tales como la temperatura, el tiempo de residencia, la turbulencia y el exceso de oxígeno están especificados con límites precisos. Asimismo las sustancias que se pueden emitir, deben hacerlo dentro de los límites establecidos por Ley.

### e) Tecnologías para el control de las emisiones.

Se pueden considerar dividido en 5 secciones:

1. Equipos para el control de la combustión.
2. Equipos para el control del particulado.
3. Equipos para el control de los gases y/o vapores ácidos.
4. Equipos para el control de los NO<sub>x</sub>.
5. Equipos para el control de los microcontaminantes.

1. Equipos para el control de la combustión.

La cámara de post- combustión o cámara secundaria esta construida y dimensionada de modo tal que permita la completa oxidación de los productos de combustión, logrando así que toda la materia orgánica se convierta en sus constituyentes elementales.

Esto se logra gracias a los parámetros, denominados las 3 T

- Turbulencia
  - Tiempo de residencia
  - Temperatura
- La turbulencia garantiza el correcto mezclado de los gases de combustión que provienen de la primera cámara con el aire comburente, presente en exceso respecto del valor estequiométrico ( el necesario para la completa combustión teórica).  
Este valor se encuentra garantizado, ya que la velocidad media de los gases en la sección de ingreso a la segunda cámara debe ser superior a 10 m/s.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

- El tiempo de residencia (que es el tiempo que permanecen los humos en la segunda cámara) debe ser mayor a 2 segundos (valor fijado por las leyes), medidos a la temperatura de trabajo de esta cámara y a la máxima potencialidad del sistema, en las peores condiciones del sistema.
- La temperatura debe ser superior a 850 °C (si el contenido de sustancias orgánicas halógenadas expresadas en Cloro no supera el 1 %, y debe ser superior a 1100 °C, si el contenido supera el 1%).
- Otro parámetro que se encuentra también reglamentado es la cantidad de oxígeno en exceso a la salida de la cámara secundaria y que debe ser superior a 3 % o 6 % v/v medido como exceso de Oxígeno, según USA o la CEE.

La Directiva 94/67/CE del Consejo, de 16 de diciembre de 1994, relativa a la incineración de residuos peligrosos, dice en su Artículo 6, entre otras cosas: .

“ Todas las instalaciones de incineración estarán diseñadas, equipadas y funcionarán de modo que la temperatura de los gases derivados de la incineración de los residuos peligrosos se eleve, tras la última inyección de aire de combustión, de manera controlada y homogénea e incluso en las condiciones más desfavorables, hasta por lo menos 850 °C, alcanzados en o cerca de la pared interna de la cámara de combustión, como mínimo durante dos segundos con un 6 % como mínimo de oxígeno; si se incineran residuos peligrosos que contengan más del 1 % de sustancias orgánicas halogenadas, expresadas en cloro, la temperatura deberá elevarse hasta por lo menos 1.100°C”.

El control de la combustión es sumamente importante pues de él depende entre otros la formación de Monóxido de Carbono CO, Hidrocarburos HC, y una serie de otras sustancias no deseadas tales como las Dioxinas y Furanos. La formación de CO, HC, y otras sustancias no deseadas se produce por la combustión incompleta, o sea por un defecto de Oxígeno, una insuficiente **Turbulencia** traducida en un escaso contacto entre los distintos gases, un **Tiempo** muy corto de contacto o una **Temperatura** inadecuada.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

### 2. Equipos para el control del particulado.

Los sistemas para el control del particulado más comúnmente utilizados son:

- Cámara de sedimentación por gravedad.

Aquí la corriente de gases se hace ingresar a una cámara de grandes dimensiones donde su velocidad disminuye bruscamente, lo que favorece la sedimentación de las partículas de mayor tamaño. Para que los equipos no lleguen a tener tamaños extremadamente grandes y para aumentar su eficacia, se suelen colocar placas inclinadas donde las partículas al chocar pierden aun más velocidad.

Con estos equipos se puede lograr detener partículas mayores a 25 micrones de diámetro con eficiencias de aproximadamente 30 %.

Debida a su escasa eficiencia y a la limitación en el tamaño de retención, se suelen usar solo como pretratamientos, instalados antes de otros equipos de retención.

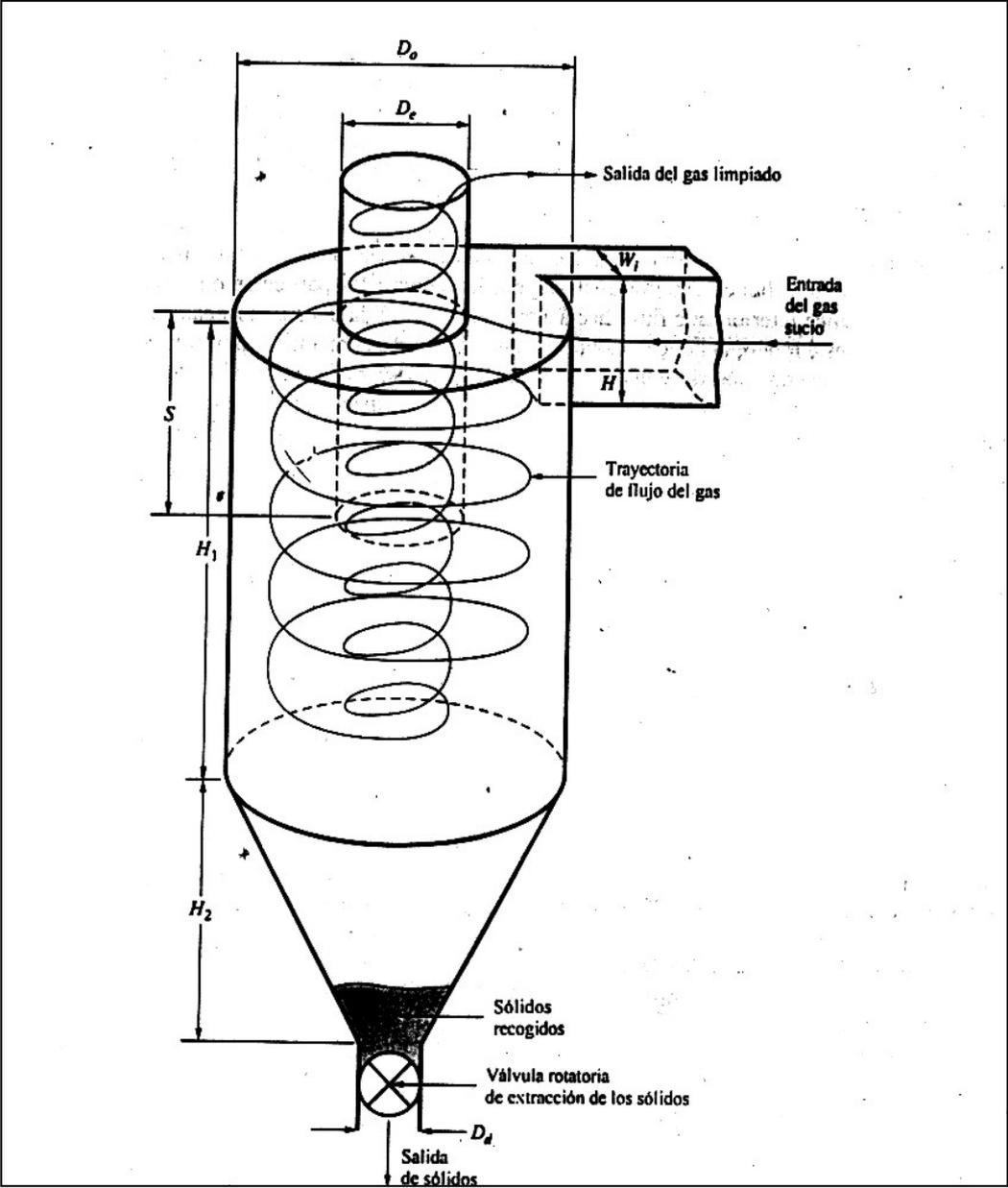
- Ciclones y ciclones múltiples.

En estos aparatos se aprovecha la velocidad de los humos que entrando en un equipo de forma circular se ven forzados a recorrer una trayectoria helicoidal, lo cual produce una fuerza centrífuga sobre las partículas forzándolas a que se muevan hacia el exterior de la corriente gaseosa, donde por rozamiento con la pared del ciclón pierden velocidad y así se separan, cayendo en el fondo del mismo. El gas tratado sale por el centro del equipo por su parte superior.

La eficacia de retención varia de acuerdo al tamaño de la partícula y su peso específico pero oscila desde 30 a 90 % para partículas de diámetros entre 5 y 20 micrones.

Los multiciclones son un mismo equipo donde se encuentra una batería de pequeños ciclones.

*Croquis de un Ciclón.*



## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

- Separadores húmedos.

Aquí la separación se realiza por medio de una corriente líquida pulverizada (gotas), que es inyectada dentro de una cámara por donde circulan los humos en contracorriente o cococorriente.

Las partículas se ven arrastradas por la corriente líquida hacia la parte inferior del equipo. El líquido cumple solo con una función mecánica.

La colisión de las partículas con el medio líquido puede efectuarse de diversos modos, el equipo más común es el equipo tipo Venturi.

Hay otros tipos como los separadores Spray, o los lavadores de placas.

La eficacia depende del grado de contacto e interacción que tengan las partículas con el líquido; es por ello que es muy importante la atomización del líquido y un adecuado tiempo de contacto.

En este tipo de equipo se pueden alcanzar eficiencias de 90 a 99 %.

- Precipitadores electrostáticos ( electrofiltros)

Este sistema se basa en que las partículas contenidas en la corriente gaseosa cuando atraviesan un campo eléctrico elevado (20000 a 800000 volt) adquieren una carga negativa, y debido a ello son atraídas por unas placas con carga positiva y luego recogidas mediante mecanismos apropiados.

Específicamente están formados por una o varias cámaras donde en su interior se encuentran los electrodos negativos encargados de generar el elevado campo eléctrico, alternados por placas conectadas a tierra y en su parte inferior por tolvas para recoger el particulado separado.

Las principales características de los electrofiltros son:

Posibilidad de trabajar a temperaturas elevadas 250 a 350 °C.

Bajísima pérdida de carga.

Bajo mantenimiento.

Amplio ciclo de vida del orden de las décadas.

Amplia elasticidad en relación con las características de los humos.

Alta confiabilidad.

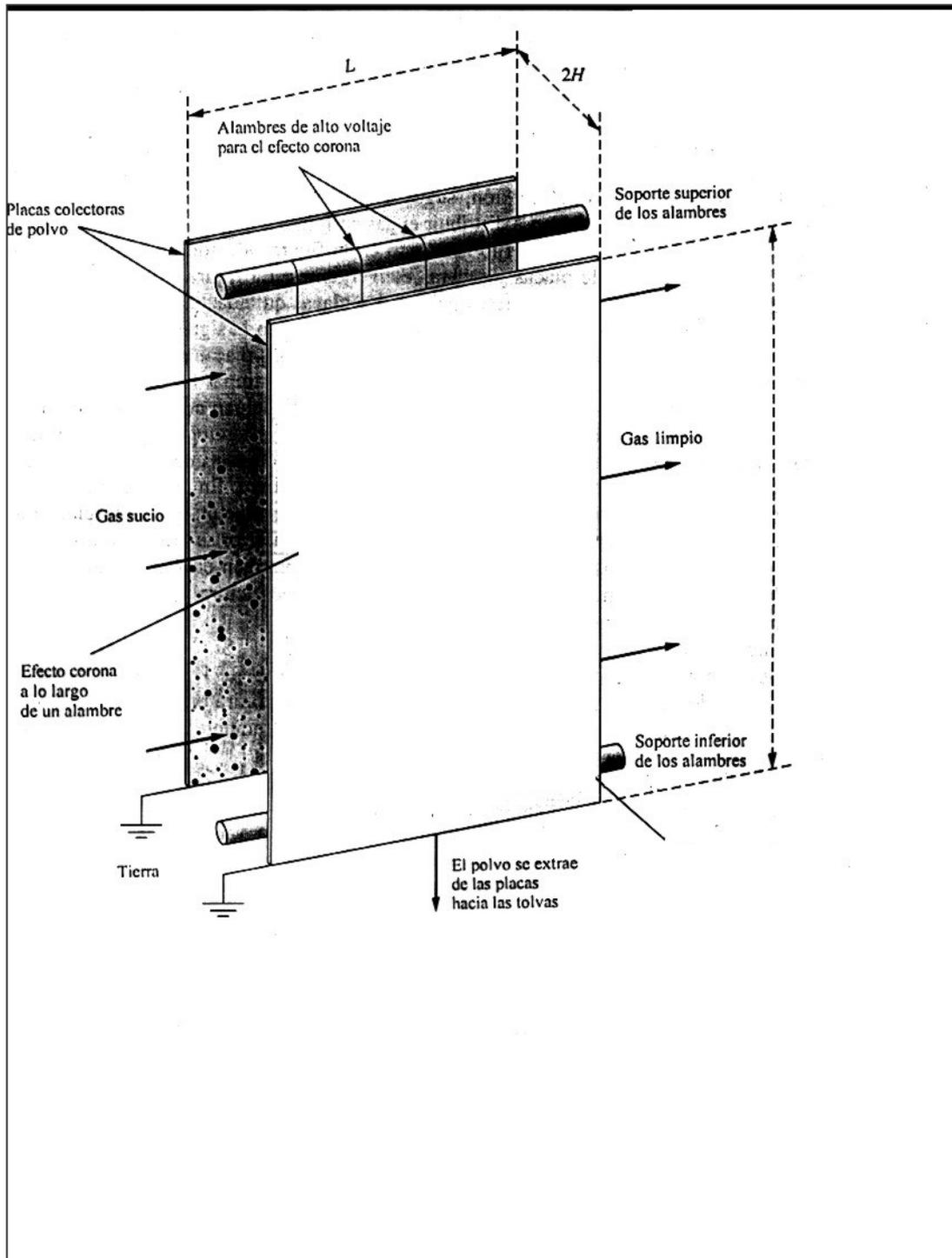
Alto costo de instalación.

Alto costo de ejercicio.

Las concentraciones de salida suelen alcanzar valores de 20 mg / Nm<sup>3</sup>

La eficiencia es del orden 90 a 95 % para partículas muy finas (2 micrones) hasta alcanzar valores del 99.9 % para partículas finas (10 micrones).

*Croquis del funcionamiento de las placas internas de un electrofiltro.*



## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

- Filtros de mangas.

Este equipo está compuesto por una serie de filtros (bolsas cilíndricas, con una malla de alambre que les proporciona la forma, recubiertas exteriormente por el tejido en cuestión) todas estas unidades de filtro se montan en una cámara donde el humo ingresa y se ve forzado a atravesar los filtros desde afuera hacia dentro, quedando así retenido el particulado en la cara externa del filtro, el cual luego es recogido en una tolva que se encuentra en la parte inferior.

Con el fin de que el filtro no se obstruya, se limpian periódicamente en forma automática, inyectando aire a presión desde el interior de los filtros, haciendo esto desprender el particulado adherido.

Debido a los problemas de corrosión es necesario trabajar a más de 140-150 °C es por ello que no se pueden utilizar tejidos del tipo natural, poliésteres o polipropileno.

Los más utilizados son:

Fibra de vidrio, que soporta temperaturas de hasta 250 °C, pero son extremadamente frágiles y atacables por el FH.

Nomex hasta 220 °C pero puede hidrolizarse en presencia de CIH y alta humedad.

Teflon útil hasta los 260 °C, con elevada resistencia química pero elevado costo y una resistencia mecánica no muy buena.

Las principales características de los filtros de manga son:

Menor costo de ejercicio

Mayor mantenimiento

Alta pérdida de carga

Limitaciones en cuanto a la temperatura.

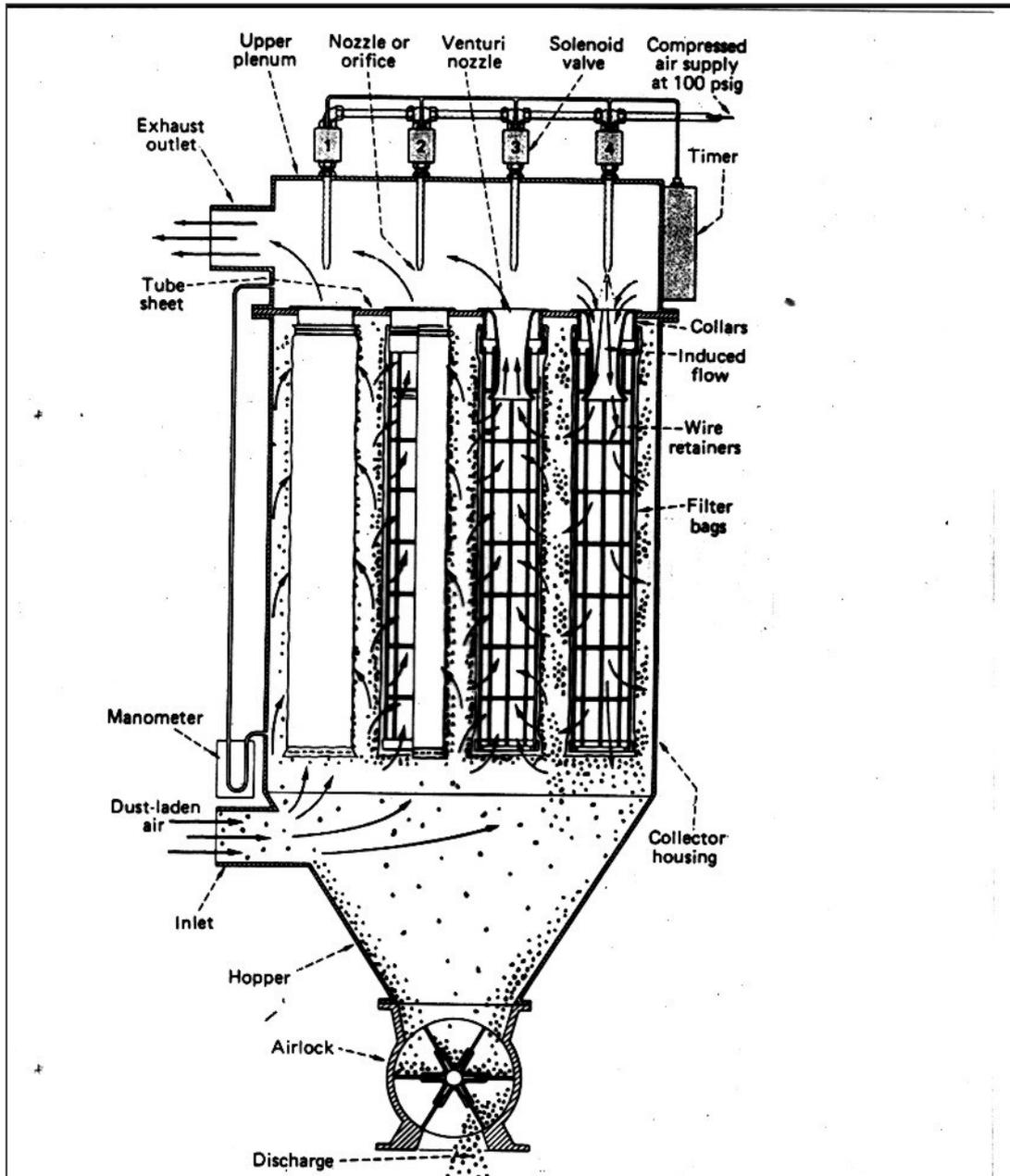
Las concentraciones de salida suelen alcanzar valores del orden de los 5 mg / Nm<sup>3</sup>

La eficiencia es elevada y llega a alcanzar valores del 99.9 % .

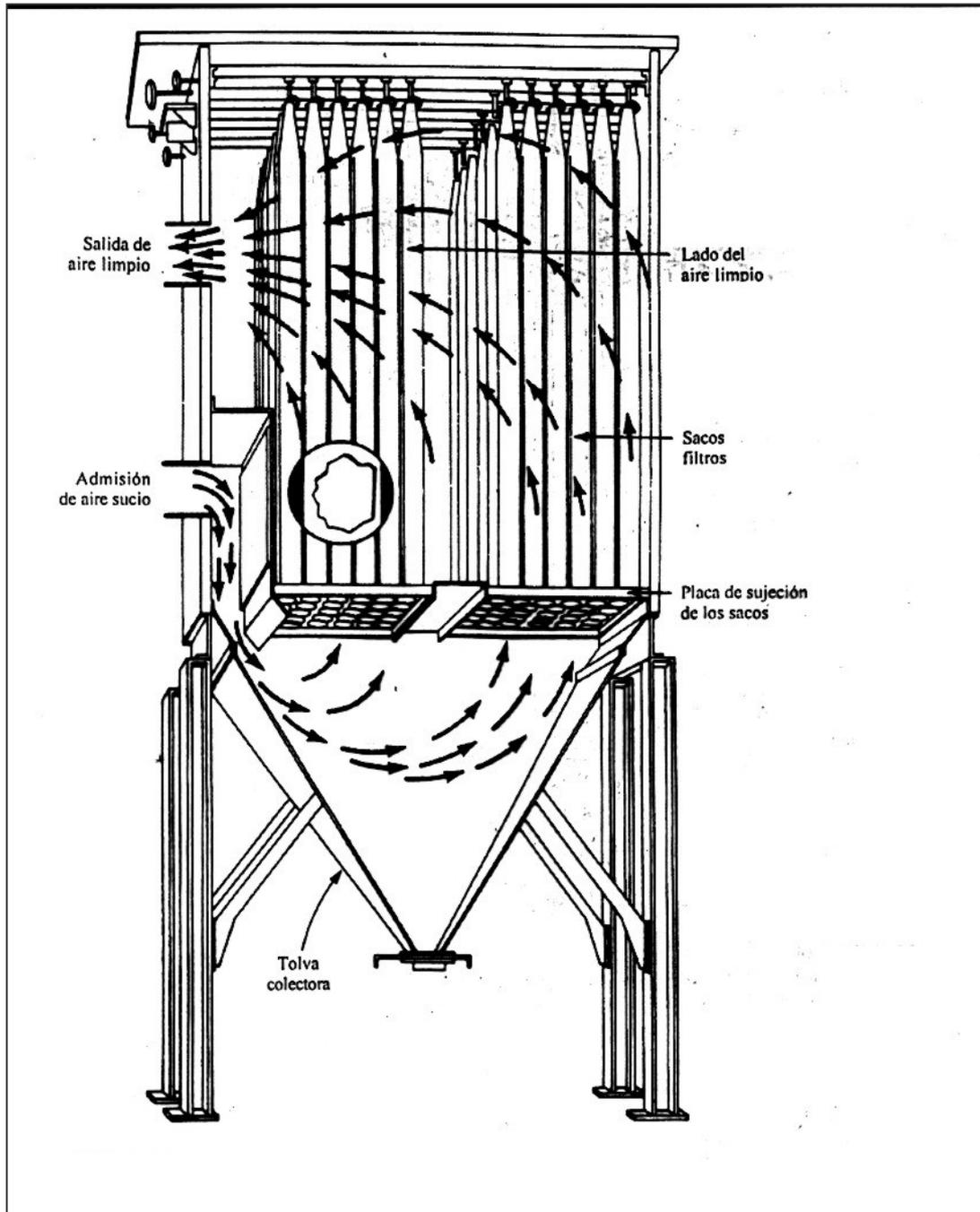
Retienen partículas pequeñas del orden de 0.1 micrón debido a la capa de polvo que se forma en su superficie.

Los poros de los filtros suelen ser del orden de los 50 micrones.

*Croquis del funcionamiento de un filtro a mangas*



Seminario: "La Gestión Integral de los Residuos Sólidos"



## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

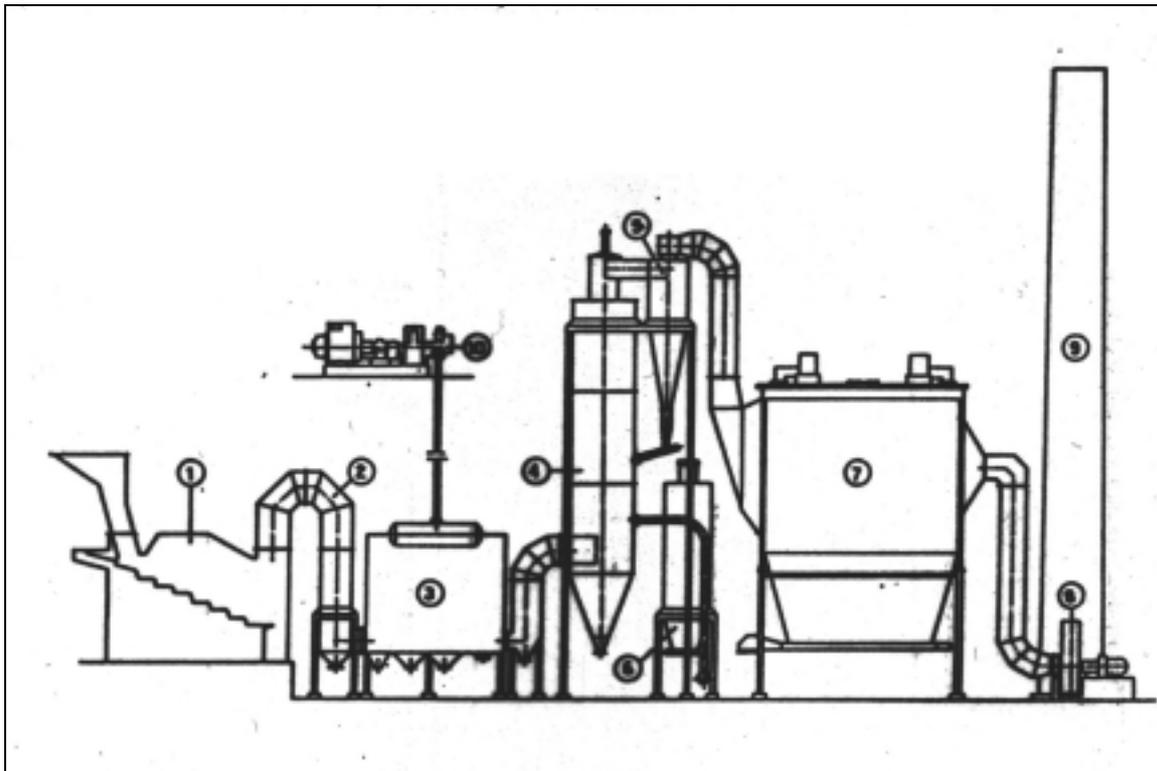
### 3. Equipos para el control de los gases y/o vapores ácidos.

El objetivo de estos equipos es retener y neutralizar los vapores ácidos tales como los óxidos de Azufre  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ , el ácido Clorhídrico,  $\text{ClH}$  y los distintos hidrácidos de los Halógenos que se encuentren presentes, ej.  $\text{FH}$ ,  $\text{BrH}$ , etc.

Para ello existen substancialmente dos sistemas:

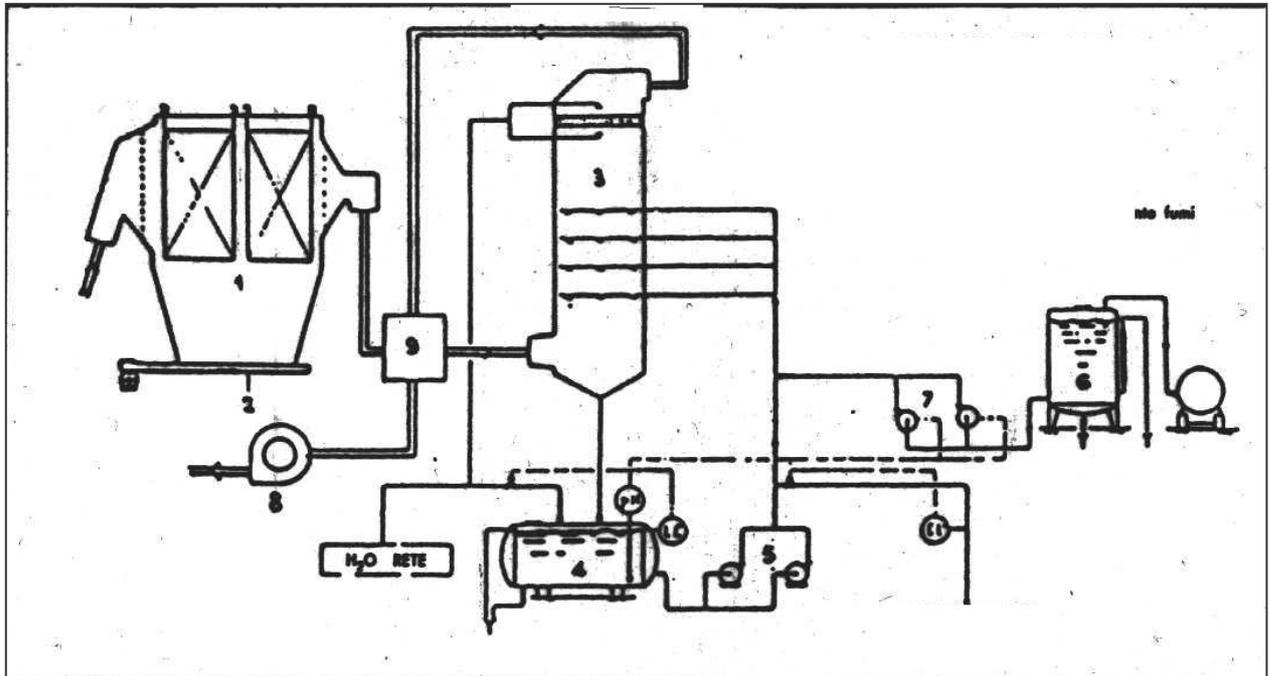
- (a) Sistema Seco o semiseco
- (b) Sistema Húmedo

#### *Sistema semiseco seco.*



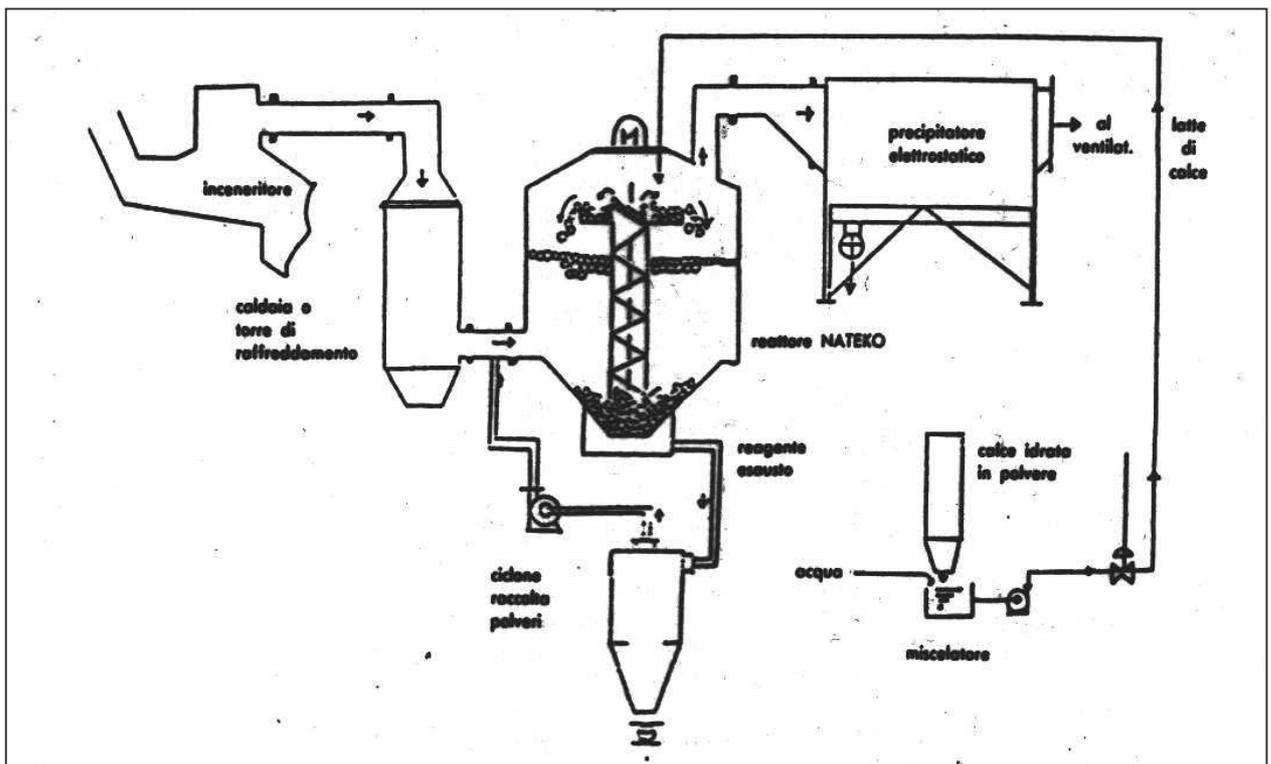
1. Cámara de combustión, 2 Cámara de post-combustión, 3 Caldera, 4 Reactor de cal-gases, 5 Ciclón pretratamiento, 6 Silo de Cal, 7 Electrofiltro, 8 Ventilador final, 9 Chimenea, 10 Turbina generadora de electricidad.

*Sistema Húmedo.*



1 Electrofiltro, o Filtro a mangas, 2 Sin fin, 3 Scrubber, 4 cisterna para el reciclo, 5 bombas, 6 cisterna de Soda, 7 Bombas dosadoras de Soda, 8 Ventilador, 9 Intercambiador para el recalentamiento de los gases saturados.

*Sistema Seco..*



## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

El sistema seco o semiseco, va instalado siempre aguas arriba del equipo de tratamiento del particulado.

El principio del proceso de retención es la neutralización o sea la reacción química entre los vapores ácidos y el reactivo neutralizador  $\text{CaO}$  sólido o  $\text{Ca(OH)}_2$  en suspensión u otros óxidos o sales alcalinas .

Las sales formadas y los reactivos que no reaccionaron son retenidos luego en el equipo para particulado.

El sistema húmedo va instalado generalmente luego del tratamiento del particulado.

Aquí el principio del proceso de retención se basa en la absorción de los gases y vapores en las soluciones lavadoras, que a su vez reaccionan químicamente neutralizando los ácidos. Generalmente se usa como neutralizante una solución de soda cáustica ( $\text{NaOH}$ )

Pueden estar constituidos por:

- Torres de lavado (scrubber)
- Torres de relleno
- Torres de platos

Todos ellos están constituidos por columnas o torres donde se ponen en contacto el gas y los vapores a depurar, con las soluciones neutralizantes.

En el scrubber la sección de pasaje es totalmente libre, logrando con esto la imposibilidad de obstrucción y dando lugar a bajas pérdidas de carga, en ella se inyecta la solución generalmente en contracorriente respecto del gas y vapores a depurar y la superficie de intercambio se logra mediante la fina nebulización del líquido de lavado .

Las torres de relleno, poseen cuerpos de formas características en su interior para lograr así una mejor retención, pues ofrecen una mayor superficie de contacto entre el líquido y los gases

Los cuerpos o materiales de relleno pueden ser esferas, anillos, placas onduladas, etc, en general son todos productos comerciales bien identificados.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

La solución absorbente entra por la parte superior en contracorriente con los vapores; el líquido luego se recircula dentro de la misma torre, existiendo controles de pH y conductividad para saber cuando hay que descargar una parte de la solución que reaccionó (purga) y reponer solución fresca.

Es necesario disponer un tratamiento posterior para la solución descargada. Este tratamiento puede consistir en un filtro prensa, de bandas, de vacío, una concentración por calor, etc; de modo tal de separar los barros del líquido. Los barros separados se unen generalmente a las cenizas de las cámaras y de los equipos de tratamiento de particulado según cada caso, para ser tratados o dispuestos posteriormente.

Las torres de platos poseen en su interior distintos pisos donde en cada uno de ellos los gases deben burbujan en la solución lavadora, no son muy utilizadas para estos casos pues son fácilmente obstruibles.

En todos los casos de tratamiento húmedo, la salida de los gases tratados se hace a temperaturas relativamente bajas (60-70 °C) y saturados, lo cual da lugar al característico penacho. Para evitar o minimizar este efecto visivo los gases son recalentados a temperaturas de 110-130 °C.

Las eficiencias de retención de estos equipos es variable y depende de su diseño y operación. Pero se encuentran siempre en el orden de 98 a 99 %.

Es importante destacar que otro método para controlar la emisiones es la separación en origen.

Es así como se separan aquellos residuos con grandes cantidades de Cloro, Azufre y halógenos, para luego dosificar de alguna manera las sustancias mas conflictivas y evitar así una elevada concentración en la entrada al Horno.

#### 4) Tratamiento y control de los Óxidos de Nitrógeno (NOx).

Es otro equipo aparte, exclusivamente para el control de los NOx (óxidos de Nitrógeno: NO +NO<sub>2</sub> ).

Existen dos orígenes para la formación de los NOx:

- El formado por la combinación entre el Oxígeno y el Nitrógeno que provienen del residuo y del combustible.
- Aquel que se produce por las reacciones entre el nitrógeno y el Oxígeno del aire de combustión debido a la elevada temperatura de la cámara.

La primera se controla mediante la selección previa de los residuos que deben ingresar al horno, y representa una muy pequeña parte del total de NOx que se forma.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

La segunda se controla trabajando sobre la cantidad de aire en exceso y las temperaturas alcanzadas sobre todo en los quemadores, y el tipo de quemador.

Existen también equipos que tratan a los óxidos de Nitrógeno una vez formados, y se trata de dos sistemas:

*F1) Reducción catalítica selectiva*

*F2) Reducción No catalítica*

*F1) Reducción catalítica selectiva*

Emplea una inyección de amoníaco en los gases de la chimenea, luego la mezcla pasa por un lecho catalizador a una temperatura de entre 280 C y 430 C:



*F2) Reducción No catalítica*

Aquí se agrega también una corriente de amoníaco pero no se utiliza ningún catalizador, el amoníaco se inyecta directamente en el horno a temperaturas de entre 700 c y 1200 C.



Si se evita el adicionar H<sub>2</sub>, debe aumentarse la temperatura mínima a 870 C.

## Dioxinas y Furanos.

### A) Composición química.

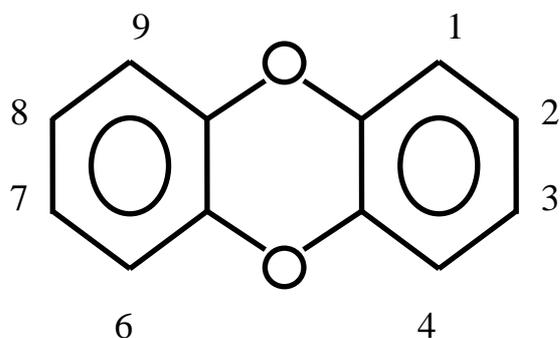
Las dioxinas son miembros de la familia de los compuestos orgánicos conocida con el nombre de policloro-dibenzo-dioxina (PCDD).

Esta familia esta formada químicamente por una estructura de anillo triple, donde los dos anillos bencenicos de los extremos están unidos por dos átomos de oxígenos, a estos anillos bencenicos se unen uno o mas átomos de cloro, dando todos los distintos compuestos de la familia, (isómeros).

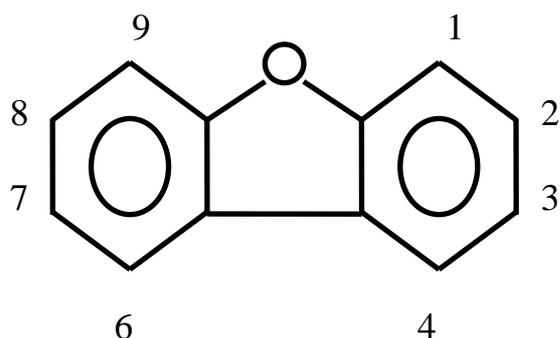
Los furanos son miembros de la familia de los policloro-dibenzo-furanos (PCDF), tienen una estructura similar a la anterior, solo que en lugar de tener un par de átomos de oxigeno que une los anillos, existe un solo átomo.

Como las posibles posiciones de unión para los átomos de cloro son ocho tanto para los PCDD como los PCDF, esto origina que existan 75 isómeros posibles de PCDD y 135 isómeros de PCDF.

En la nomenclatura química se refiere para identificar a los distintos isómeros por medio de la utilización de números que indican la posición relativa de los átomos de cloro. Esta numeración tiene una secuencia determinada, así por ejemplo el 2,3,7,8- TCDD es el 2,3,7,8-tetracloro-p-dibenzo-dioxina, es un compuesto de la familia de los PCDD que contiene cuatro átomos de cloro localizados en las posiciones 2,3,7 y 8.



Posición relativa de los átomos de cloro para el caso de PCDD.  
“Dioxinas”



Posición relativa de los átomos de cloro para el caso de PCDF.  
“Furanos”

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Los números indican las distintas posiciones que pueden ser ocupadas por los átomos de Cloro.

### B) Dosis y toxicidad.

El tema de las dioxinas y furanos es importante desde el punto de vista de la contaminación y esto se debe a que alguno de sus miembros (isómeros) son sustancias altamente tóxicas.

Ej. DL50 del 2,3,7,8-TCDD

Cobayos:	0,6 ug / kg.
Conejillo de Indias	1,0 ug / kg = 0,0001 mg / kg.
Rata (Sprague Dawley o Long-Evans)	0,022 - 0.045 mg / kg.
Rata ( Han / Wistar )	>3 mg / Kg.
Ratón	0,114 mg / kg.
Conejo	0,115 mg / kg.
Hámster	5 mg / kg.

De los valores anteriores se puede observar que para el caso de este isómero que es el de mayor toxicidad, el valor de la DL50 dosis letal 50 ( o sea la dosis, habitualmente reflejada en miligramos por kilogramo de peso corporal, que suministrada por 30 días provoca la muerte del 50 % de los animales), va aumentando a medida que se aumenta en la escala animal.

De todas maneras en el grado de respuesta tóxica influyen varios factores. Aparentemente la dosis es el principal factor determinante de la gravedad de la respuesta tóxica, ya que existe una relación entre su mayor cantidad y una consecuencia más aguda.

Pero la dosis no solamente es la causa de una respuesta tóxica y de su severidad sino también la susceptibilidad del individuo expuesto.

Dicha susceptibilidad está en función de la edad, el sexo, el estado de salud, la genética, las exposiciones previas a esa o a otras sustancias y a la respuesta individual.

Otro factor que debe ser considerado, es que resulta más importante tomar en cuenta la relación de la **concentración y la toxicidad específica** para un determinado contaminante, que estos valores en forma individuales .

Basados sobre el principio de esta graduatoria es que la 2,3,7,8- TCDD ( la más tóxicas de las dioxinas) se encuentra en la posición 84 debajo de sustancias menos tóxicas pero mucho mas difusas.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

“Toxic Organic Chemical Destruction and Waste Treatment”1978 Noyes Data Corp. USA.

Aunque existe la evidencia que los PCDD y los PCDF tienen propiedades cancerígenas en animales (Czuczwa, J. M. y Hites, R. A. Airborne Dioxins and Dibenzofurans: Sources and Fates, 1986), recientemente se ha cuestionado su cancerigenicidad potencial en humanos.

Según V. N. Houk, del centro para el control de enfermedades de EEUU las dioxinas en altas dosis tienen un bajo riesgo cancerígeno (por ejemplos en accidentes industriales), pero no son un riesgo cancerígeno en bajas dosis, tal como puede producirse en el aire ambiental cerca de una incineradora de residuos sólidos urbanos.

(Houk, V. N. Dioxin: Risk assessment for Human health. 1991 ).

Hipotesis: suponer a un individuo viviendo en las proximidades de una fuente de dioxina.

Tomando un individuo de peso aproximado de 70 kg. y considerando la misma DL50 que para los Conejillos de India se obtiene que la dosis total sería:

$$1.0 \text{ micro gramo por kg.} * 70 \text{ kg.} = 70 \text{ ug}$$

Teniendo en cuenta que la aspiración de un hombre es de 30 Lt/minuto y un coeficiente de dispersión de los humos de la chimenea en la atmósfera prudencial igual a 5000 (generalmente se considera 100.000) para el punto de mayor concentración a nivel suelo. La Ley Nacional 24051 de Residuos Peligrosos y su decreto 831/93, establecen como limite máximo de emisión para TCDD en plantas de termodestrucción la cantidad de 0,1 ng/ Nm<sup>3</sup> ( 0.0001 mg / m<sup>3</sup> de gas normalizado o sea seco y a 10% CO<sub>2</sub> ).

Con todas estas hipótesis cautelativas, se puede calcular el tiempo que esta persona debe vivir en esta situación para alcanzar el valor del DL50:

$$\frac{70 \text{ ug.}}{\frac{0.0001 \text{ ug/Nm}^3}{5000} * \frac{30}{1000} * 60 * 24 * 365 \text{ Nm}^3/\text{año}} =$$

El total da 221.968 años.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

El siguiente cuadro muestra los valores indicativos de las causas de muerte por tumor en los países industrializados.

1. Alimentación - 35 %
2. Tabaco - 30 %
3. Infecciones - 10 %
4. Actividades sexuales - 7 %
5. Actividades laborativas - 4 %
6. Alcoholismo - 3 %
7. Factores geofísicos - 3 %
8. Contaminación - 2 %
9. Medicina - 1%
10. Aditivos alimenticios <1 %
11. Productos industriales <1 %

En cualquier caso las agencias estatales y EPA han dado una gran prioridad al control de las dioxinas y furanos. Tanto que se han colocados límites de emisión muy bajos.

Los límites establecidos son:

EPA (para nuevas incineradoras de RSU ).  
Dioxinas + Furanos 30 ng / Nm<sup>3</sup> (seco y a 7% O<sub>2</sub>).

EPA (para incineradoras existentes de RSU ).  
Dioxinas/ Furanos 60 ng / Nm<sup>3</sup> (seco y a 7% O<sub>2</sub>).

### C) Fuentes y Formación

Todavía no se ha determinado el mecanismo exacto de la formación de PCDD y PCDF en los procesos térmicos.

Recientemente se han propuesto tres métodos de formación de dioxinas y furanos en las emisiones de las plantas de termodestrucción:

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

1. La presencia de dioxinas y furanos en los residuos mismos.
2. Su formación durante la combustión debido a los compuestos precursores aromáticos clorados (difenilos y trifenilos policlorados)
3. Su formación durante la combustión procediendo de los hidrocarburos y el cloro.

Se ha supuesto también la formación de dioxinas y furanos durante la combustión de madera y papel (lignina) y los compuestos de cloro derivados del policloruro de vinilo PCV o de compuestos inorgánicos como el cloruro de sodio.

También se ha sugerido que el clorofenol podría actuar como compuesto precursor en la formación de PSDD y PCDF.

Con respecto a estas Hipótesis, se han hecho algunos ensayos de combustión de residuos conteniendo distintas cantidades de PCV, a distintas temperaturas. (Modern Plastic Internat, 1987, oct, 6).

Del gráfico se desprende que la concentración de PCDD y PCDF no depende de la cantidad de PCV, pero si de la temperatura de incineración.

mg PCDD/ Ton RSU

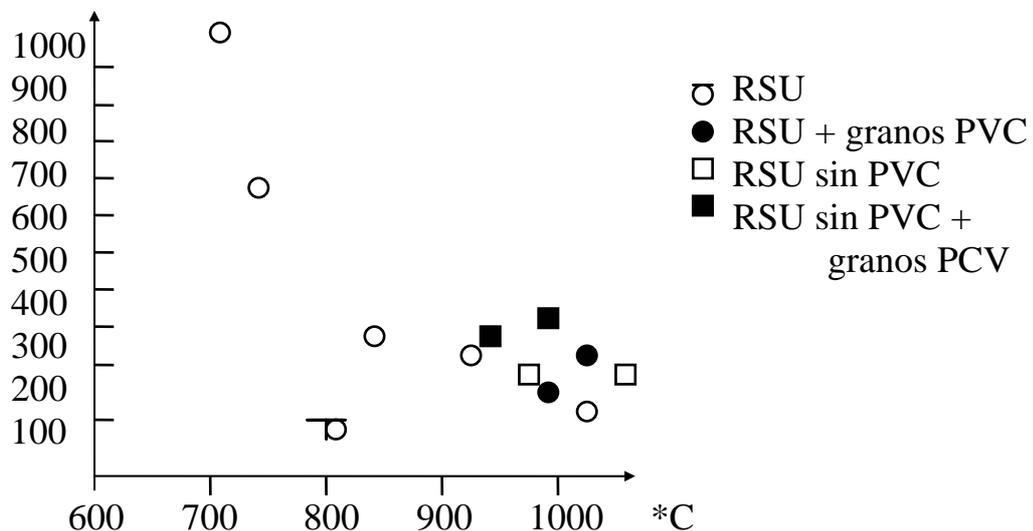


Gráfico: concentración de dioxinas (PCDD) en la emisión de una planta de termodestrucción de residuo sólido urbano (RSU).

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Se han hecho otras correlaciones, como la concentración de Monóxido de Carbono ( CO ) vs las dioxinas presente en los humos.

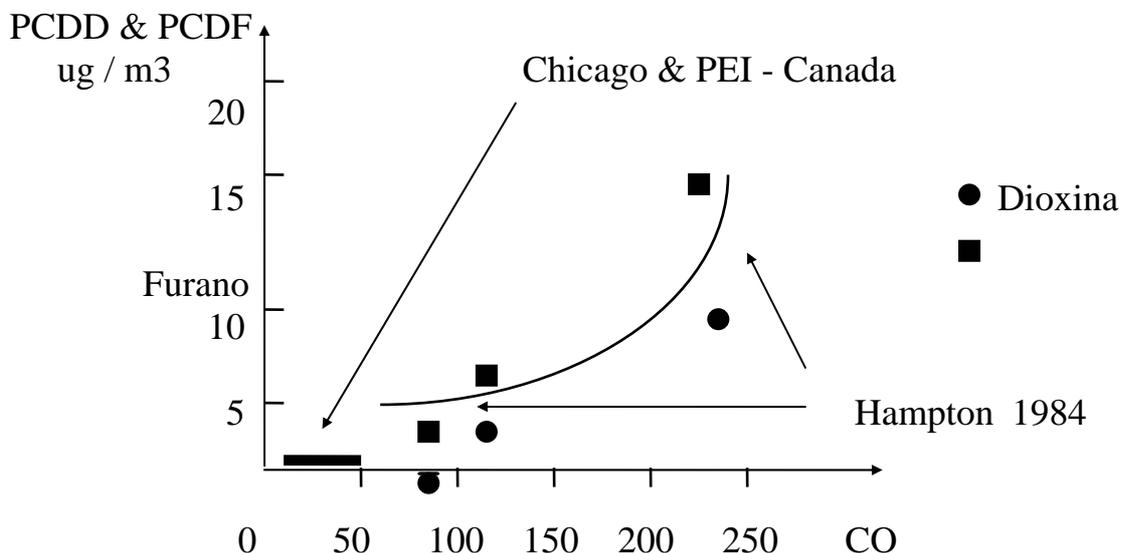


Gráfico: concentración de dioxinas (PCDD) en la emisión de una planta de termodestrucción de residuo sólido urbano (RSU) vs CO.

Existen algunas evidencias de que se producen PCDD y PCDF en todos los procesos de combustión, incluso en los hogares domésticos.

EPA en Septiembre de 1994, realizó un artículo sobre las posibles fuentes de dioxinas en el medio ambiente.

La tabla indica los porcentajes estimados anualmente de las varias fuentes en las emisiones totales de dioxina para USA.

Naturales y Otras:	60.9 %
Automotores:	20.5 %
Metalúrgicas:	5.2 %
Pesticidas y Herbicidas:	4.2 %

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

Residuos Urbanos	3.1 %
Generación de electricidad:	2.0 %
Combustión de madera:	1.3 %
Producción. de papel:	1.1 %
Incineración de patológicos:	1.0 %
Producción de cemento:	0.4 %
incineración de R. peligrosos	0.3%

### D) Técnicas de control

Teniendo en cuenta todo lo visto anteriormente, y tomando en cuenta que sobre el tema dioxinas y furanos queda aún mucho por saber, es que la plantas de termodestrucción de residuos deben tomar todas las precauciones del caso para evitar su posible formación.

Las técnicas de control para evitar la formación de Dioxinas y Furanos son aquellas que trabajan en el control de la combustión y en la separación y dosificación en origen.

1. Técnicas de control de la combustión: Se basan en el control de la temperatura, el tiempo de residencia y la eficiencia de combustión (cantidad de CO producido).
2. Técnicas de separación y dosificación en origen: estas se basan en la identificación de aquellos compuestos con alto contenido en Cloro orgánico y la dosificación de los mismos de manera tal de no superar un cierto porcentaje al ingreso en la carga del sistema de termodestrucción. Estas cantidades deben estar correctamente relacionadas en el balance de masa.

## Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”

### ▪ Emisiones, Legislación específica.

En nuestro país las reglamentaciones son relativamente nuevas:

Ley 24.051, Decreto Reglamentario 831/93. Ley Nacional de Residuos Peligrosos

Ley 11.720, Decreto Reglamentario 806/97. Ley Provincial de Bs. As. de Residuos especiales.

Ley 5.965, Decreto Reglamentario 3.395/96 . Ley Provincial de Bs. As. de Protección ... a la Atmósfera.

Ley 11.347, Decreto Reglamentario 450/94. Ley Provincial de Bs. As. de Residuos Patogénicos.

Ley 11.459, Decreto Reglamentario 1741/96. Ley Provincial de Bs. As. de Radicación Industrial.

Ley 11.723, Ley Provincial de Bs. As. del Medio Ambiente

Con respecto a las emisiones gaseosas en Argentina tal como se comentó anteriormente, existe la ley de Residuos Peligrosos 24.051 y su Decreto Reglamentario 831/93, donde se especifican los requisitos mínimos para la incineración:

$$ED = \frac{C_{ci} - C_{ce}}{C_{ci}} * 100 \quad ED \text{ mayor a } 99.99\%$$

Donde: ED: Eficiencia de destrucción para una determinada sustancia (%)

C<sub>ci</sub>: Flujo másico de ingreso para una determinada sustancia (g/h)

C<sub>ce</sub>: Flujo másico de emisión para una determinada sustancia (g/h)

Ejemplo Carga: 1.000 Kg/h de residuo con 10 % de tolueno (100.000 g/h), Caudal 10.000 Nm<sup>3</sup>/ hr

Emisión: 1 mg/Nm<sup>3</sup> o sea 0.24 ppm de tolueno.

$$ED = \frac{100.000 \text{ g/h} - 100 \text{ g/h}}{100.000 \text{ g/h}} * 100 = 99.99 \%$$

## **Seminario: “La Gestión Integral de los Residuos Sólidos”**

También en la Ley 24051 se especifican los distintos parámetros de operación y las concentraciones para los contaminantes emitidos.

En el caso de la Provincia de Buenos Aires, las emisiones están reglamentadas por la Ley 5.965, Decreto Reglamentario 3.395/95 , de Protección a la Atmósfera. En ésta se especifican las normas y los niveles guía de calidad del aire ambiental para algunos contaminantes, como así también los niveles guía de emisión para nuevas fuentes industriales.