



**FICAD**

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo

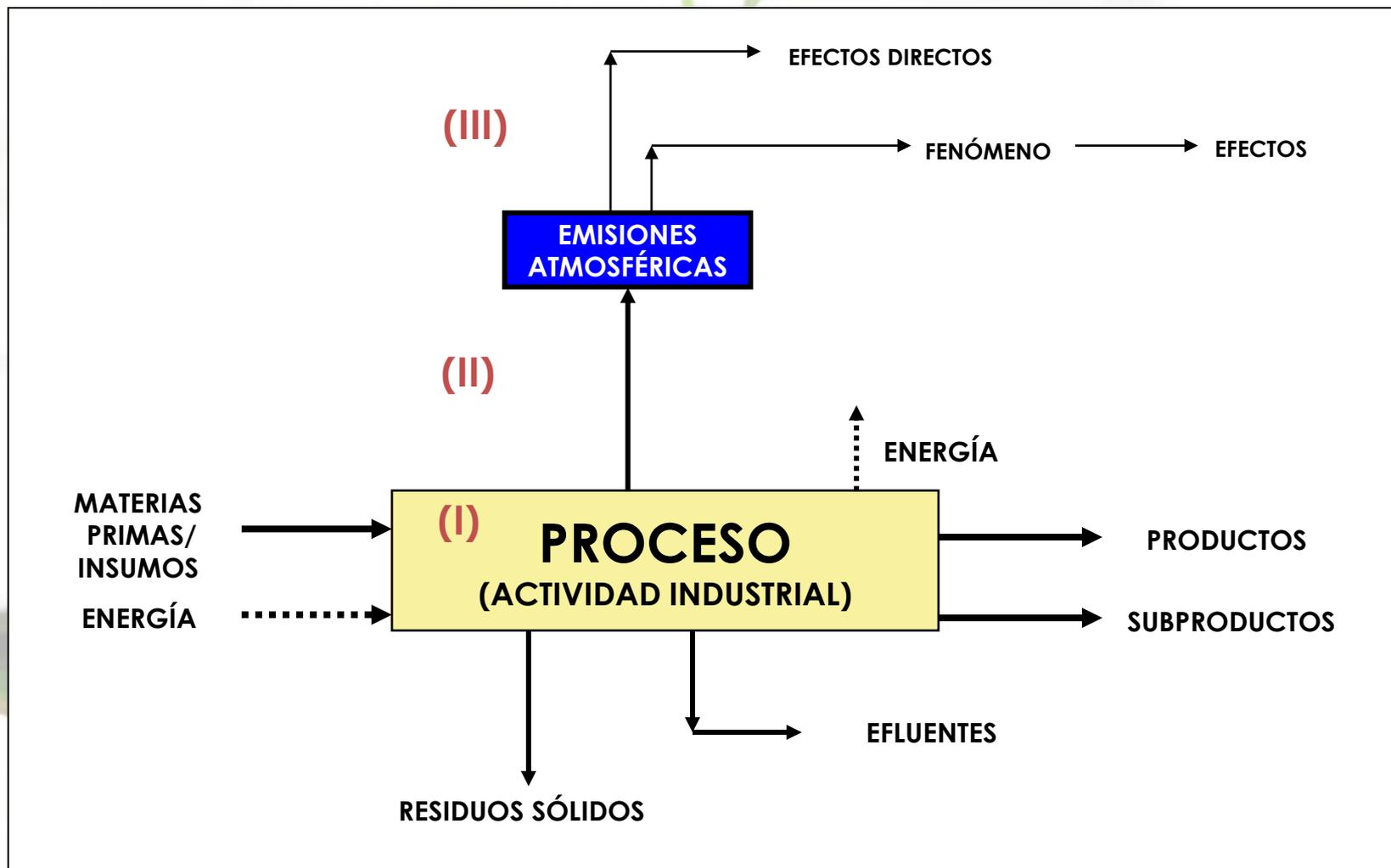
**CUARTA UNIDAD**

# **“TECNOLOGIA DE CONTROL DE CONTAMINANTES EN EMISIONES GASEOSAS”**





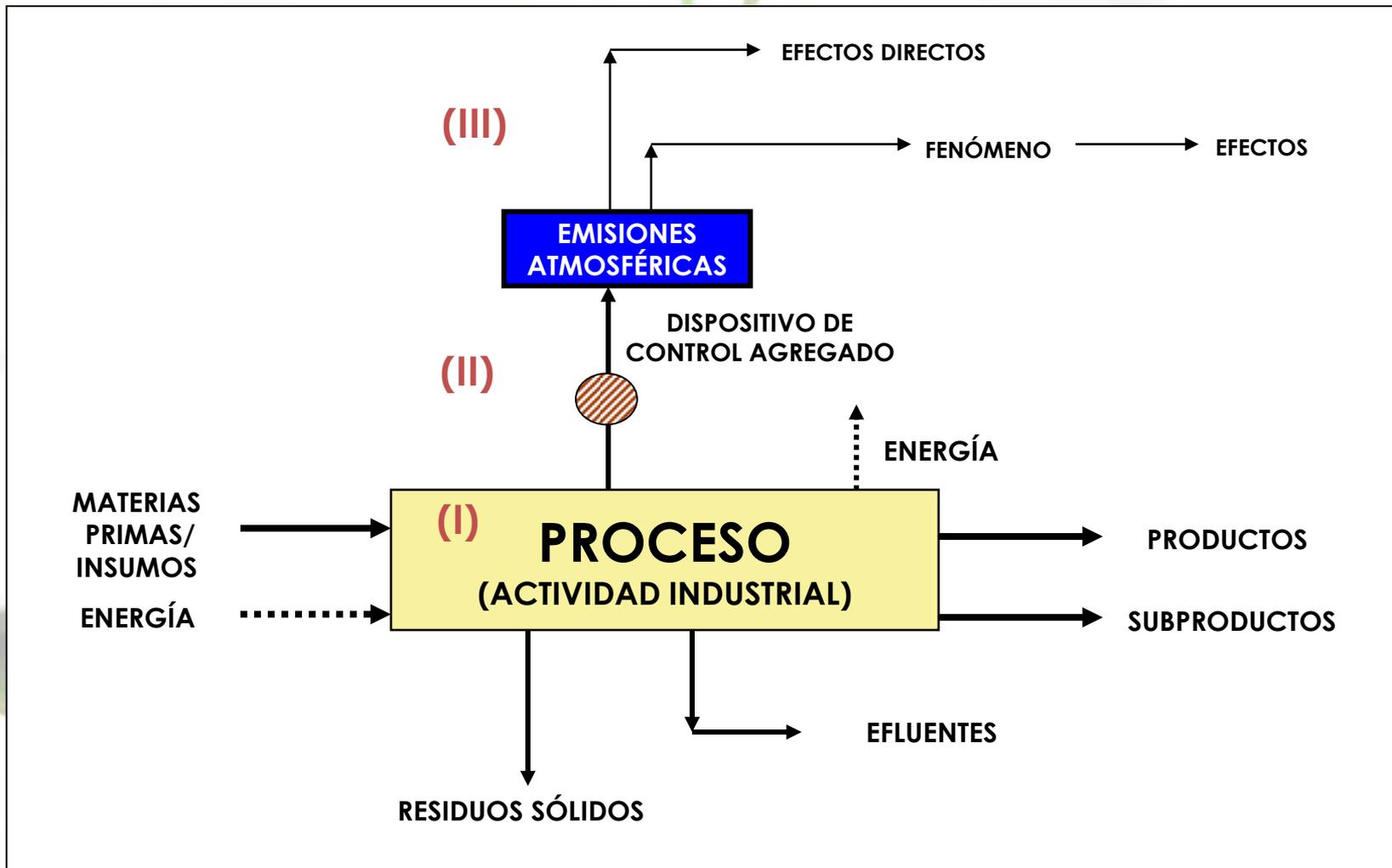
# CONTROL DE EMISIONES INDUSTRIALES





# CONTROL DE EMISIONES INDUSTRIALES

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo





# ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL

- ✓ **Sin uso de dispositivos de control agregado:**
  - ✓ Buenas prácticas operativas
  - ✓ Cambios de materiales y combustibles
  - ✓ Modificación o cambio de procesos
  - ✓ Cierre de fábricas o instalaciones
  
- ✓ **Con uso de dispositivos de control agregado:**
  - ✓ Recuperación del contaminante
  - ✓ Destrucción del contaminante
  - ✓ Dispersión o dilución de la concentración del contaminante



**FICAD**

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo

# Técnicas de control por vía seca





# CONTROL DE PARTÍCULAS

- ✓ **CÁMARAS DE SEDIMENTACIÓN POR GRAVEDAD**
- ✓ **COLECTORES INERCIALES**
- ✓ **CICLONES**
- ✓ **COLECTORES DE TELA (FILTROS DE MANGAS)**
- ✓ **PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS**
- ✓ **TORRES DE ASPERSION**
- ✓ **LAVADORES TIPO VENTURI**



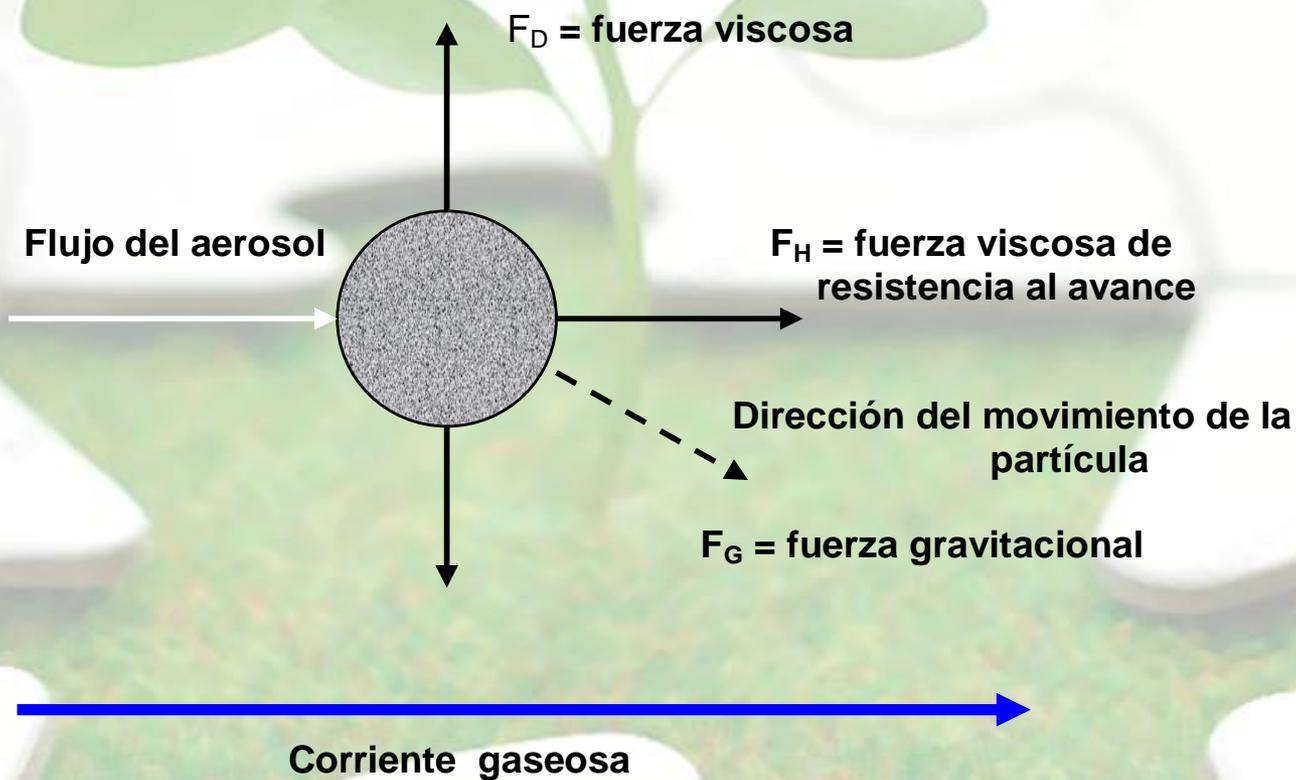
# Rango de tamaño y dispositivo de control

| Contaminante o material        | Rango del tamaño en micras |
|--------------------------------|----------------------------|
| Lluvia                         | 1000 a 10000               |
| Rocío                          | 100 a 1000                 |
| Niebla                         | 0.001 a 10                 |
| Nubes                          | 12 a 90                    |
| Vapores                        | 0.001 a 1                  |
| Polvos metalúrgicos            | 0.001 a 100                |
| Virus                          | 0.006 a 0.09               |
| Humo de cigarro                | 0.01 a 1                   |
| Humo de petróleo               | 0.05 a 1                   |
| Negro de humo                  | 0.01 a 0.15                |
| Vapores de óxido de zinc       | 0.01 a 0.12                |
| Sílica coloidal                | 0.03 a 0.08                |
| Polvo atmosférico              | 0.001 a 80                 |
| Núcleos de sal marina          | 0.05 a 0.7                 |
| Bacterias                      | 0.5 a 50                   |
| Polvo dañino                   | 0.8 a 8                    |
| Vapores alcalinos              | 0.1 a 8                    |
| Talco molido                   | 0.8 a 80                   |
| Insecticidas                   | 0.8 a 10                   |
| Pigmentos de pinturas          | 0.1 a 8                    |
| Niebla sulfúrica               | 0.5 a 5                    |
| Polvo de carbón                | 1 a 100                    |
| Ceniza fina                    | 1 a 400                    |
| Polen                          | 10 a 100                   |
| Gotas de boquillas neumáticas  | 10 a 100                   |
| Gotas de boquillas hidráulicas | 70 a 8000                  |
| Arena de playa                 | 100 a 1500                 |

| Equipo utilizado en el control | Rango de partículas que atrapa en micras |
|--------------------------------|------------------------------------------|
| Precipitadores electrostáticos | 0.01 a 90                                |
| Torres empacadas               | 0.01 a 100                               |
| Filtros de papel               | 0.005 a 8                                |
| Filtros de tela                | 0.05 a 90                                |
| Lavadores de gases             | 0.05 a 100                               |
| Separadores centrífugos        | 5 a 1000                                 |
| Cámaras de sedimentación       | 10 a 10000                               |

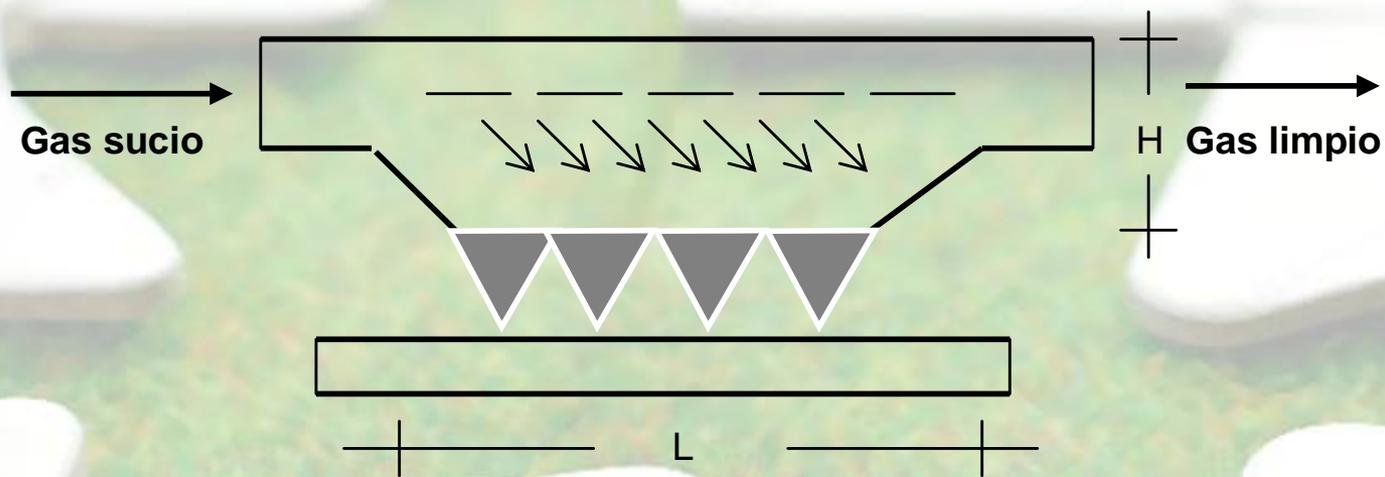


# CAMARA DE SEDIMENTACIÓN POR GRAVEDAD





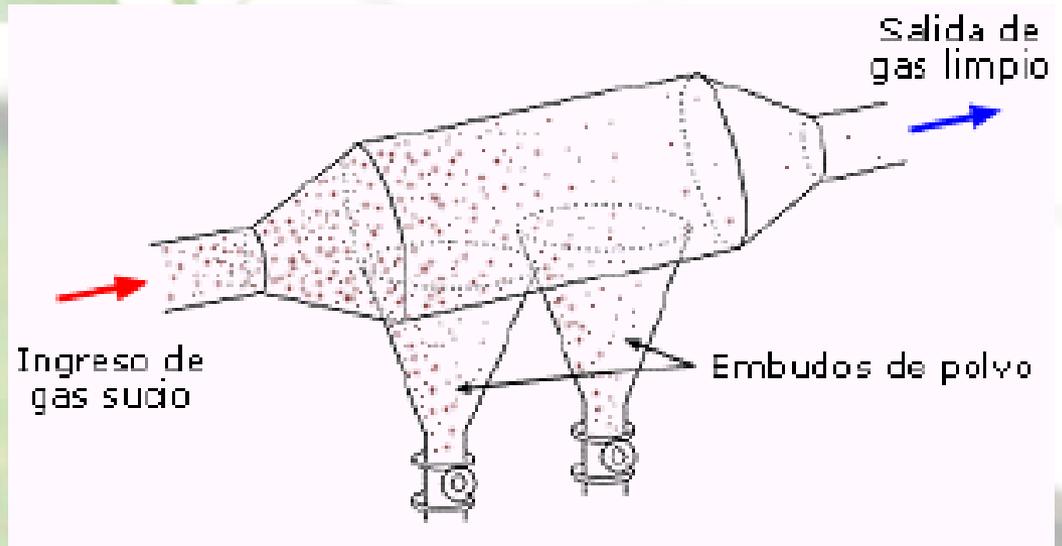
# EFICIENCIA DE UN COLECTOR POR GRAVEDAD





# CAMARA DE SEDIMENTACION POR GRAVEDAD

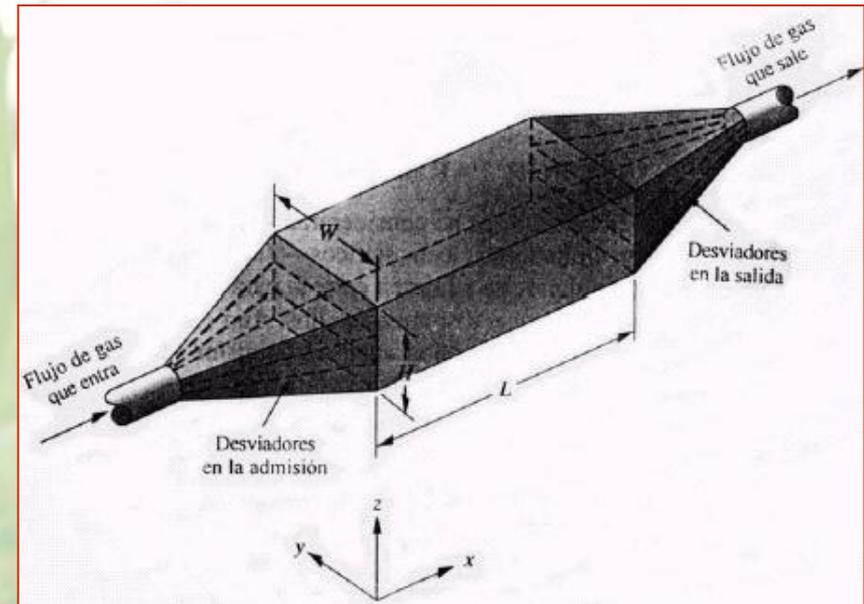
Basado en el hecho de que las partículas sólidas suspendidas en un gas caen a través de éste, bajo la acción de la gravedad, a una velocidad que depende del tamaño y la densidad de las partículas, así como la viscosidad del gas.





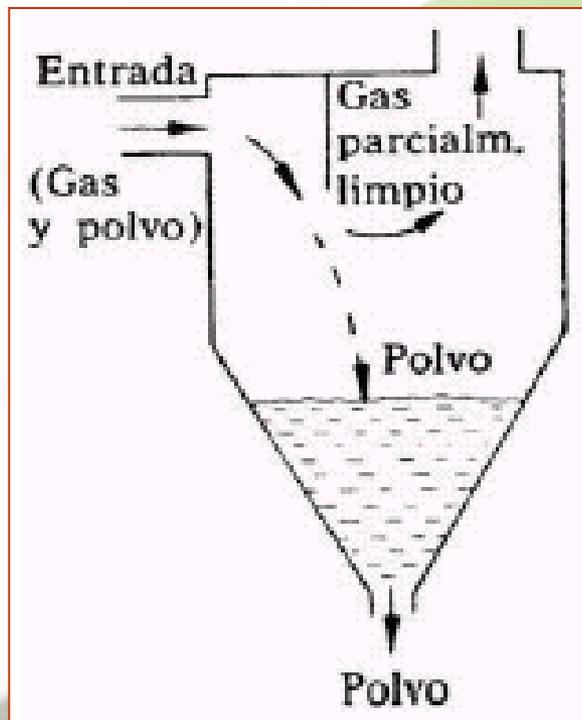
# CAMARA DE SEDIMENTACION POR GRAVEDAD

- Son grandes cámaras en las que la velocidad de los contaminantes desciende hasta que por gravedad se deposita en el fondo del equipo.
- Su máxima eficiencia se logra con partículas no mayores a 1000 micras, siempre y cuando su densidad sea alta



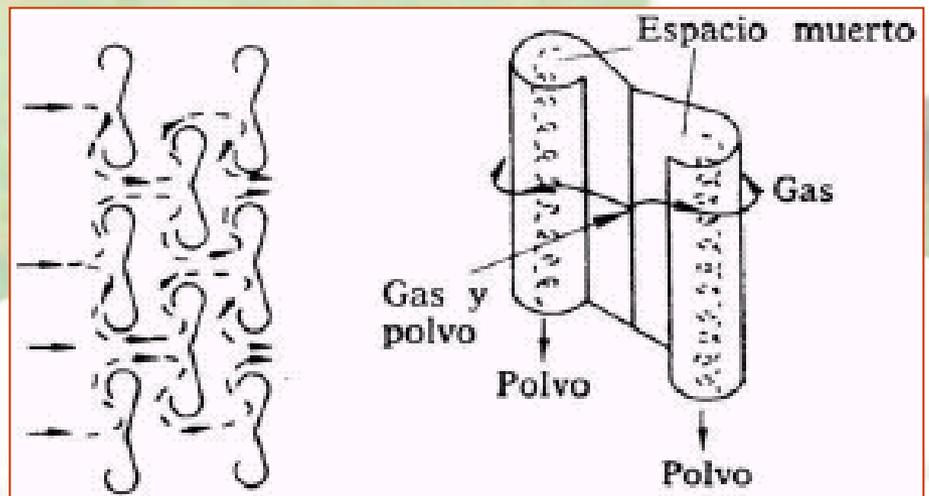


# COLECTORES INERCIALES



Se basan en el cambio repentino de la dirección del flujo de gas.

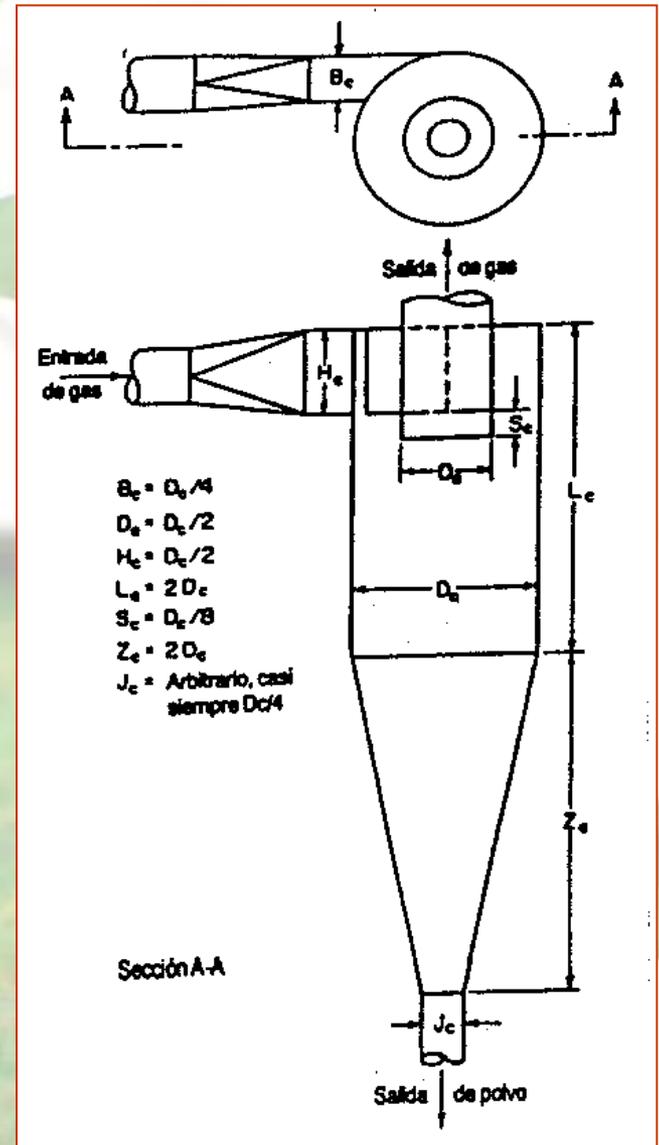
Entonces la partícula tiende a continuar durante un tiempo corto en la dirección original del flujo de gas y pasa a un espacio muerto donde puede sedimentar.



# CICLONES

Los ciclones poseen la mayor eficacia de los aparatos basados en la separación por inercia.

El polvo se concentra, por la acción de giro, en la capa del gas próximo a la pared del recipiente, para caer a la tolva ubicada en la parte inferior.

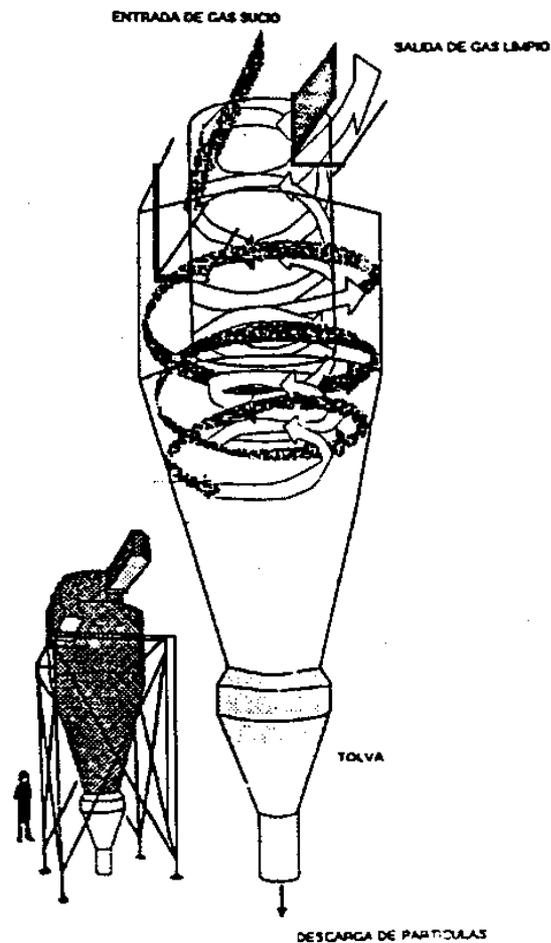




# CICLONES

Los ciclones son muy utilizados en la industria.

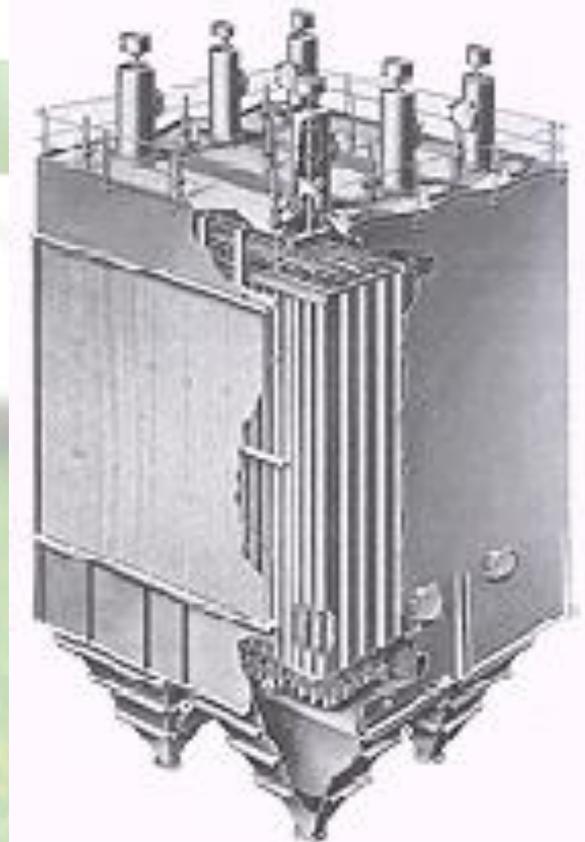
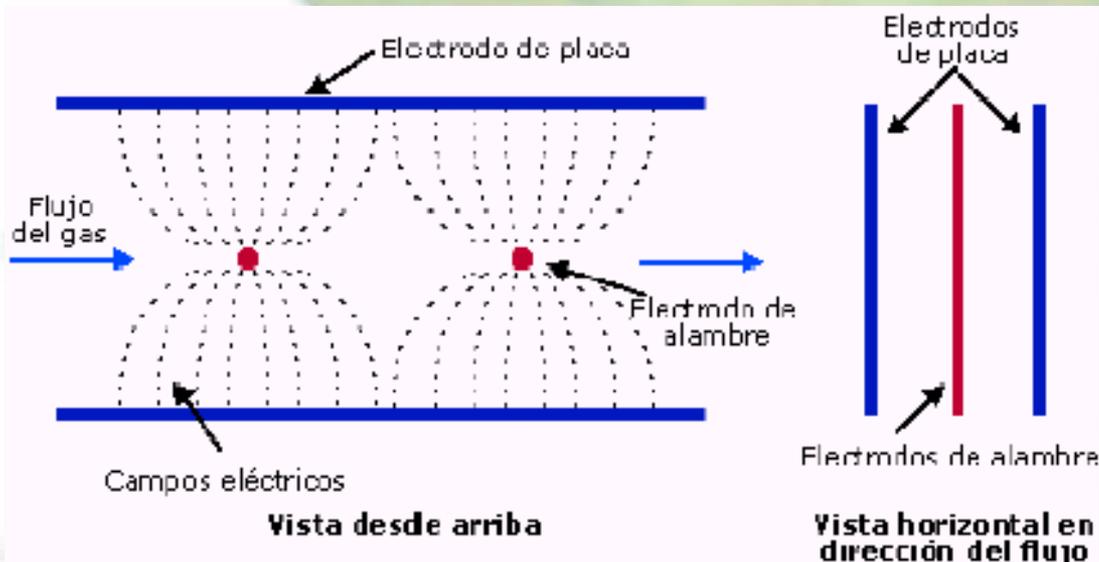
Se utilizan diversas configuraciones o distribuciones.





# PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

Sistema basado en el hecho que las partículas cargadas eléctricamente, sujetas a un campo eléctrico, son atraídas hacia los electrodos que crean dicho campo y depositadas sobre ellos.

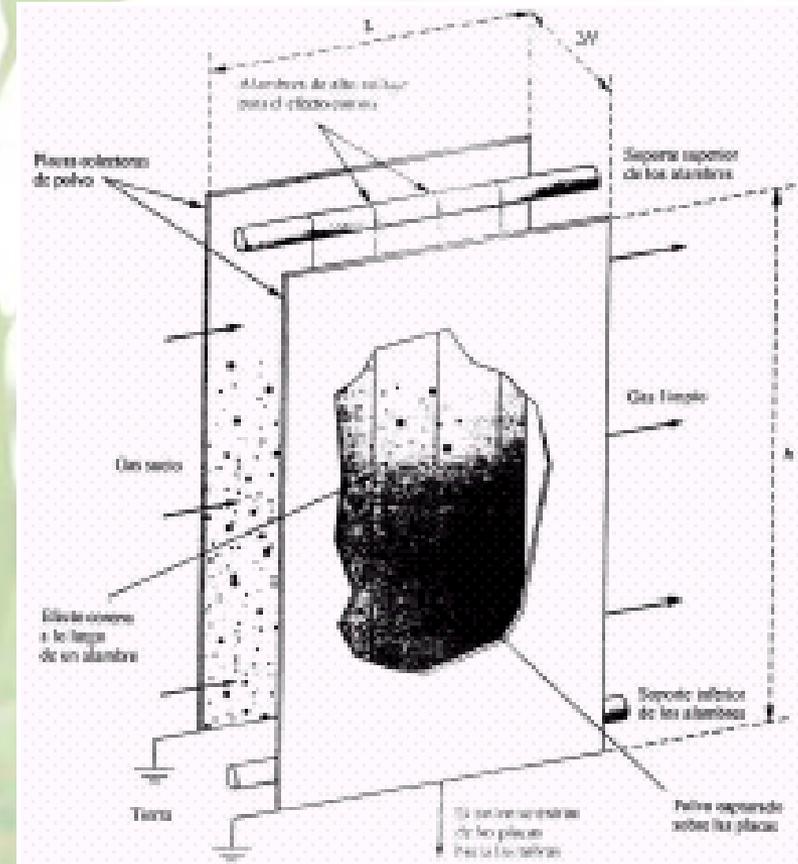




# PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS

Estos dispositivos:

- Permiten separar partículas por debajo de 0.01 micras
- Permiten trabajar a temperaturas altas, hasta de 450 °C
- Son adaptables a cualquier condición de trabajo
- Es posible separar diversos tipos de material suspendido, ya sea polvo o niebla.

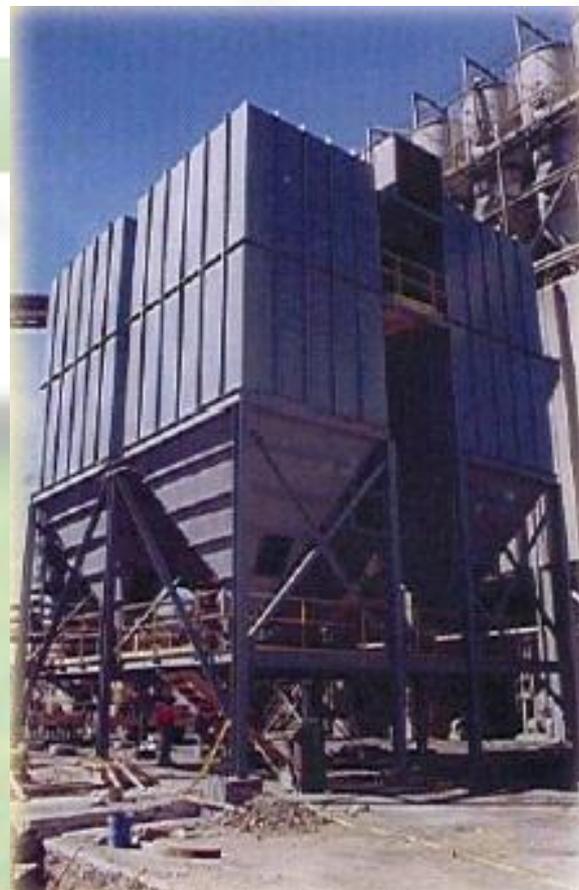
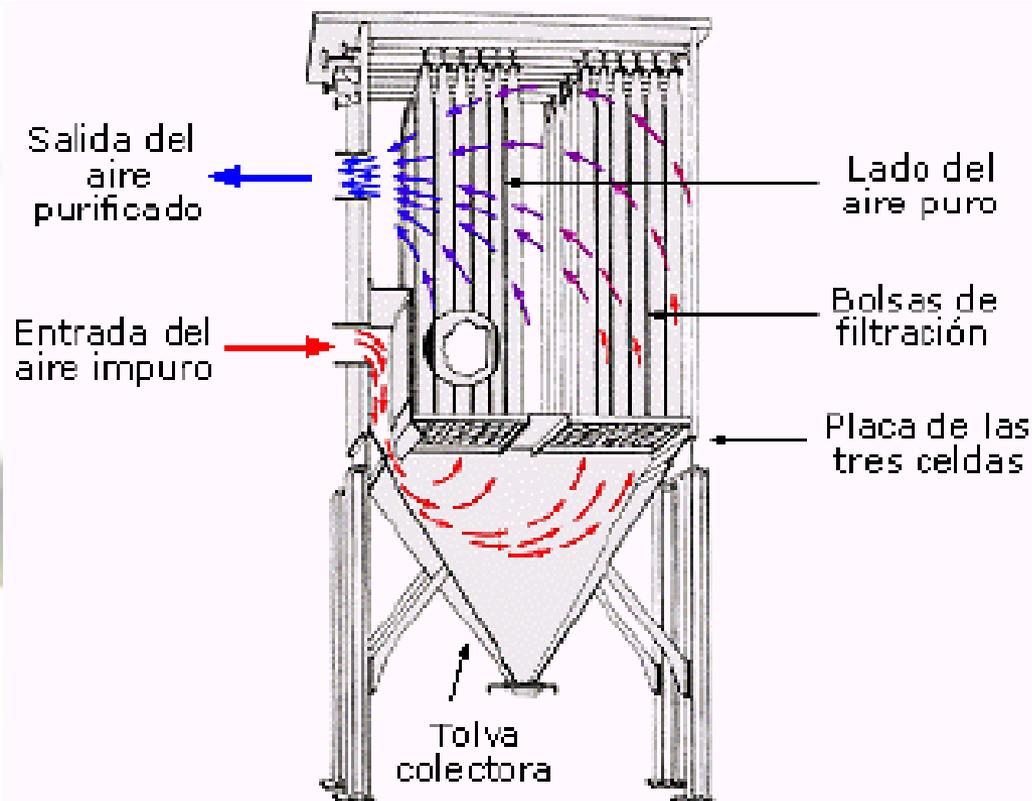


Vista de un EPS moderno y grande,  
cortesía: Institute of Clean Air Companies



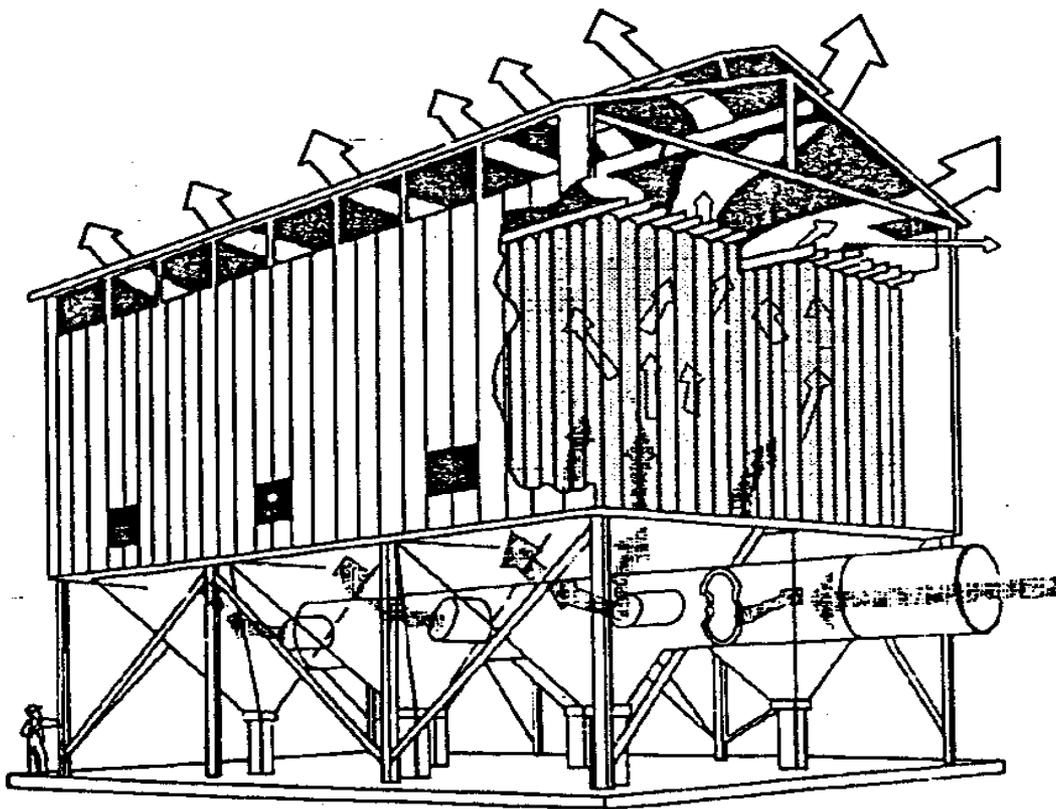
# COLECTORES DE TELA

Basados en el principio de hacer pasar los gases cargados de partículas a través de un medio filtrante poroso donde quedan retenidas.





# COLECTORES DE TELA



Se distinguen los siguientes medios filtrantes:

- Papel poroso y esteras fibrosas
- Filtros de tela y de fieltro



**FICAD**

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo



# Técnicas de control por vía húmeda



# Tipos de colectores Húmedos

▪ Hay tres tipos de colectores húmedos dependiendo de la cantidad de energía suministrada o utilizada en el sistema de limpieza.

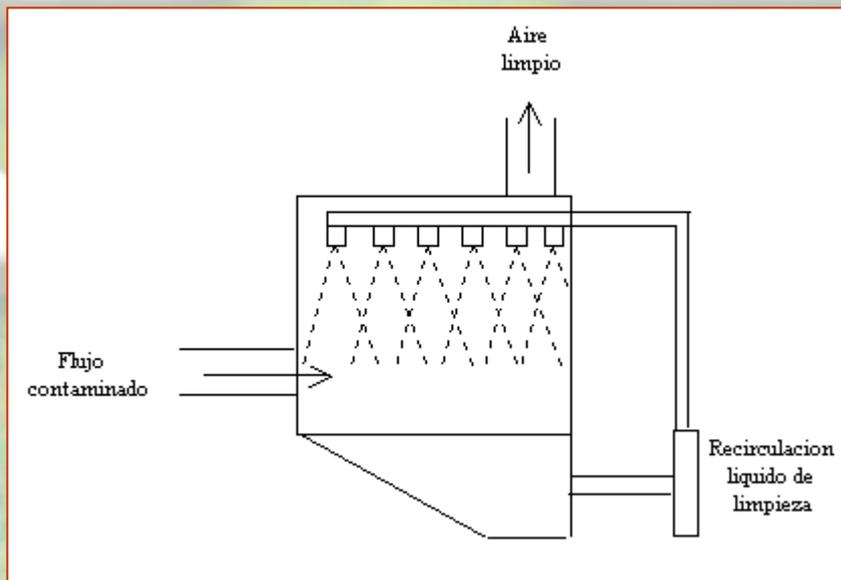
- Colectores de baja energía
- Colectores de media energía
- Colectores de alta energía

▪ La eficiencia de remoción de partículas está directamente relacionada con la energía requerida por el separador húmedo:



# Colectores de baja energía

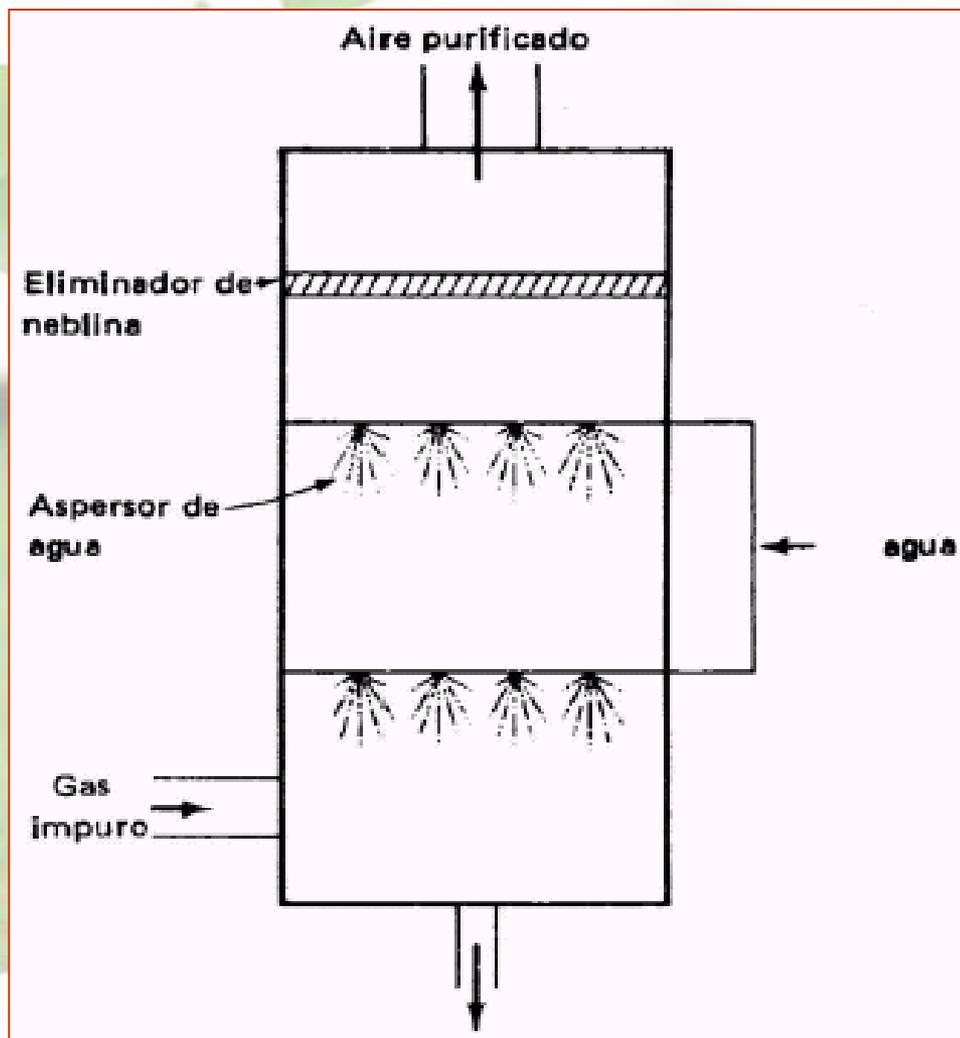
- Son aquellos en los que el flujo de aire contaminado pasa por una niebla o cortina de agua.
- Son para atrapar partículas de más de 50 micras o para hacer reacciones químicas o térmicas con los contaminantes.
- Los más conocidos son las cajas de aspersión, en los que el flujo contaminado pasa por una cámara en la que se ponen en contacto el gas y el agua mediante la aspersión del líquido.





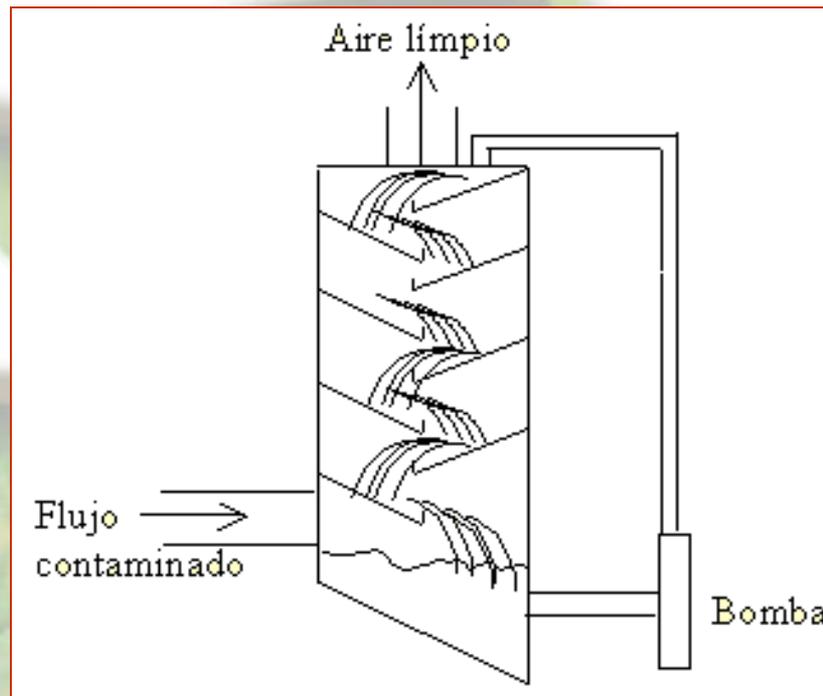
# Lavador de torre por aspersión

El contacto de las partículas con el líquido pueden darse en mas de una etapa, aumentando la captura.



# Colectores de media energía

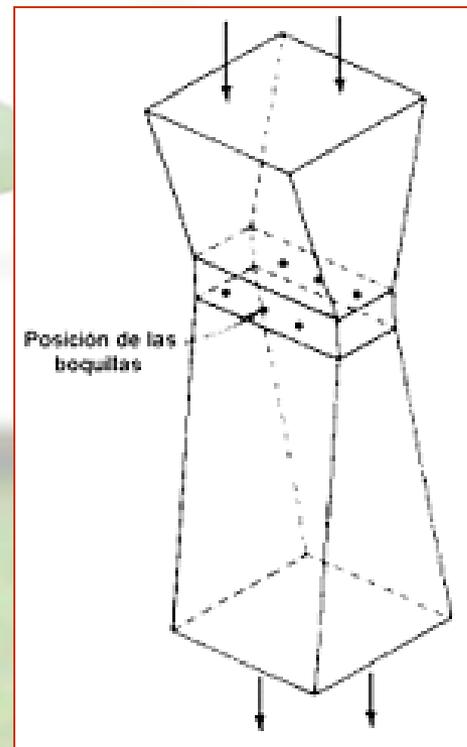
- En ellos flujo de contaminantes pasa por una serie de mamparas con cortinas de agua o junto a las paredes húmedas de los lavadores, las partículas del contaminante se unen al agua y luego ésta es tratada para separarla de los contaminantes.





# Colectores de alta energía

- Son aquellos equipos que utilizan la energía para mezclar con gran eficiencia a las emisiones y el agua, los equipos más conocidos son los venturi de alta energía.
- Estos equipos logran capturar con 99% de eficiencia a partículas de 0.5 de micra.



- Para lograr estas eficiencias se llegan a tener caídas de presión hasta de 1000 mm de agua, lo que implica el uso de mucha potencia.



# Lavador tipo venturi

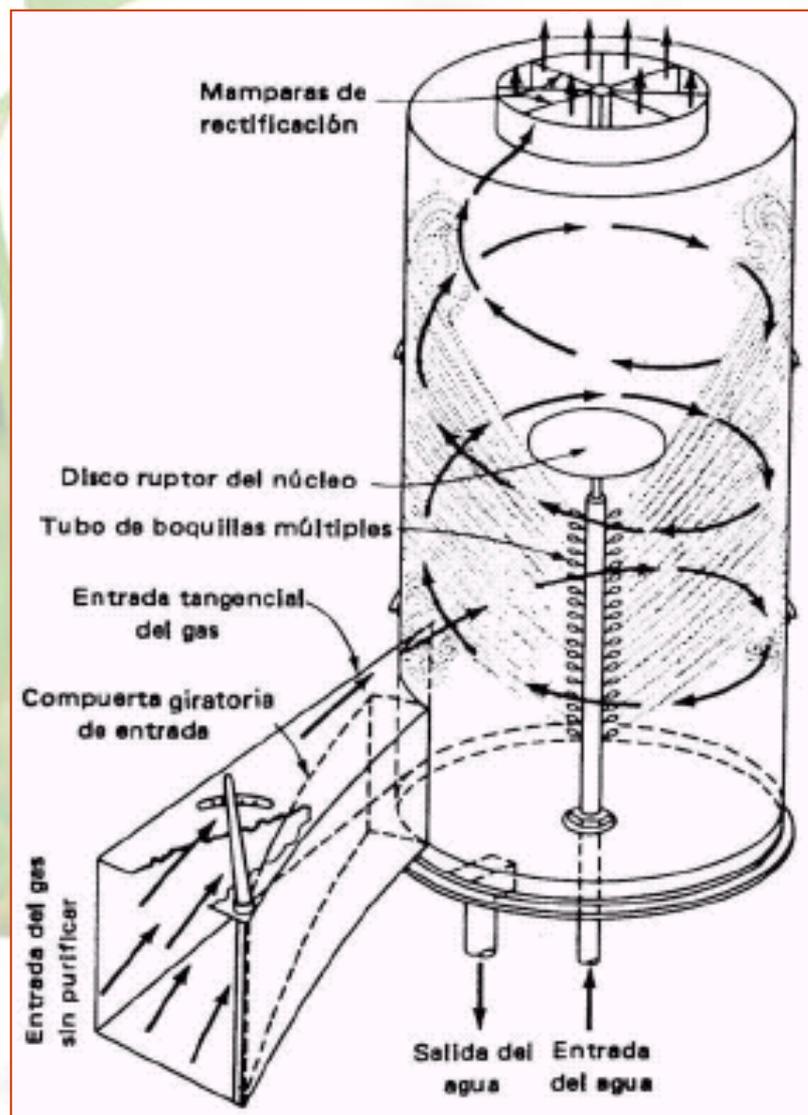


Este sistema de captura permite una mayor eficiencia de contacto y suele ubicarse en las líneas de conducción del gas



# Torre de aspersión ciclónica

- Este sistema utiliza fases mezcladas de gas y líquido, de manera que la materia suspendida en el gas pase al líquido absorbedor.
- Estos aparatos están basados en la colisión entre las partículas y las gotas de líquido.





# Los parámetros que afectan una torre de limpieza húmeda

- No hay un método general para el diseño de un separador húmedo, habrá que ver los requerimientos del efluente y, mediante prueba y error, determinar el óptimo entre los costos.

## 1. Distribución de tamaño y carga de partículas:

- Los colectores húmedos van a tener una buena eficiencia para partículas grandes, de 5 a 10  $\mu\text{m}$  con pérdidas de presión no muy elevadas.
- Para conseguir eficiencias elevadas en distribuciones de partículas menores, se requerirán de equipos de venturi con separador ciclónico, y altas pérdidas de presión.



## Los parámetros que afectan una torre de limpieza húmeda(2)

- Las características del efluente gaseoso contaminado influirán en el diseño del separador.

### **2. Razón del flujo, temperatura y humedad del gas residual:**

- A mayor flujo volumétrico de gas se necesitará un equipo más grande y un mayor volumen de líquido
- La temperatura y humedad del gas residual de entrada van a determinar la evaporación de líquido, tendiendo a aumentar la relación líquido-gas con gases con poca humedad y alta temperatura.

Los separadores húmedos no operan a flujos volumétricos muy elevados, a diferencia de los filtros de mangas o los precipitadores electrostáticos que tienen mayor capacidad.

# Los parámetros que afectan una torre de limpieza húmeda(3)

## 3. Pérdida de presión:

- La velocidad relativa entre el gas y las gotas de líquido aumenta la eficiencia de recolección, pero a mayor velocidad mayor es la caída de presión en el sistema.

$$\Delta P = k v^2 \rho_g \left( \frac{L}{G} \right)$$

**Donde:**

$\Delta P$  = caída de presión a través del venturi (mmH<sub>2</sub>O)

$v$  = velocidad de garganta (m/s)

$\rho_g$  = densidad del gas (Kg/m<sup>3</sup>)

$L/G$  = relación líquido a gas (l/m<sup>3</sup>)

$k$  = factor de correlación para un diseño específico de torre de limpieza. Una de las ecuaciones más aceptadas para un separador de venturi es la de Calvert, con  $K=5,2 \cdot 10^{-6}$



# Los parámetros que afectan una torre de limpieza húmeda(4)

## 4. Velocidad y sección de la garganta de venturi:

- La garganta es el lugar donde se produce el estrechamiento del separador de venturi, aumentando la velocidad del gas y la turbulencia (>mezclado)
- Es donde se produce la mayor pérdida de presión, por lo que aunque la mayor velocidad favorece la máxima eliminación de partículas, existen unas limitaciones en su diseño

- Velocidad óptima en la garganta sería:

$$v_t = \frac{Q_m}{A_t} = C \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_{sat}}}$$

Donde:

$v_t$  = velocidad en la garganta (m/s)

$A_t$  = área de sección transversal de la garganta (m<sup>2</sup>)

$Q_m$  = razón de flujo volumétrico máximo real de aire (m<sup>3</sup>/s)

$\rho_{sat}$  = densidad del gas al punto de saturación (Kg/m<sup>3</sup>)

$C$  = constante para separadores de venturi con sección convergente de 30° y divergente de 10° a 12° y una densidad de gas no mayor de 1 kg/m<sup>3</sup>.

$$C = 4382 e^{(-0.045 L/G)}$$



# Los parámetros que afectan una torre de limpieza húmeda(5)

## 5. Relación líquido-gas (L/G):

- Esta relación tenderá a aumentar con el aumento de la carga de partículas en el efluente contaminado con el fin de mejorar la eficiencia.
- Esta relación suele encontrarse entre 1 y 1,5 litros por cada metro cúbico de aire contaminado.

## 6. Tamaño de la gota:

En principio a menor tamaño de gota, se consigue una mayor eficiencia de recolección, pero ocurre que a un determinado tamaño de gota límite (llega a ser resuspendida con el efluente gaseoso).



# Los parámetros que afectan una torre de limpieza húmeda(6)

## 7. Tiempo de residencia:

- El mayor tiempo de contacto entre el líquido y el material particulado >eficiencia de recolección.
- Para separadores venturi para > eficiencia:
  - Longitud garganta = 3 Diámetro
  - Longitud divergencia = 4 Diámetro



## Diámetro de corte para distintos equipos colectores de partículas

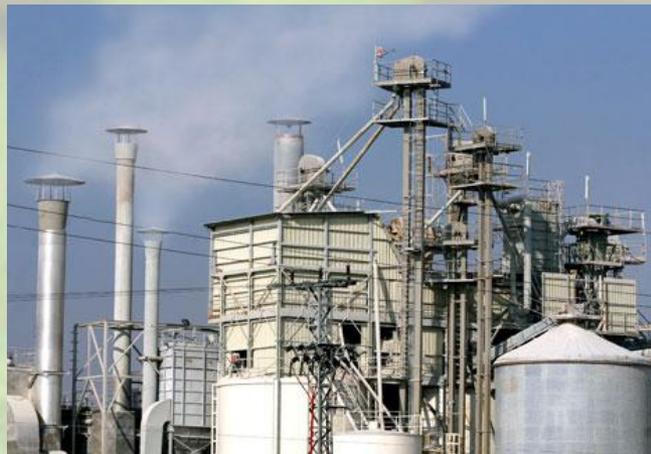
| Scrubber Type | Pressure Drop<br>(in. H <sub>2</sub> O) | L/G Ratio<br>(gal/1000 acf) | Liquid<br>Pressure (psig) | Gas Velocities<br>(ft/sec) | Cut Diameter<br>(μm) |
|---------------|-----------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|
| Spray Tower   | 0.5-3                                   | 0.5-20                      | 10-400                    | 10                         | 2-8                  |
| Cyclonic      | 2-10                                    | 2-10                        | 10-400                    | 105-140b                   | 2-3                  |
| Venturi       | 10-150                                  | 2-20                        | 0.5-2                     | 90-400c                    | 0.2                  |



**FICAD**

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo

# TECNOLOGIAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES EN EMISIONES GASEOSAS





# FICAD

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo

## Técnica de control por absorción





# Absorción de gases

- La **absorción** es el proceso mediante el cual un contaminante gaseoso se disuelve en un líquido.
- El agua es el absorbente más usado.
- La absorción se usa comúnmente para recuperar productos o purificar gases con alta concentración de compuestos orgánicos.

Figure 2. Graph (A)

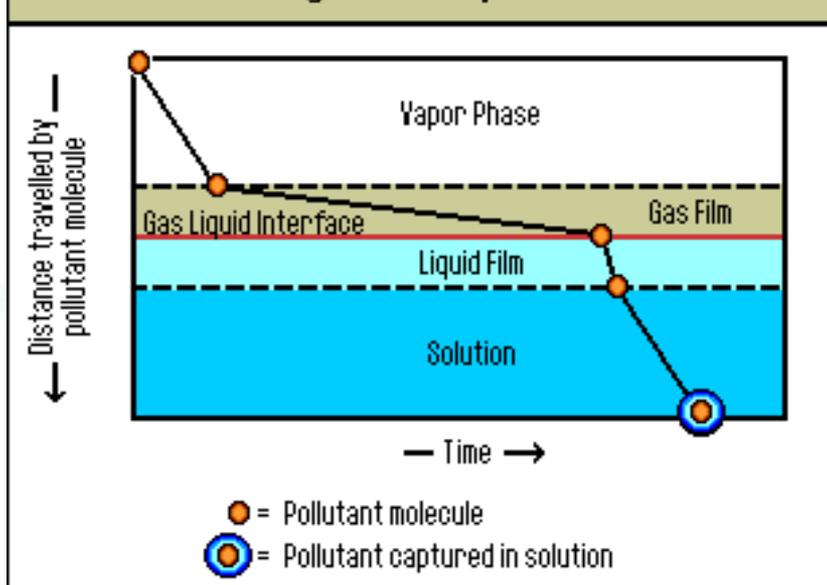
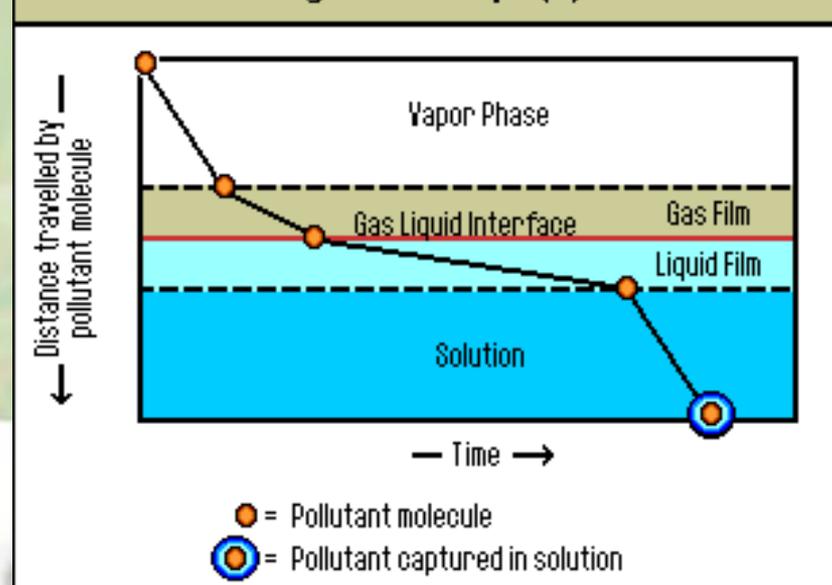


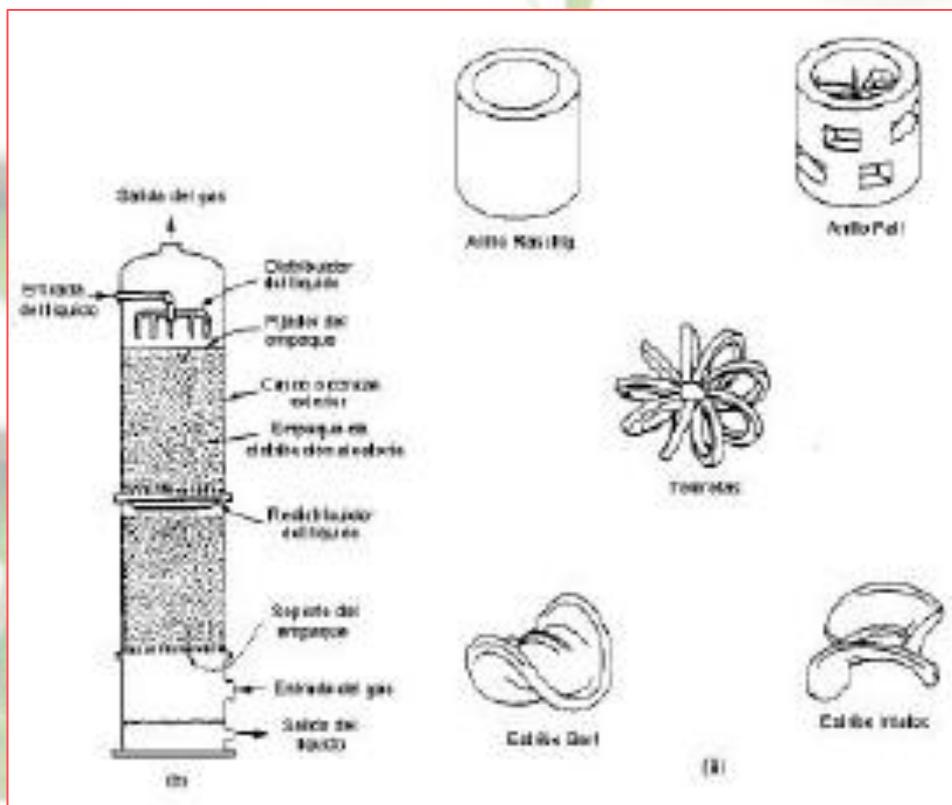
Figure 3. Graph (B)





# Columnas de Absorción

- El absorbedor de columna de relleno contiene una sustancia inerte (no reactiva), como plástico o cerámica, que aumenta la superficie del área líquida para la interfaz líquida/gaseosa.





# Equilibrio de fases

## Ley de Henry:

$$y = H * x$$

### Donde:

**y:** fracción molar del contaminante en la fase gaseosa

**H:** Constante de Henry

**x:** Fracción molar en la fase Líquida

- de absorción esta diseñado para obtener la mayor cantidad de mezcla posible entre el gas y el líquido.
- Los absorbedores son frecuentemente llamados lavadores de gas y existen varios tipos de ellos.



# Constantes de Henry

**Table 4. Henry's Law Constants for Common Gases in Water ( $H \times 10^{-5}$  atm/mole fraction)**

| Gas              | 20°C  | 30°C  |
|------------------|-------|-------|
| Air              | 66.4  | 77.1  |
| CH <sub>4</sub>  | 37.6  | 44.9  |
| CO               | 53.6  | 62.0  |
| CO <sub>2</sub>  | 1.42  | 1.86  |
| H <sub>2</sub> S | 0.483 | 0.609 |
| N <sub>2</sub>   | 80.4  | 92.4  |
| NO               | 26.4  | 31.0  |
| SO <sub>2</sub>  | 0.014 | 0.016 |

# Comportamiento con la temperatura

**Table 1. Henry's Law Constants for Common Gases in Water**

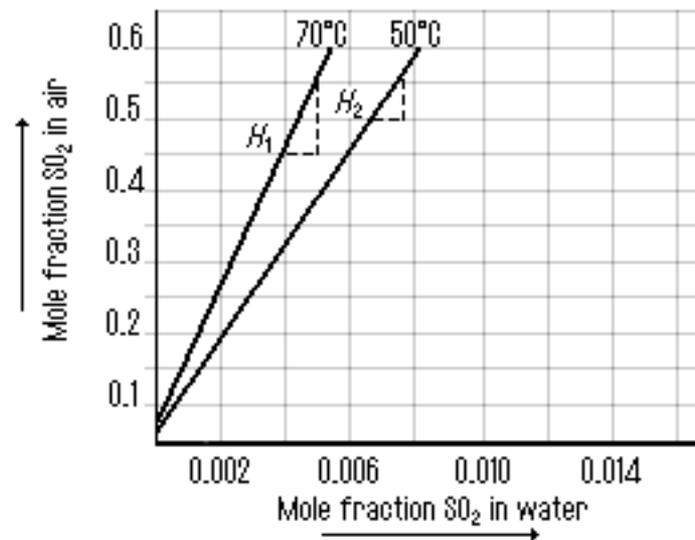
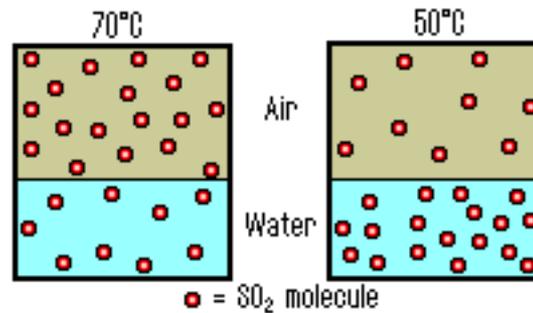
| Gas              | Henry's Law Constants,<br>$H \times 10^5$ atm/mole fraction |        |
|------------------|-------------------------------------------------------------|--------|
|                  | (20°C)                                                      | (30°C) |
| N <sub>2</sub>   | 80.4                                                        | 92.4   |
| CO               | 53.6                                                        | 62.0   |
| O <sub>2</sub>   | 40.1                                                        | 47.5   |
| NO               | 26.4                                                        | 31.0   |
| CO <sub>2</sub>  | 1.42                                                        | 1.86   |
| H <sub>2</sub> S | 0.483                                                       | 0.609  |
| SO <sub>2</sub>  | 0.014                                                       | 0.016  |

**Table 2. Sulfur Dioxide Solubility Data**

| Partial Pressure of<br>SO <sub>2</sub> in Gas Phase (Air)<br>(mm Hg) | Concentration of<br>Dissolved SO <sub>2</sub><br>(gm SO <sub>2</sub> /100 gm H <sub>2</sub> O) |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 42                                                                   | 0.5                                                                                            |
| 85                                                                   | 1.0                                                                                            |
| 129                                                                  | 1.5                                                                                            |
| 176                                                                  | 2.0                                                                                            |
| 224                                                                  | 2.5                                                                                            |
| 273                                                                  | 3.0                                                                                            |

# Comportamiento con la temperatura

Figure 4. Henry's Law Solubility Curve for  $\text{SO}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$

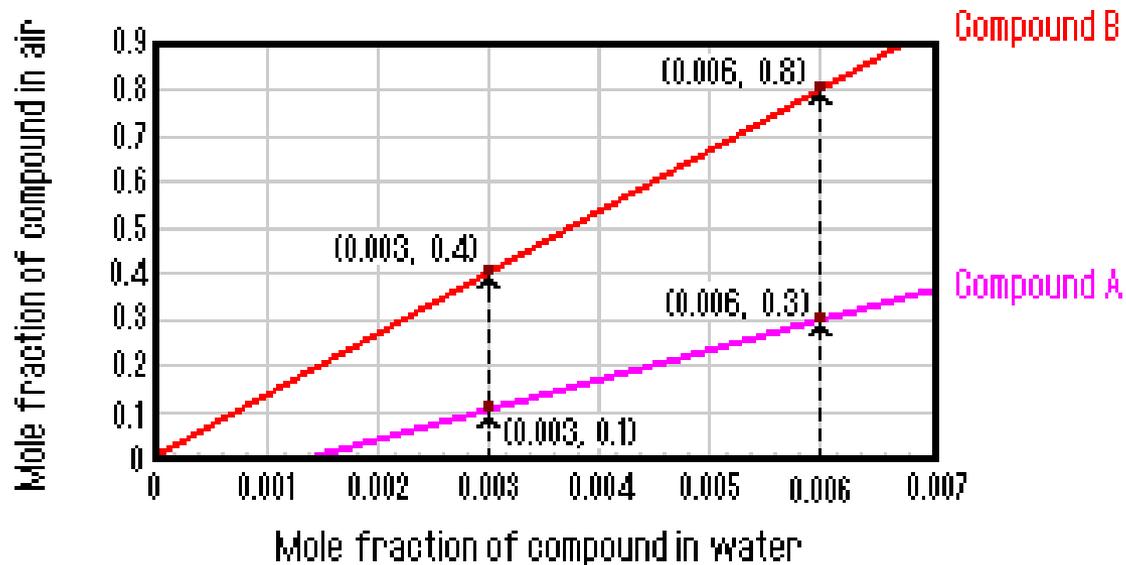


$H_1$  and  $H_2$  are Henry's law constants, which equal the slopes of the two respective lines.



# Graficas de Solubilidad

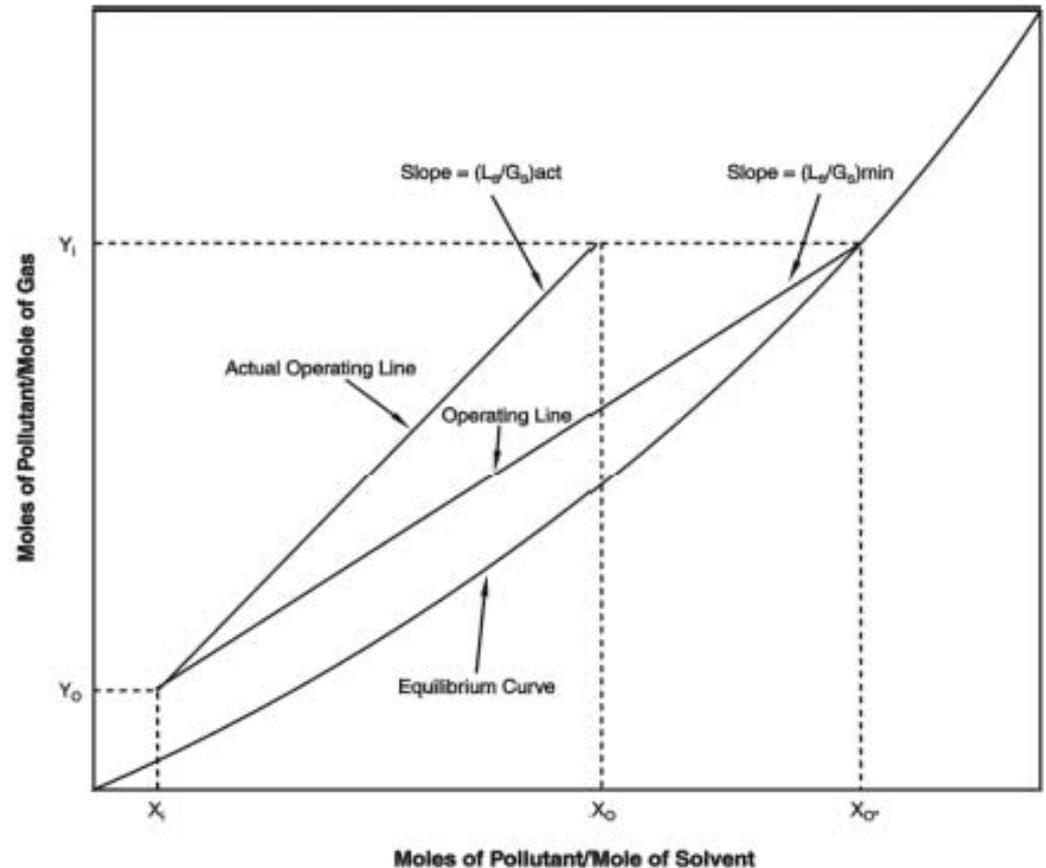
Figure 11. Solubility Graph



# Ecuaciones de equilibrio

$$\left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\min} = \frac{Y_i - Y_o}{X_o^* - X_i}$$

$$\left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\text{act}} = \left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{\min} \times (\text{adjustment factor})$$



# Inundación en torres de absorción (de relleno)

Ambiental y Desarrollo

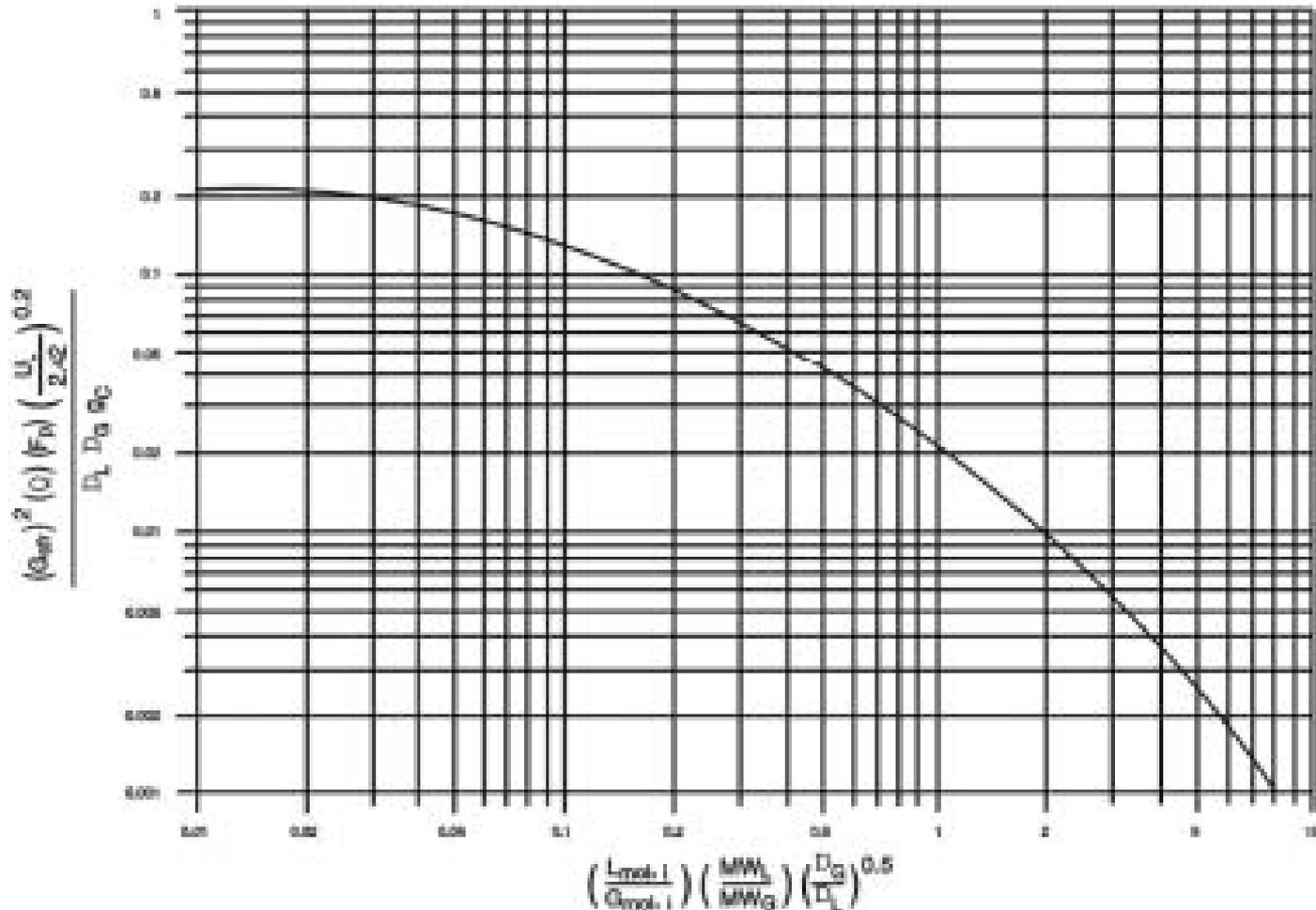
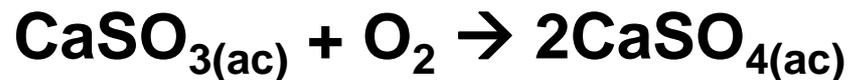


Figure 1.5: Eckert's Modification to the Generalized Correlation at Flooding Rate



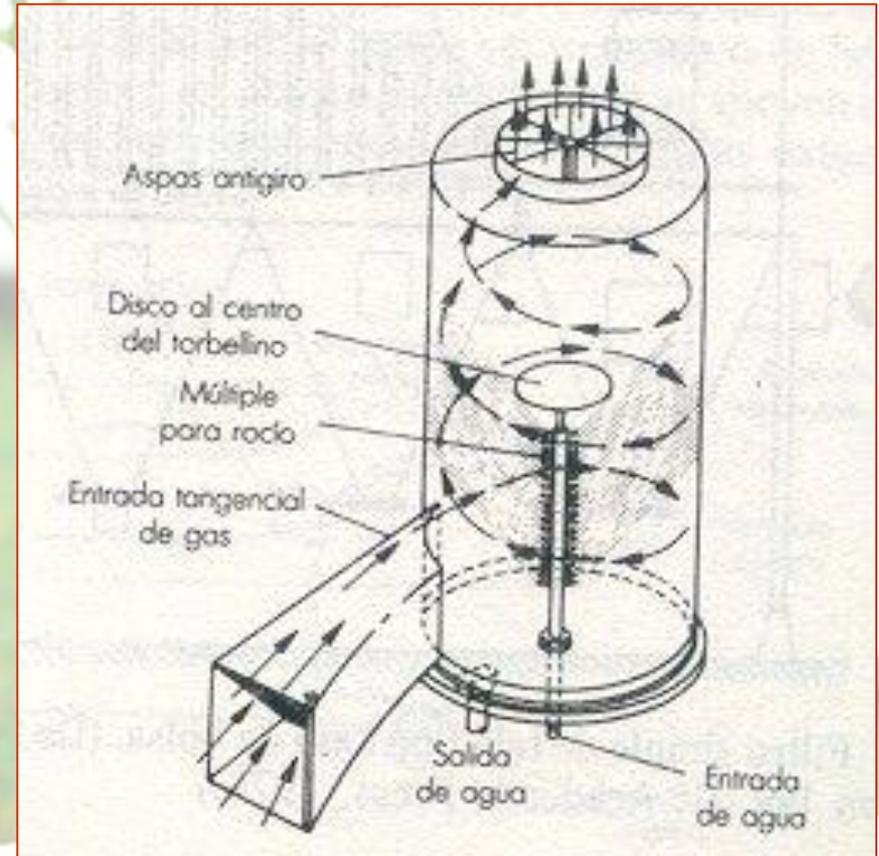
# Procesos de absorción con reacción química

## LAVADO DE GASES (SISTEMA CÁLCICO)



# Depurador de rocío Centrífugo

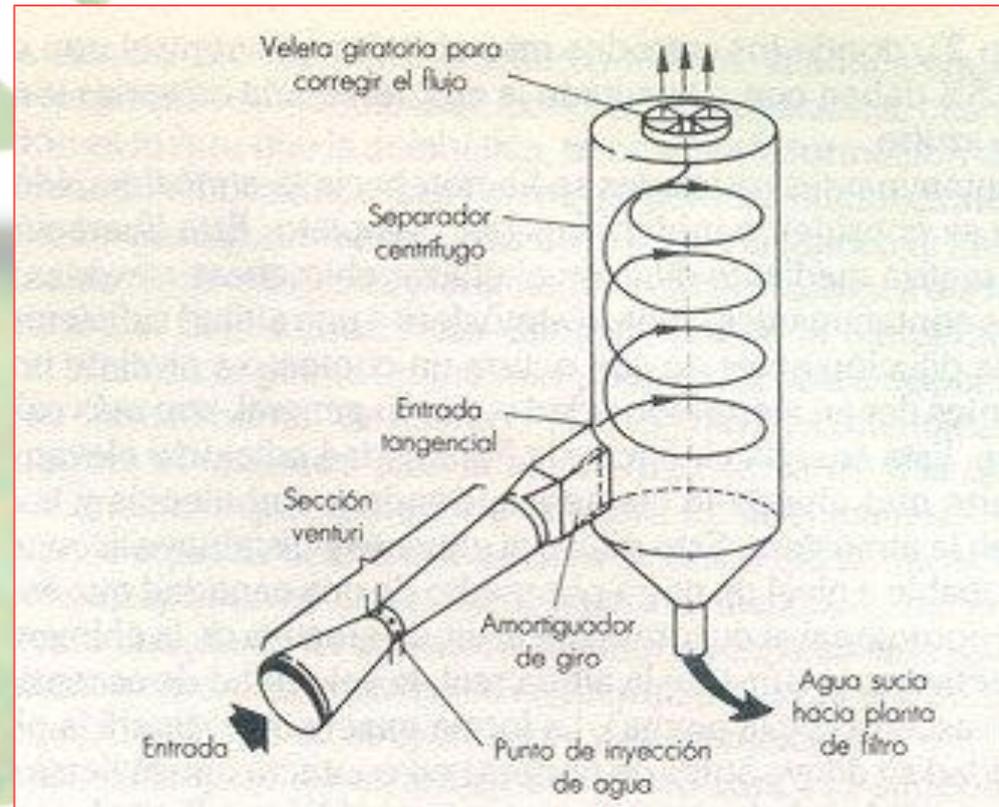
- En los depuradores dinámicos de gas se rocía una película de agua sobre una superficie en movimiento, como las aspas de un ventilador por ejemplo.
- Las gotas adquieren un movimiento en espiral, ya que son relativamente grandes e interceptan las partículas de gas y polvo.





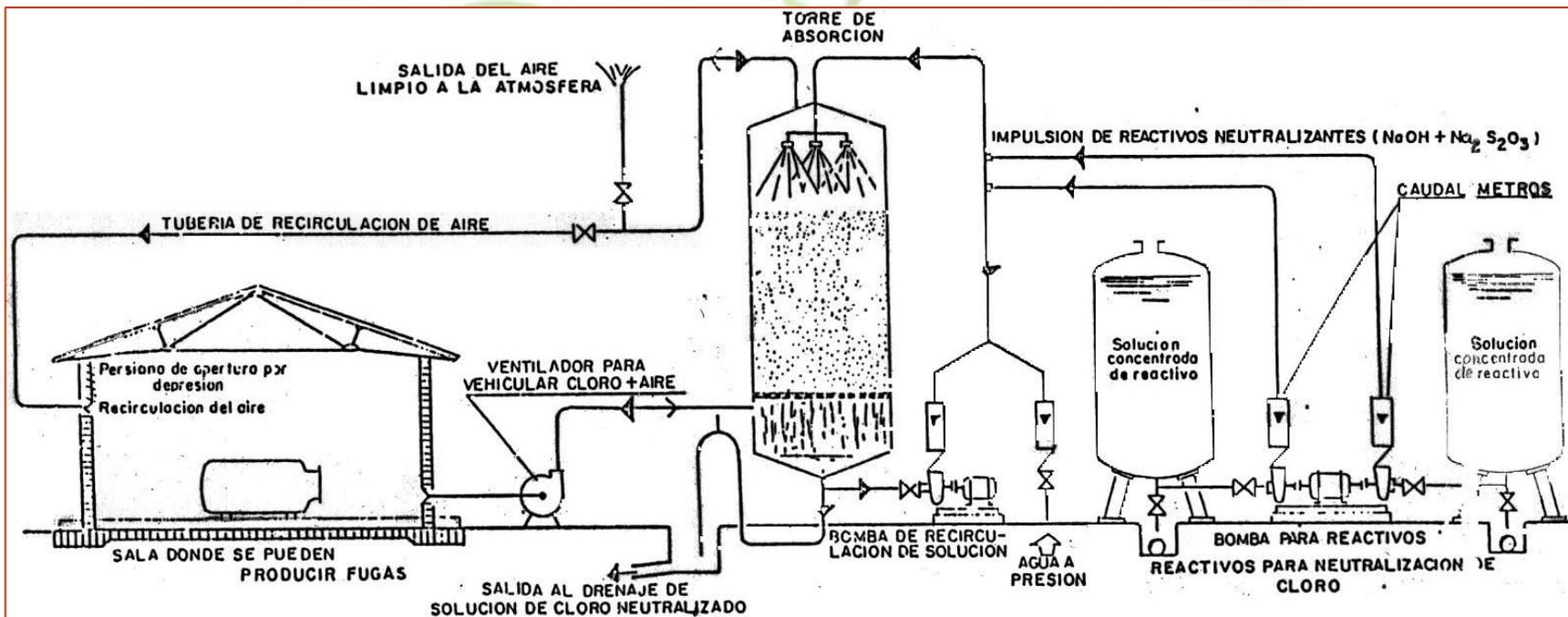
# Sistema Venturi con aplicación de absorción

- Un tipo de depurador de gases más efectivo es el Venturi, donde el líquido se pone en contacto (por lo general mediante rocíos) con el gas sucio que se mueve a velocidades altas a través del conducto de un venturi





# Ejemplo: Absorción de Cloro



ESQUEMA DE DISPOSITIVO DE ABSORCIÓN DE FUGAS DE CLORO EN SALAS CERRADAS  
(Recirculación de aire y de solución absorbente; opcionales)



# FICAD

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo

## Técnica de control por adsorción





# Tipos de absorción

## Adsorción física:

- rápida, equilibrio
- posible formación de multicapas.

## Adsorción química:

- procesos específicos.
- Energía de activación.
- Lentos y no reversibles .
- Monocapas adsorbidas.





# Mecanismos de Adsorción e Isotermas

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo

**Adsorción de gases y vapores sobre sólidos**

**adsorbente: sólido**

**adsorbato : gas o vapor**

**adsorción : en superficie;**

**absorción : en el seno del sólido**

$$W_e = k P^m$$

Donde:

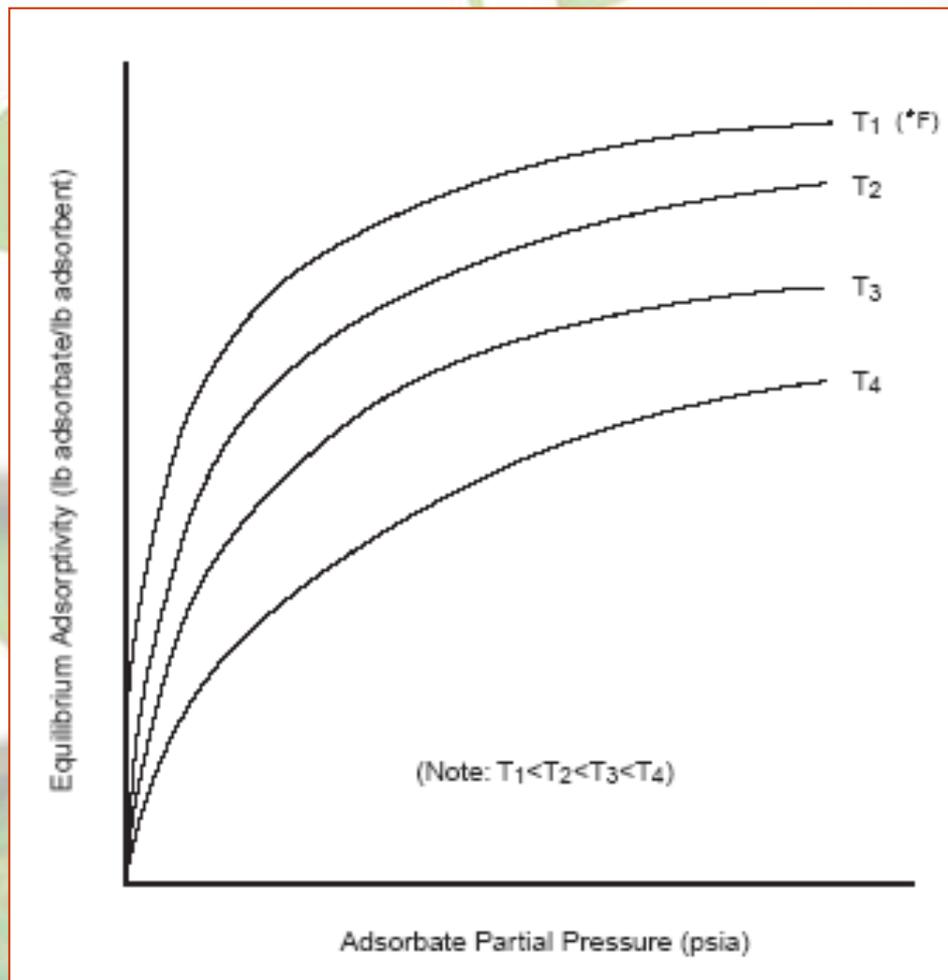
$W_e$ : equilibrium adsorptivity (lb adsorbate/lb adsorbent)

$P$  = partial pressure of VOC in gas stream (psia)

$k, m$  = empirical parameters



# Isotermas de Adsorción



Type I Adsorption Isotherms for Hypothetical Adsorbate



# Parámetros en las Isotermas de Adsorción

Ambiental y Desarrollo

| Adsorbate       | Adsorption Temp (°F) | Isotherm Parameters |          | Range of Isotherm <sup>b</sup> (psia) |
|-----------------|----------------------|---------------------|----------|---------------------------------------|
|                 |                      | <i>k</i>            | <i>m</i> |                                       |
| Benzene         | 77                   | 0.597               | 0.176    | 0.0001-0.05                           |
| Chlorobenzene   | 77                   | 1.05                | 0.188    | 0.0001-0.01                           |
| Cyclohexane     | 100                  | 0.505               | 0.210    | 0.0001-0.05                           |
| Dichloroethane  | 77                   | 0.976               | 0.281    | 0.0001-0.04                           |
| Phenol          | 104                  | 0.855               | 0.153    | 0.0001-0.03                           |
| Trichloroethane | 77                   | 1.06                | 0.161    | 0.0001-0.04                           |
| Vinyl Chloride  | 100                  | 0.200               | 0.477    | 0.0001-0.05                           |
| m-Xylene        | 77                   | 0.708               | 0.113    | 0.0001-0.001                          |
|                 | 77                   | 0.527               | 0.0703   | 0.001-0.05                            |
| Acrylonitrile   | 100                  | 0.935               | 0.424    | 0.0001-0.015                          |
| Acetone         | 100                  | 0.412               | 0.389    | 0.0001-0.05                           |
| Toluene         | 77                   | 0.551               | 0.110    | 0.001-0.05                            |

\* Each isotherm is of the form  $W_s = kP^m$ . (See text for definition of terms.) Data are for adsorption of Calgon type "BPL" carbon.

<sup>b</sup> Equation should not be extrapolated outside these ranges.



## Requerimientos de Adsorbente

$$M = \frac{M_{voc} \cdot \vartheta_A}{We}$$

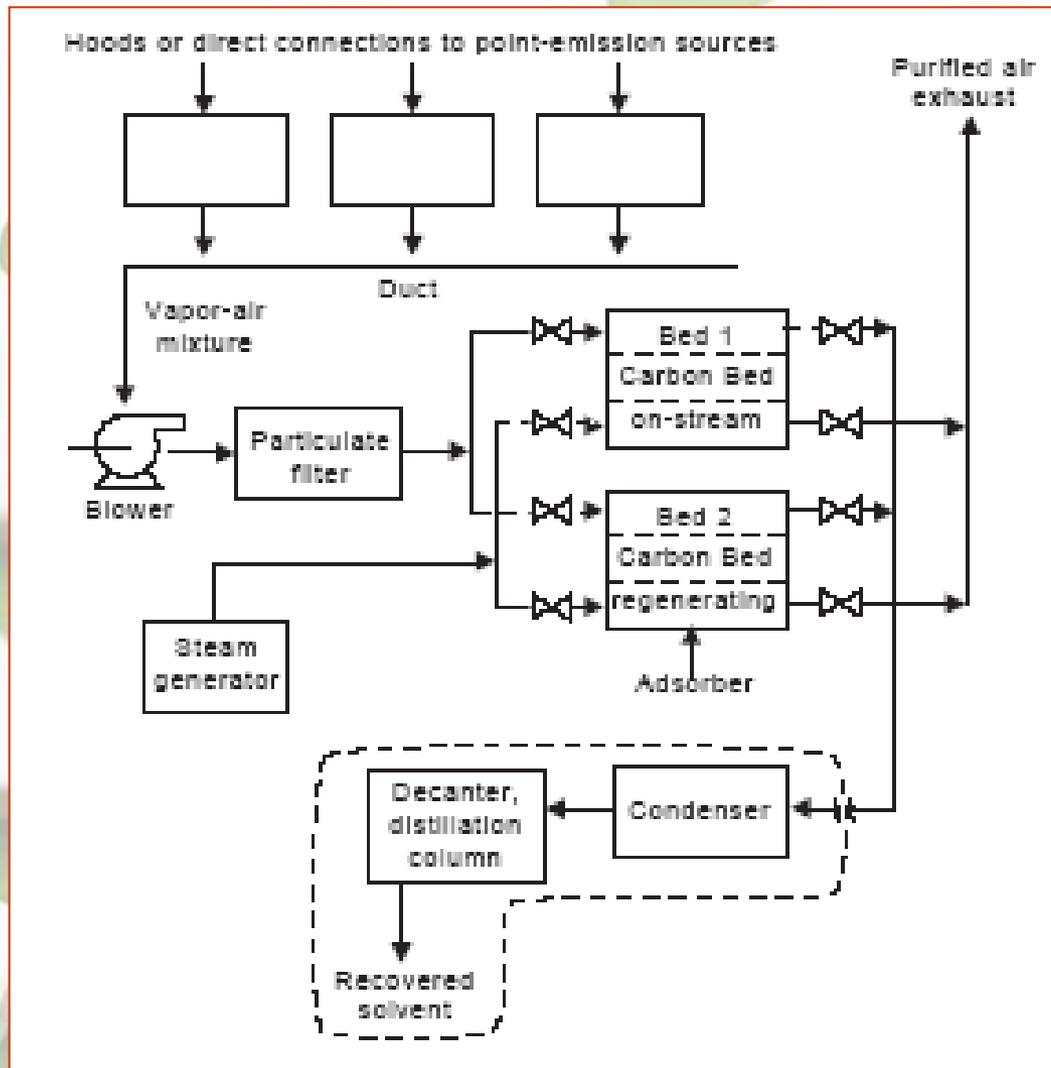
Donde:

$M_{voc}$  = VOC inlet loading (lb/h)



# Sistema de Adsorción típico (two-bed)

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo

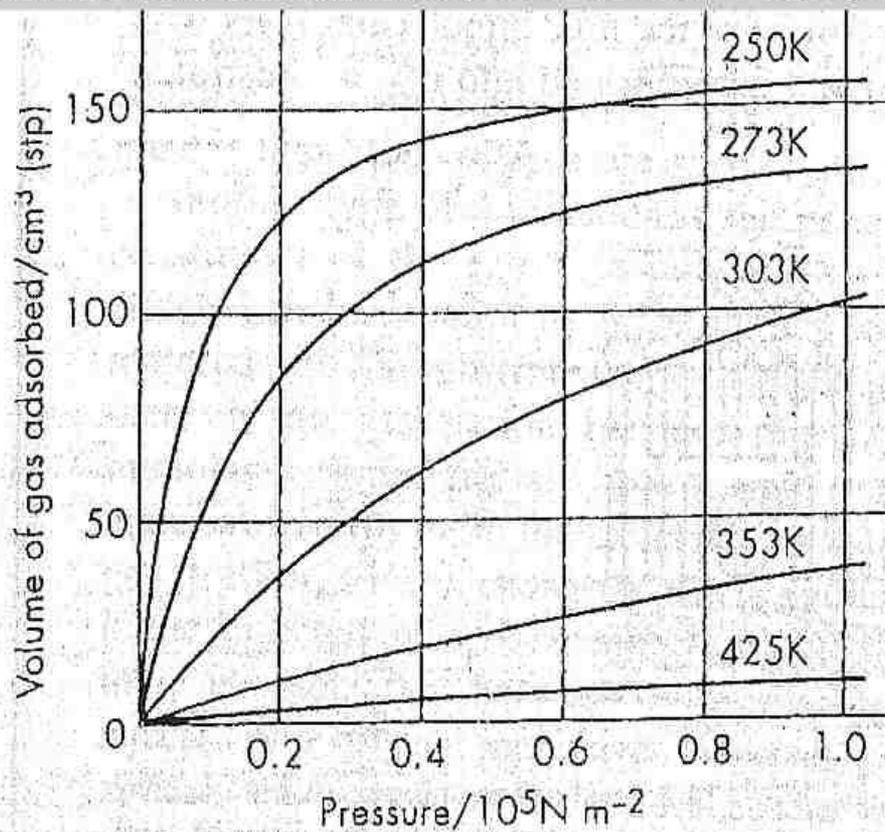


Continuously Operated Fixed Bed Carbon Adsorber System

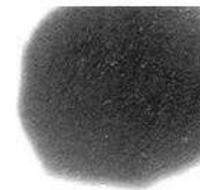
# Sistema de Absorción con Carbón activado

Ambiental y Desarrollo

## Isoterma de adsorción . NH<sub>3</sub> - carbono



carbón activo en forma de polvo



carbón activo granular

troceado



conformado



Fibras de carbón



Telas de carbón



monolitos hechos íntegramente de carbón



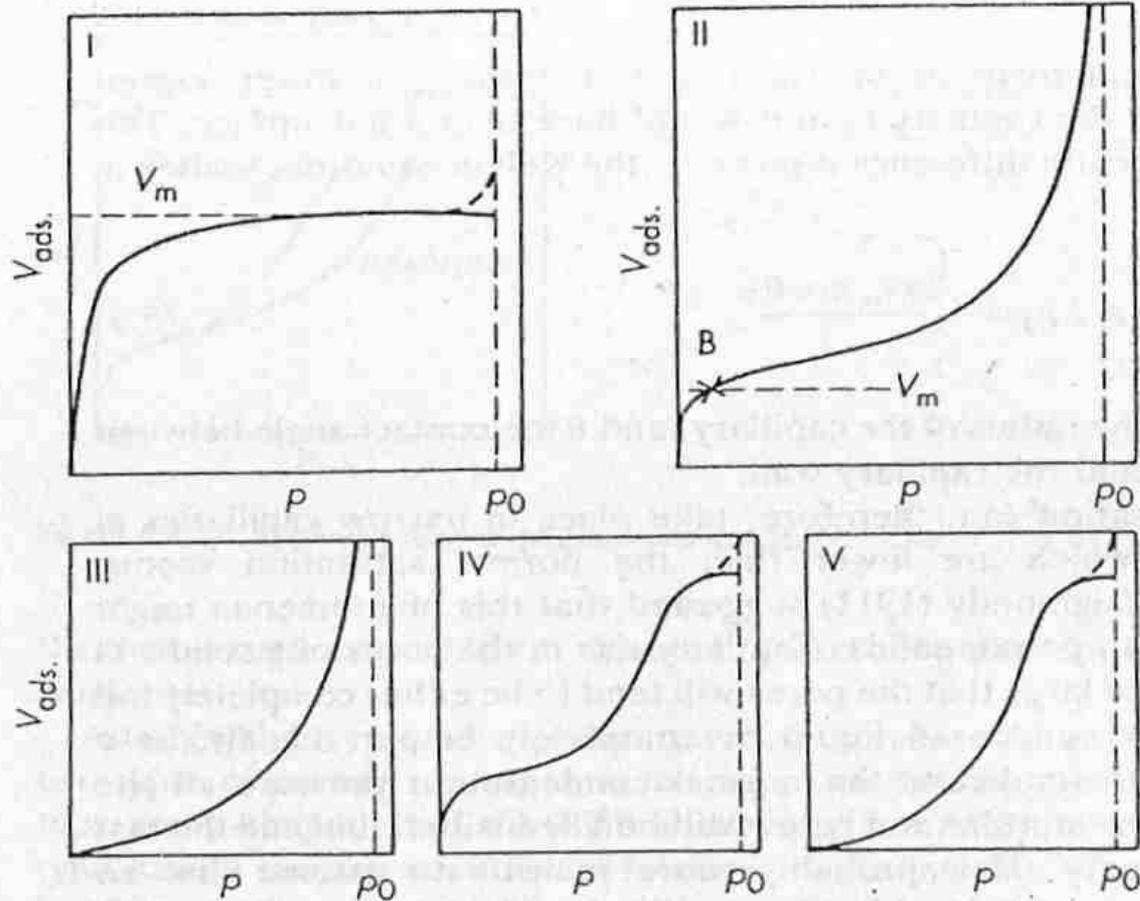
monolitos cubiertos de una capa de carbón



membrana de carbón sobre un tubo de acero



## Clasificación Brunauer (po = presión vapor saturado)



- Tipo I : ( amoníaco sobre C) Isothermas tipo Langmuir
  - Adsorción química.
- Tipo II ( nitrógeno sobre sílica gel)
  - Adsorción física sobre sólidos no porosos.
- Tipo III. V ( vapor de agua sobre C)
- Tipo IV. ( benceno sobre Fe)



# Ecuación de adsorción de Langmuir

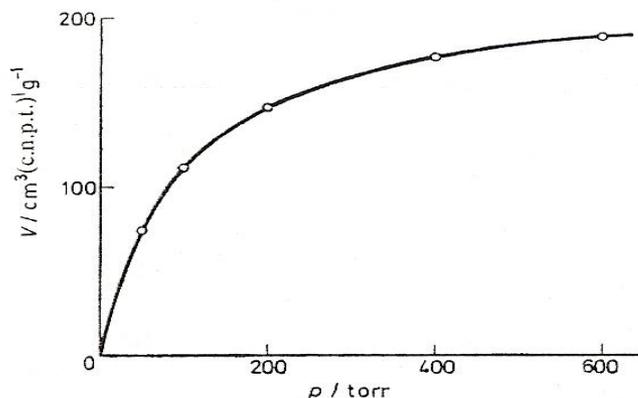


Figura 7-1a

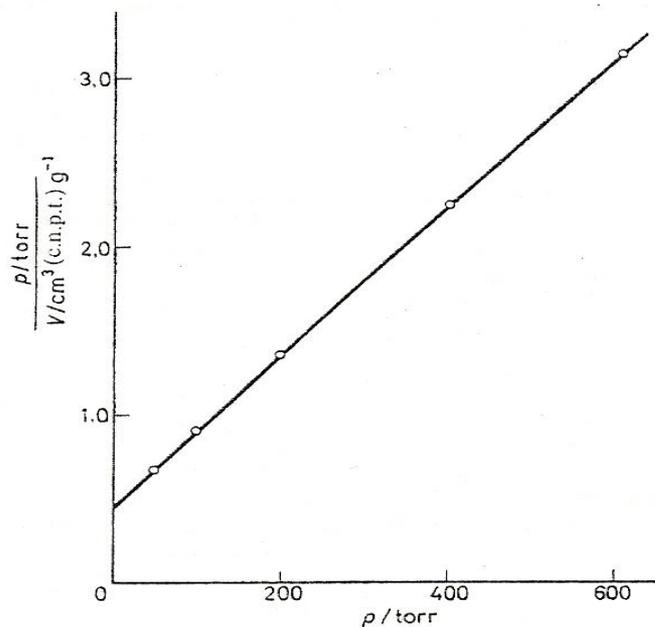


Figura 7-1b

$$V = V_m \cdot A \cdot p / (1 + a \cdot p)$$

$$p/V = p/V_m + 1/aV_m$$

Pendiente:  $1/V_m$

Ordenada:  $1/aV_m$



# FICAD

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo

## Técnica de control por combustión





# INCINERACIÓN CATALÍTICA DE COVs

Fondo Internacional de Capacitación  
Ambiental y Desarrollo

- ✓ **Características de los catalizadores:**
  - **Composición: metales preciosos o sus sales, soportados o no soportados.**
  - **Óxidos metálicos: de Fe, Co, Ni, Sb.**
  - **Temperatura de operación: 350-450 °C**  
**(Temperatura máxima del lecho: 625 °C)**
  
- ✓ **Reacción de Van der Vaart:**





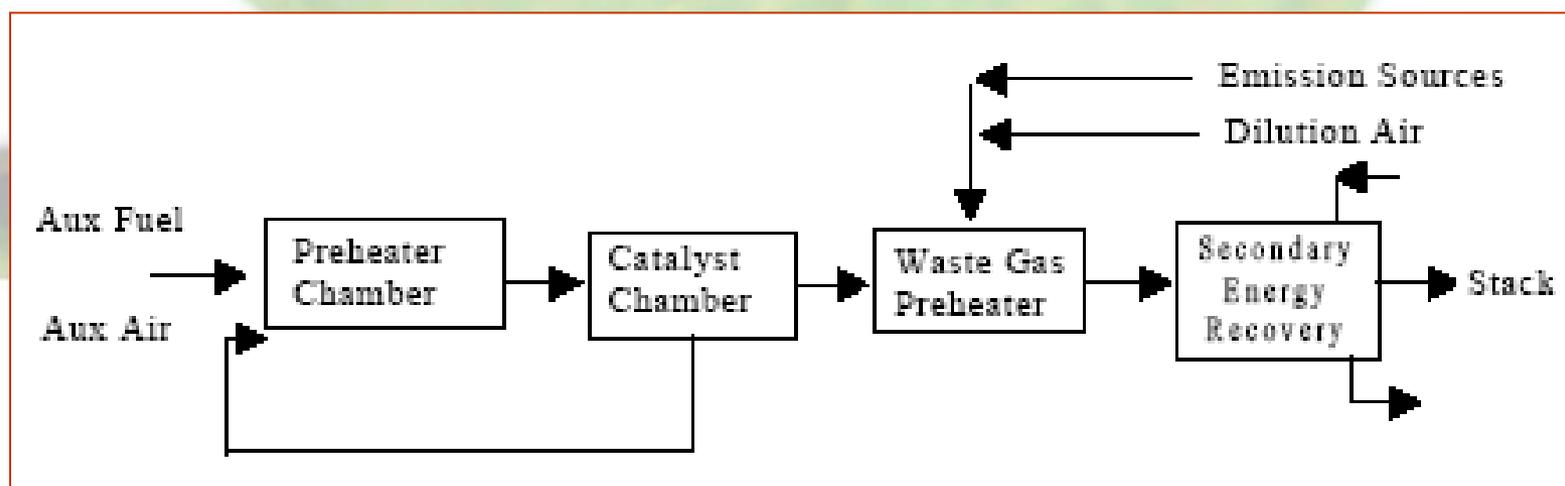
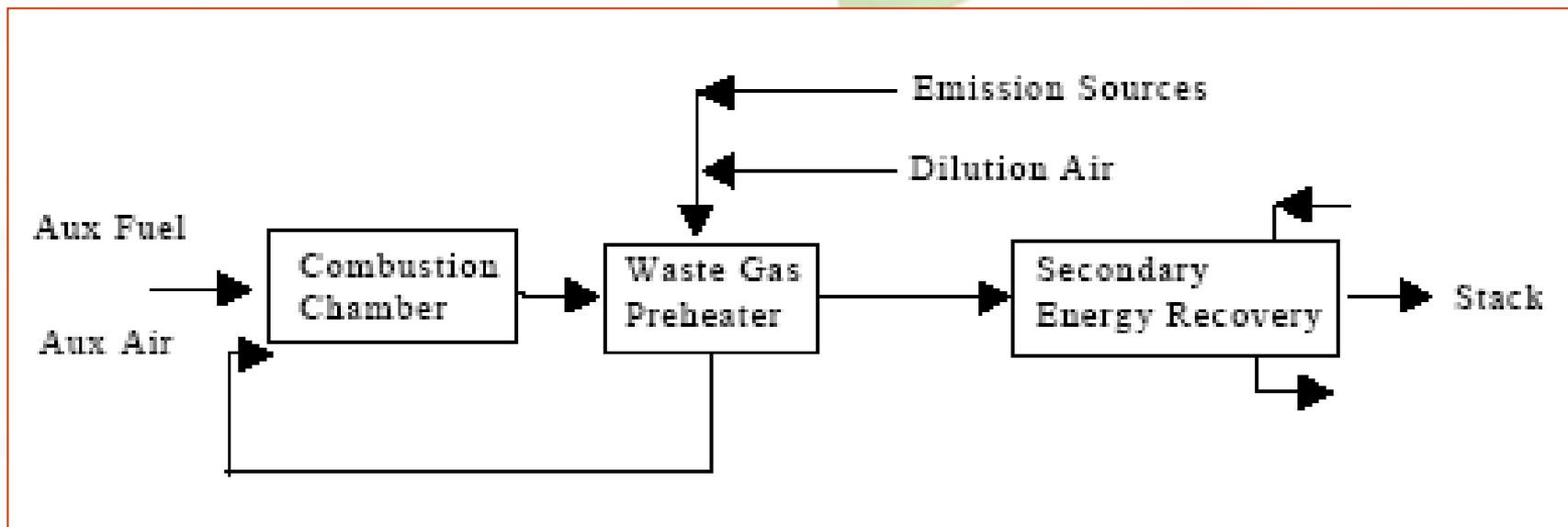
# Temperaturas de Incineración

| Compound           | Temperature, °F |
|--------------------|-----------------|
| acrylonitrile      | 1,344           |
| allyl chloride     | 1,276           |
| benzene            | 1,350           |
| chlorobenzene      | 1,407           |
| 1,2-dichloroethane | 1,368           |
| methyl chloride    | 1,596           |
| toluene            | 1,341           |
| vinyl chloride     | 1,369           |

Theoretical Reactor Temperatures Required for 99.99 Percent Destruction by Thermal Incineration for a 1-Second Residence Time

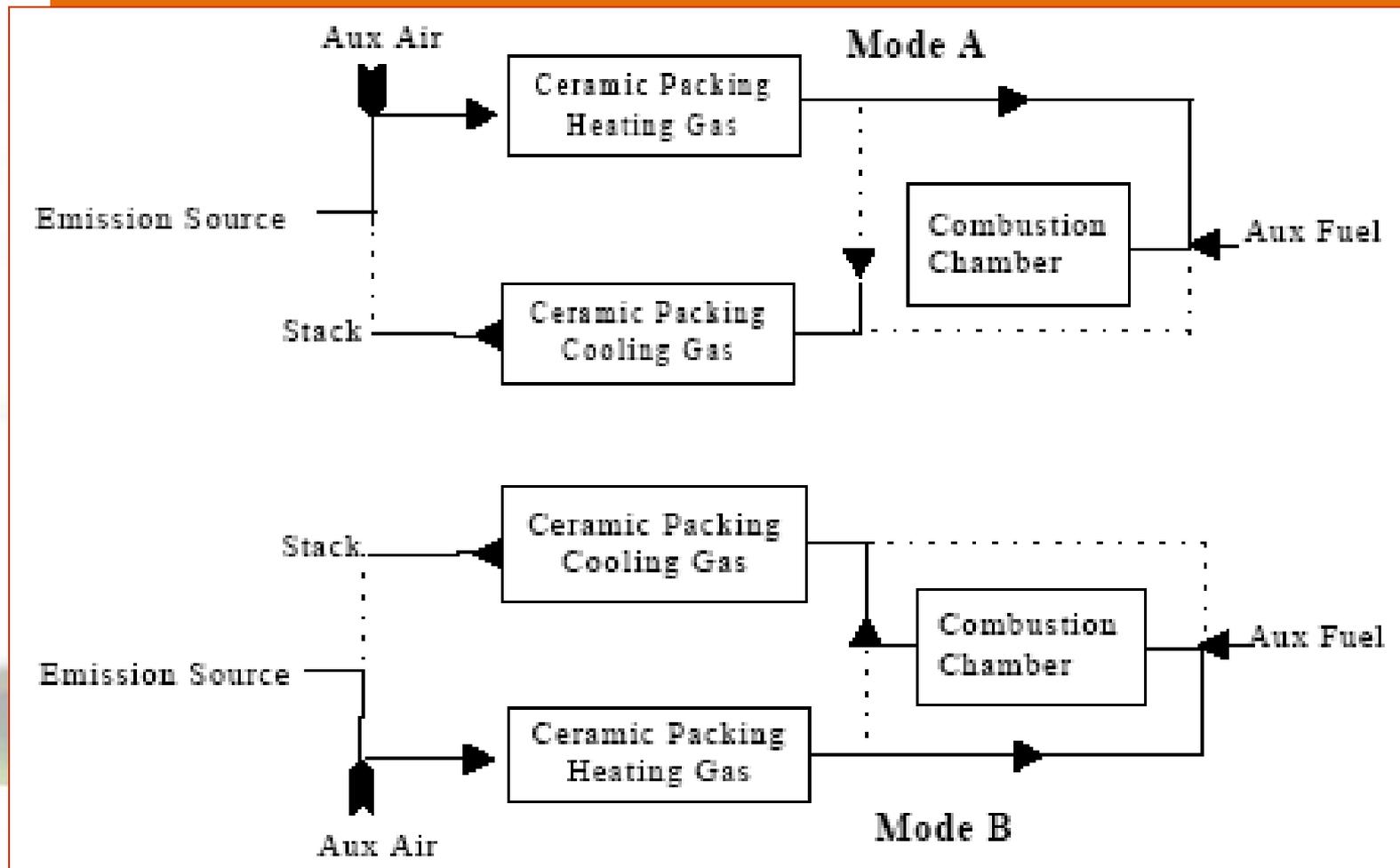


# Incinerador y uso de catalizador





# Incinerador- Etapa regenerativa





## Tipos de Catalizadores en incineradores de COVs

Table 2.2: Catalyst Temperatures Required for Oxidizing 80% of Inlet VOC to CO<sub>2</sub>, °F for Two Catalysss

| Compound                | Temperature, °F                |                |
|-------------------------|--------------------------------|----------------|
|                         | CO <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | Pt - Honeycomb |
| acrolein                | 382                            | 294            |
| n-butanol               | 413                            | 440            |
| n-propylamine           | 460                            | 489            |
| toluene                 | 476                            | 373            |
| n-butyric acid          | 517                            | 451            |
| 1, 1, 1-trichloroethane | 661                            | >661           |
| dimethyl sulfide        | -                              | 512            |



# Tecnologías de Incineración

**Table 2.3: Principal VOC Incineration Technologies**

---

## **Thermal Systems**

---

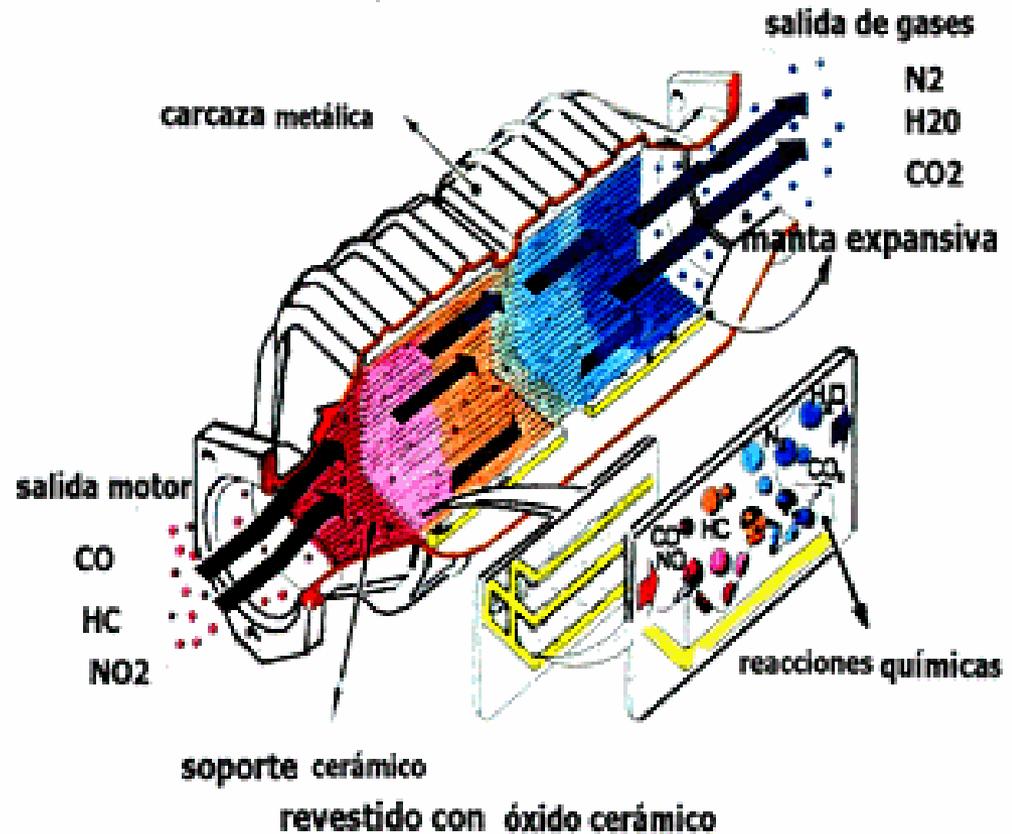
- Direct Flame Incinerator
- Recuperative Incinerator (Direct Flame with Recuperative Heat Exchanger)
- Regenerative Incinerator Operating in a Cycle Mode

## **Catalytic Systems**

---

- Fixed-Bed
  - Monolith
  - Packed-Bed
  
  - Fluid-Bed
-

# CONVERTIDOR CATALÍTICO (Vehicular)



! corte de un convertidor catalítico



**FICAD**

Fondo Internacional de  
Ambiental y Desarrollo

# Técnica de control por vía biológica





# METODOS BIOLÓGICOS

- Los sistemas biológicos de tratamiento de aire:

tecnologías limpias = tecnologías verdes

## Requerimientos:

- Menor uso de energía
- No utilizan sustancias peligrosas para su operación.
- No requieren condiciones extremas de trabajo.
- El contaminante es destruido (en lugar de sólo transferirse)
- El CO<sub>2</sub> producido con esta tecnología es mucho menor al generado por la incineración térmica al no usar combustibles suplementarios.



# METODOS BIOLÓGICOS

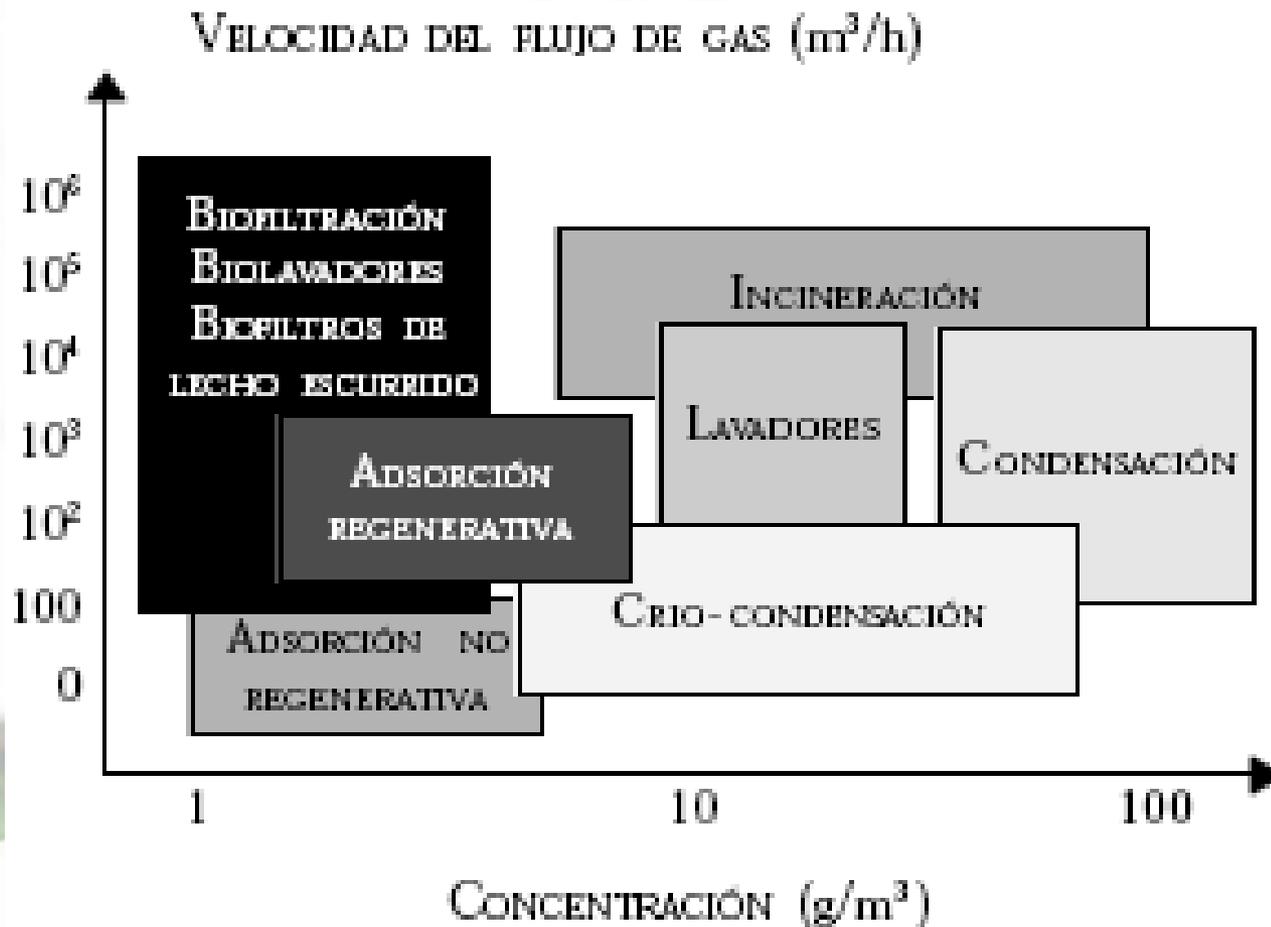
- Estas tecnologías se basan en la degradación o transformación de los contaminantes en compuestos menos dañinos.
- Proceso en el cual los gases contaminados son tratados al entrar en contacto con un medio biológicamente activo.

## Límite de estos procesos:

- Biodegradabilidad de los contaminantes
- Compuestos recalcitrantes: aquellos con estructuras químicas no naturales (xenobióticos)



# Selección de Tecnologías

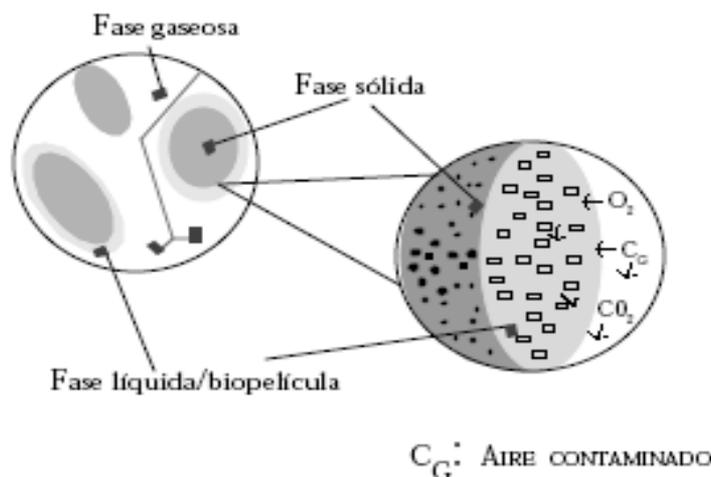


Proceedings of the 89th Annual Meeting and Exhibition of the Air and Waste Management Association, Kosteltz, A.M., A. Finkelstein y M. Shoda 1996.



# CLASIFICACIÓN DE LOS BIOFILTROS (según su fase)

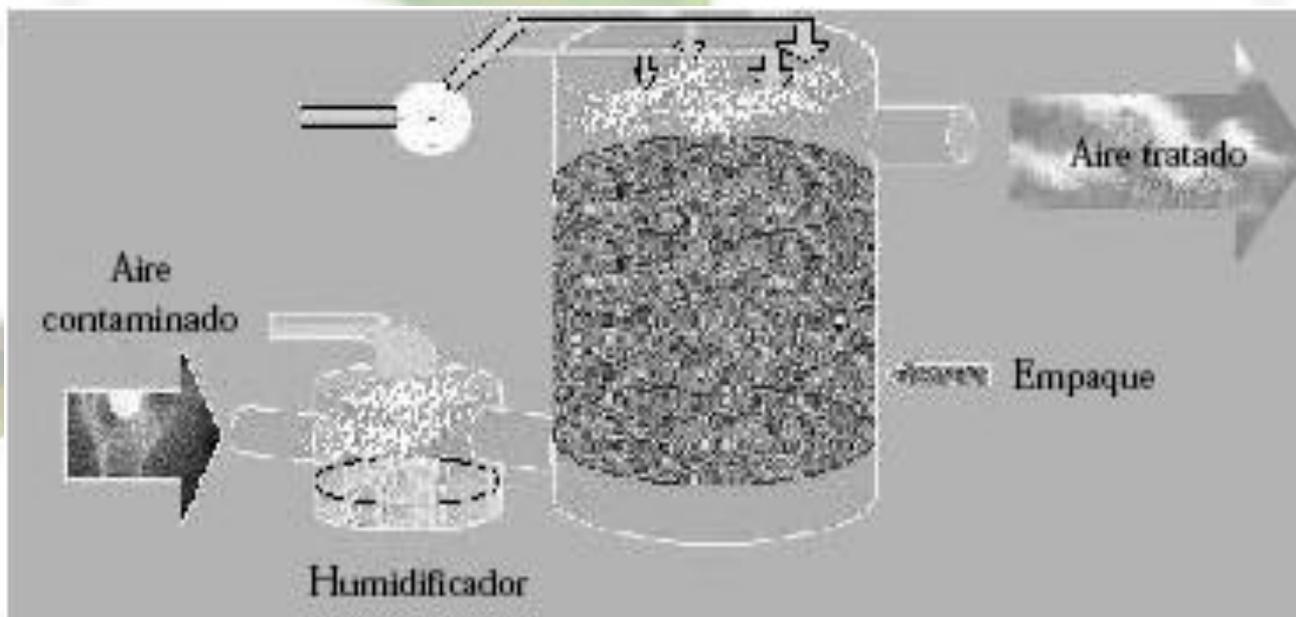
| Tipo de equipo          | Fase Biológica | Fase Líquida  |
|-------------------------|----------------|---------------|
| Bio-scrubber            | Dispersa       | En movimiento |
| Biofiltro percolador    | Inmovilizada   | En movimiento |
| Biofiltro de lecho fijo | Inmovilizada   | Inmovil       |





# Biofiltro de Lecho fijo

Los biofiltros de lecho fijo (BLF) constan de un lecho empacado que se conoce como material filtrante y que puede ser sintético u orgánico, que sirve como soporte para los microorganismos y en el caso de los orgánicos como fuente de nutrientes para el crecimiento microbiano.





Fc  
Ar

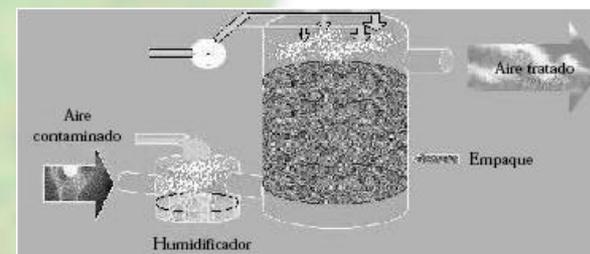
## Biofiltro de Lecho fijo (2)

### Materiales filtrantes utilizados:

rocas porosas, tierra de diatomeas, perlita, tierra, trozos de maderas, diferentes tipos de compostas, residuos orgánicos tales como cáscaras de cacahuate, de arroz o de coco, fibra de caña de azúcar, entre otros.

### Principio:

Hacer pasar la corriente gaseosa saturada de humedad que contiene al contaminante a través del lecho en donde los contaminantes son degradados por los microorganismos.



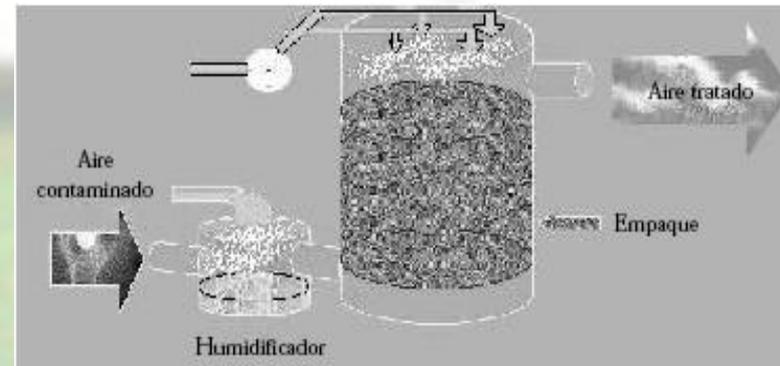


## Biofiltro de Lecho fijo (3)

Los BL son los sistemas más adecuados para el tratamiento de compuestos muy solubles en agua.

Las principales ventajas:

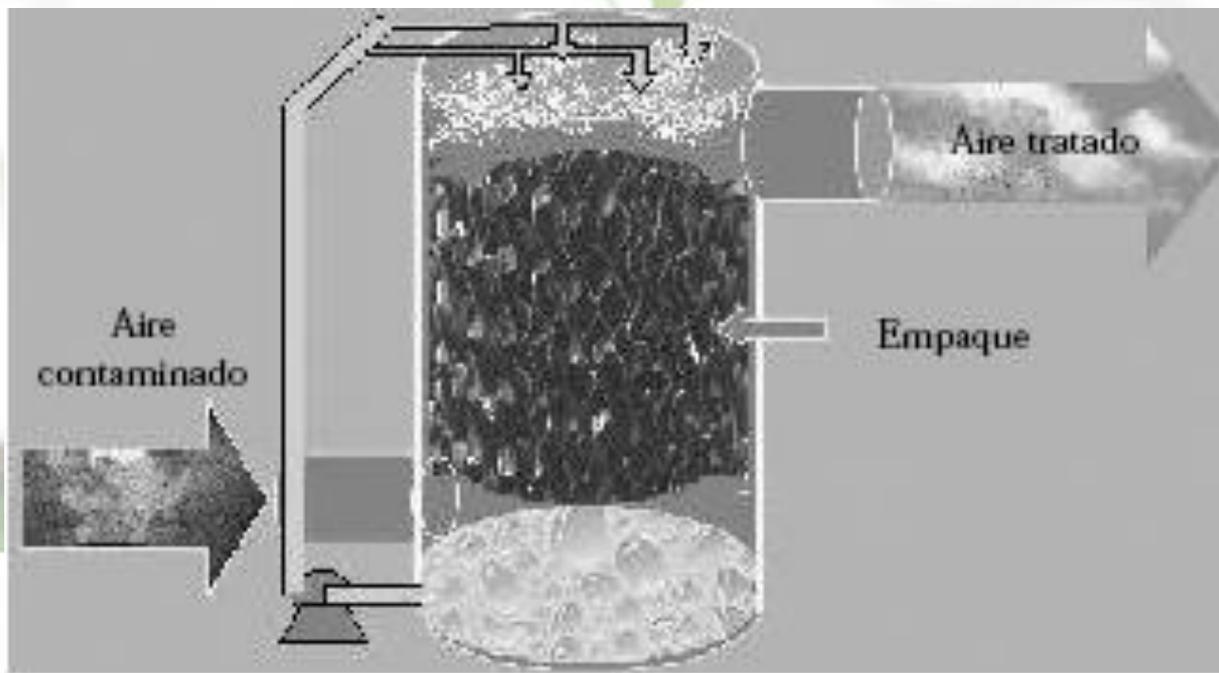
- a) La recirculación del líquido que favorece la no acumulación de productos que pudieran tener efectos nocivos para los microorganismos, y
- b) la facilidad de control del proceso biológico a través de la composición del medio líquido.





# Biofiltro de Lecho Escurrido

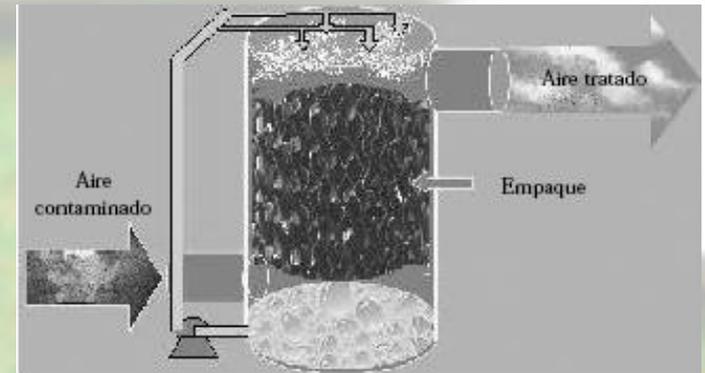
El biofiltro de lecho escurrido (BLE) consiste de una columna empacada con un soporte inerte (usualmente de material cerámico o plástico) donde se desarrolla la biopelícula.



## Biofiltro de Lecho Escurrido (2)

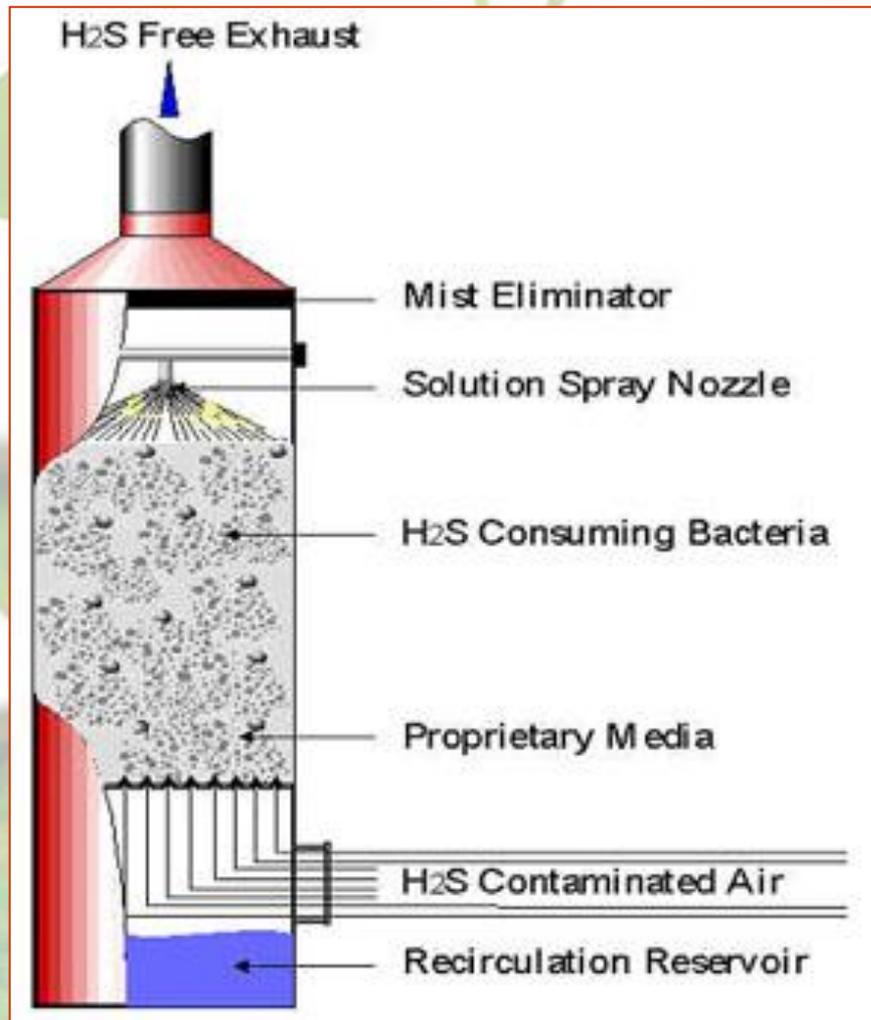
Estos sistemas se recomiendan para compuestos solubles en agua. Los BLE tienen similares ventajas que los biolavadores, ya que la recirculación del líquido facilita la eliminación de los productos de reacción así como un mayor control sobre el proceso biológico a través del control del pH y la composición del medio líquido.

A través del lecho se alimenta una corriente gaseosa que contiene al sustrato por biodegradar y una corriente líquida que es comúnmente reciclada a través del lecho y que tiene la función de aportar nutrientes esenciales a la biopelícula, así como de remover los productos de degradación de los microorganismos.



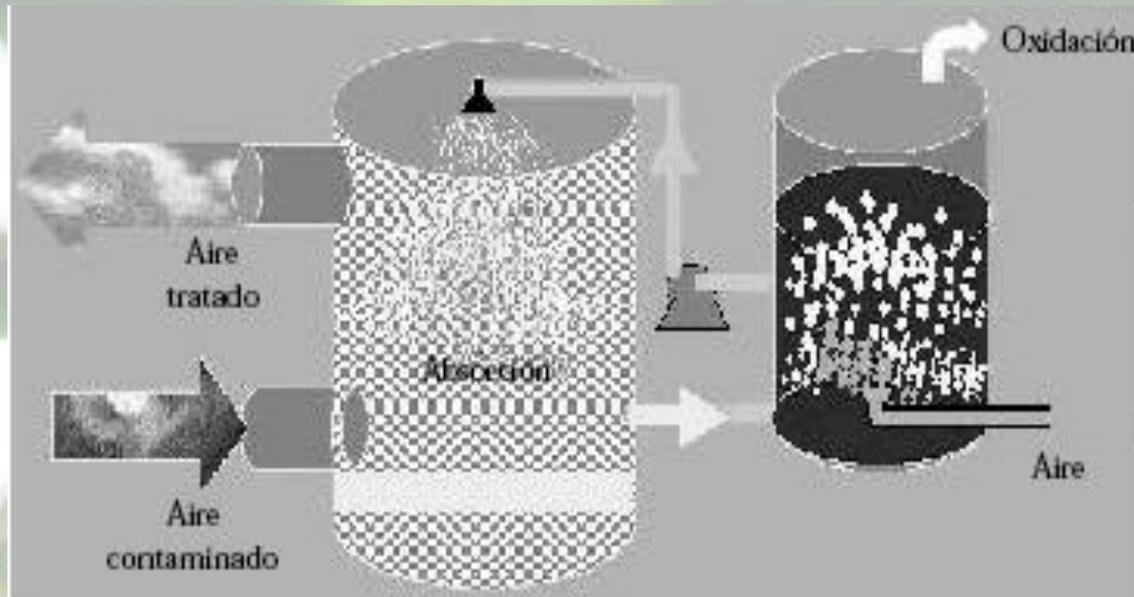


# Ejemplo: Captura de H<sub>2</sub>S



# Bio-Scrubber (Biolavadores, BL)

- En estos equipos el compuesto a degradar primero es absorbido en la fase líquida localizada en una torre de absorción llena de líquido.
- La operación consiste en hacer fluir el gas a contracorriente a través del líquido, donde los contaminantes y el  $O_2$  son absorbidos.
- Posteriormente el líquido es alimentado a un reactor empacado de un material inerte cubierto de la película biológica encargada de degradar al contaminante.





# Ventajas y desventajas de los Biofiltros

| TIPO DE BIOFILTRO            | VENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                            | DESVENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biofiltro de lecho fijo      | <p>Altas superficies de contacto gas-líquido.</p> <p>Fácil arranque y operación.</p> <p>Bajos costos de inversión.</p> <p>Soporta periodos sin alimentación.</p> <p>Conveniente para operación intermitente.</p> <p>No produce agua de desecho.</p> | <p>Poco control sobre fenómenos de reacción.</p> <p>Baja adaptación a altas fluctuaciones de flujo de gas.</p> <p>Grandes volúmenes de reactor.</p> <p>No conveniente para tratamiento de contaminantes cuyos subproductos son compuestos ácidos.</p> |
| Biolavador                   | <p>Mejor control de la reacción.</p> <p>Posibilidad de evitar acumulación de subproductos.</p> <p>Equipos compactos.</p> <p>Baja caída de presión.</p>                                                                                              | <p>Baja densidad celular.</p> <p>No soporta periodos sin alimentación.</p> <p>Genera lodo residual.</p> <p>Necesidad de aireación extra.</p> <p>Altos costos de inversión, operación y mantenimiento.</p> <p>Necesidad de suministrar nutrientes.</p> |
| Biofiltro de lecho escurrido | <p>Control de concentración de sustratos.</p>                                                                                                                                                                                                       | <p>Baja densidad celular.</p>                                                                                                                                                                                                                         |



## Ventajas y Desventajas de los Biofiltros (2)

| TIPO DE BIOFILTRO                                | VENTAJAS                                                                                                                                                                                                | DESVENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biofiltro de lecho escurrido ( <i>continúa</i> ) | <p>Posibilidad de evitar acumulación de subproductos.</p> <p>Equipos compactos con respecto a los BLF y BLE.</p> <p>Baja caída de presión.</p> <p>Alta transferencia de oxígeno y del contaminante.</p> | <p>Generación de lodos.</p> <p>No resiste periodos sin alimentación.</p> <p>Necesidad de suministrar nutrientes</p> <p>Altos costos de inversión, operación y mantenimiento.</p> <p>Taponamiento por biomasa.</p> <p>Producción de agua de desecho.</p> |



# Parámetros de Diseño de los Sistemas de Biofiltración

**Son los siguientes:**

- **Características del gas contaminante (concentración, flujo, presencia de partículas, temperatura).**
- **Selección del material filtrante.**
- **Contenido de humedad del material filtrante.**
- **Microorganismos.**



# Características del gas contaminante

- Generalmente para los sistemas de biofiltración se ha considerado que el rango de **concentración** óptimo de 0 a 5 g/m<sup>3</sup>.
- Es necesario evaluar la presencia de **partículas** con el fin de evitar el taponamiento del lecho filtrante a su paso por éste.
- Respecto a la **temperatura** del gas contaminante, si es mayor a 40 °C será necesario un proceso de pretratamiento para reducirla.





# Material Filtrante

- Para los biofiltros de lecho fijo (BLF) y de lecho escurrido (BLE), el lecho filtrante es el hábitat de la población microbiana.
- Se prefiere que los materiales filtrantes contengan los nutrientes necesarios para el metabolismo microbiano, en ausencia o baja concentración de estos pueden adicionarse mediante solución de nutrientes.
- Para los BLF esta solución se agrega periódicamente por aspersión.
- Para los BLE, las soluciones minerales se agregan al líquido en movimiento.



# Contenido de Humedad

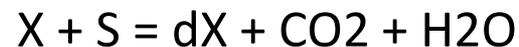
- El material filtrante debe tener una buena capacidad de retención de agua, ya que los microorganismos requieren de una importante cantidad de agua para crecer.
- El rango óptimo de humedad del material filtrante en sistemas de biofiltración se considera entre 40 y 60%.

- Un bajo contenido en el lecho filtrante reduce el espesor de la biopelícula y merma la actividad microbiológica y, por consiguiente, la actividad del biofiltro.
- Por otro lado, un elevado contenido de humedad puede crear una saturación, provocando zonas anaerobias o incrementar la caída de presión.

# Microorganismos

La reacción bioquímica que describe el proceso de biofiltración se presenta a continuación, en donde el contaminante presente en fase gas sería el sustrato.

Biomasa + sustrato = biomasa + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O



La lista de especies presentes en sistemas de biofiltración es larga y depende de diversos aspectos, tales como el inóculo inicial, el material filtrante, los contaminantes a tratar y el tiempo de aclimatación.

| BACTERIAS                             | HONGOS                          |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| <i>Actinomicetes</i>                  | <i>Actinomicetes</i>            |
| <i>Micrococcus cephalosporium</i> sp. | <i>Penicillium</i> sp.          |
| <i>Micromonospora vulgaris</i>        | <i>Ciradella</i>                |
| <i>Bacillus cereus</i>                | <i>Cephalotecium</i> sp.        |
| <i>Streptomicetes</i> sp.             | <i>Ovularia</i> sp.             |
| <i>Pseudomonas putida</i>             | <i>Stemphiliium</i> sp.         |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i>        | <i>Scedosporium apiospermum</i> |