

 **GESTIÓN DE EFLUENTES GASEOSOS**

Especialidad en Ciencias Químicas con mención en Diagnóstico Ambiental

**Módulo
GESTIÓN DE EFLUENTES Y RESIDUOS 2024**

Esp. Silvina Andrea Grill

Gestión de efluentes y residuos- 2024



 **GESTIÓN DE EFLUENTES GASEOSOS**

Tipología y fuentes.
Objetivos de Calidad Alcanzables.
Tratamientos. Normas aplicables y de referencia.

Gestión de efluentes y residuos- 2024







Contaminantes criterio y Límites permitidos

- Sustancias comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos.
- Fueron objeto de estudios de evaluación publicados en documentos de criterios de calidad del aire.

Normas de calidad de aire (límite permitido): son límites legales correspondientes a niveles de contaminantes en el aire durante un período de tiempo dado.

Normas de emisión: son límites a la cantidad por unidad de tiempo y/o concentración de contaminantes emitidos por la fuente.

Nivel guía de calidad de aire: concentración de contaminantes debajo de cuyos valores se estima, para el grado de conocimiento del que se dispone que no existirán efectos adversos en los seres vivos.

Gestión de efluentes y residuos- 2024




Contaminantes criterio

- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de azufre (SO_x)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Ozono (O₃)
- Plomo(Pb)
- Material particulado (PM)
- Compuestos orgánicos volátiles (VOCs)

Gestión de efluentes y residuos- 2024



	Contaminantes	Fuentes emisoras antropogénicas
Gestión de efluentes y residuos- 2024 	CO (monóxido de carbono)	Transporte: principalmente vehículos de gasolina Centrales térmicas Combustión de carburantes: gas natural, líquidos y sólidos Incineradoras Cremaciones agrícolas Refinerías Cementeras Fábricas de cristal y de cerámica
	SO₂ (dióxido de azufre)	Refinerías de petróleo Transporte: principalmente vehículos de gasoil Centrales térmicas Combustión de carburantes: líquidos y sólidos Cementeras
	NO₂ (dióxido de nitrógeno)	Transporte Centrales térmicas Combustión de carburantes: gas natural, líquidos y sólidos Incineradoras Cementeras, Fábricas de cristal, Refinerías
	Pb (plomo)	Vehículos de gasolina Fundiciones de recuperación de plomo Fábricas de cerámica

Gestión de efluentes y residuos- 2024 	Partículas	Centrales Térmicas Fundiciones Incineradoras Plantas asfálticas Fábricas de cristal Fábricas de cerámica Combustión de carburantes: líquidos y sólidos Transporte: principalmente vehículos de gasolina Cementeras y minerías Cremaciones agrícolas Refinerías



Contaminantes criterio en Argentina

NORMA DE CALIDAD DE AIRE AMBIENTE
ANEXO III - TABLA A
DECRETO N° 3395/96 de la Ley N° 5965/58

Contaminante	mg/m ³	ppm	Periodo de Tiempo
Dióxido de Azufre (SO ₂)	1,300 (1)	0,50 (1,2)	3 h
	0,365 (1)	0,14 (1)	24 h
	0,080 (4)	0,03 (4)	1 año
Material Particulado en Suspensión (PM-10)	0,050 (4)	--	1 año
	0,150 (1)	--	24 h(3)
Monóxido de Carbono (CO)	10000 (1)	9 (1)	8 h
	40082 (1)	35 (1)	1 h
Ozono (oxidantes fotoquímicos) (O ₃)	0,235 (1)	0,12 (1)	1 h
Oxidos de Nitrógeno (expresado como Dióxido de Nitrógeno) (NO _x)	0,400	0,2	1 h
	0,100 (4)	0,053 (4)	1 año
Plomo (media aritmética) (Pb)	0,0015 (media aritmética)	--	3 meses

(1) No puede ser superado este valor más de una vez al año.
 (2) Corresponde a norma secundaria.
 (3) 24 h medidas entre la cero hora del día 1 y la cero hora del día 2.
 (4) Media aritmética anual.
 (5) Muestreado a partir de material particulado total (MPT)

Observaciones:
 Estándares fijados por E.P.A. STP (298.13 K = 25°C y 1 ATM).



Factores de Emisión Actividades Petroleras

Main Sources	Environmentally Significant Components	Type of Operation
Vent gases	NO, SO, H ₂ S, CO, VOC, hydrocarbons such as CH ₄ , carbon, particulates, PAHs, benzene, toluene, ethylbenzene, and ortho-, meta-, and para-xylene (BTX)	Drilling
Flare gases		
Blowdowns from bulk chemicals		
Engine exhausts	NO, SO, CO, VOC, PAHs, formaldehyde, carbon particulates	Seismic
		Construction and commissioning
		Drilling
		Production
		Maintenance
Fugitive gases	VOC, BTX	Abandonment
		Construction and commissioning
		Drilling
		Production
Fire-protection equipment/facilities	Halons, CFCs, HCTCs, firefighting foams	Maintenance
		Abandonment
		Construction and commissioning
		Drilling
		Production
Air conditioning/refrigerant systems	CFC, HCFC	Abandonment
		Construction and commissioning
		Production
		Maintenance
		Abandonment

Equipment Type	Service	Emission (kg/hours)	Factor
Valves	Gas	4.5 × 10 ⁻³	
	Heavy oil	8.4 × 10 ⁻³	
	Light oil	2.5 × 10 ⁻³	
	Water/oil	9.8 × 10 ⁻³	
Pump seals	Gas	2.4 × 10 ⁻³	
	Heavy oil	Not available	
	Light oil	1.3 × 10 ⁻³	
	Water/oil	2.4 × 10 ⁻³	
Connectors	Gas	2 × 10 ⁻³	
	Heavy oil	7.5 × 10 ⁻³	
	Light oil	2.1 × 10 ⁻³	
	Water/oil	1.1 × 10 ⁻³	
Flanges	Gas	3.9 × 10 ⁻³	
	Heavy oil	3.9 × 10 ⁻³	
Open-ended lines	Light oil	1.1 × 10 ⁻³	
	Water/oil	2.9 × 10 ⁻³	
	Gas	2 × 10 ⁻³	
	Heavy oil	1.4 × 10 ⁻³	
Others (compressors, diaphragms, drains, dump arms, hatches, instruments, meters, pressure relief valves, polished rods, relief valves, and vents)	Light oil	1.4 × 10 ⁻³	
	Water/oil	2.5 × 10 ⁻³	
	Gas	8.8 × 10 ⁻³	
	Heavy oil	3.2 × 10 ⁻³	
	Light oil	7.5 × 10 ⁻³	
	Water/oil	1.4 × 10 ⁻³	



Contaminantes Peligrosos del Aire (CPA)

Gestión de efluentes y residuos- 2024

Asbesto
Cloruro de vinilo
Benceno
Arsénico
Berilio
Mercurio
Radón
Radionucleidos (isótopos radioactivos) diferentes del radón.

Son compuestos cancerígenos y no cancerígenos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud.
Las enmiendas de la Ley del Aire Limpio de 1990 de los Estados Unidos enumeró 189 compuestos como contaminantes peligrosos del aire (CPA), fijando normas de emisión (*Hazardous Air Pollutants (HAP)*)

https://www3.epa.gov/tncatc1/cica/help/hagshaps_s.html
<https://www.argentina.gob.ar/cnea/medicina-nuclear/produccion-de-radioisotopos/catalogo-de-radioisotopos>



Contaminantes Peligrosos del Aire (CPA)

Gestión de efluentes y residuos- 2024

Aire Urbano

Efectos Potenciales de Los Contaminantes Tóxicos en el Aire	Lista de 33 Tóxicos en el Aire Urbano	Nuevas Categorías de Áreas de Fuentes
<p>Salud Humana</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cáncer • Defectos de nacimiento • Retardos en el desarrollo • Reducción en el sistema inmunológico • Dificultades respiratorias y daño respiratorio en el sistema • Dolores de cabeza, mareos y náusea <p>Medio Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efectos en el sistema reproductivo y retardo en el desarrollo de la vida silvestre • Toxicidad para los animales y plantas acuáticas • Acumulación de contaminantes en la cadena alimentaria <p>■ Fuentes móviles pueden incluir automóviles, camiones, buses y vehículos que no son para rutas, tales como barcos o equipos de construcción.</p> <p>■ Fuentes comerciales e industriales pequeñas pueden incluir lavanderías ("dry cleaners"), estaciones de gasolina y vertederos o rellenos.</p> <p>■ Fuentes comerciales e industriales grandes pueden incluir plantas químicas, refinerías de petróleo y fábricas de acero.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • acetaldehído • acroleína • acrilonitrilo • compuestos de arsénico • benceno • compuestos de berilio • 1,3 butadieno • compuestos de cadmio • tetracloruro de carbono • cloroformo • compuestos de cromo • emisiones de horno de carbón coke • dioxinas • 1,2 dibrometano • propileno diclorado • 1,3 dicloropropeno • etileno diclorado • óxido de etileno • formaldehído • hexaclorobenceno • hidrazina • compuestos de plomo • compuestos de manganeso • compuestos de mercurio • cloruro de metileno • compuestos de níquel • bifenilos policlorinados (PCBs) • materia orgánica policíclica (POM) • quinolina • 1,1,1,2 - tetracloroetano • percloroetileno • tricloroetileno • cloruro de vinilo (PVC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Producción Cíclica Cruda e Intermedia • Rellenos Municipales • Operaciones de Fabricación de Espuma Flexible de Poliuretano • Producción de Petróleo y Gas Natural • Esterilizadores de Hospitales • Operaciones de Remoción de Pinturas • Manufactura Industrial de Químicos Inorgánicos • Manufactura de Materiales Plásticos y Resinas • Manufactura Industrial de Químicos Orgánicos • Plantas Públicas de Tratamiento • Plantas de Celdas de Mercurio Cloro Alkalinas • Manufactura Sintética de Goma • Distribución de Gasolina (Etapa I)

<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/urban-air-toxics-brochure-esp-1999.pdf>



Selección de una técnica de control para emisiones de gases contaminantes

Gestión de efluentes y residuos- 2024

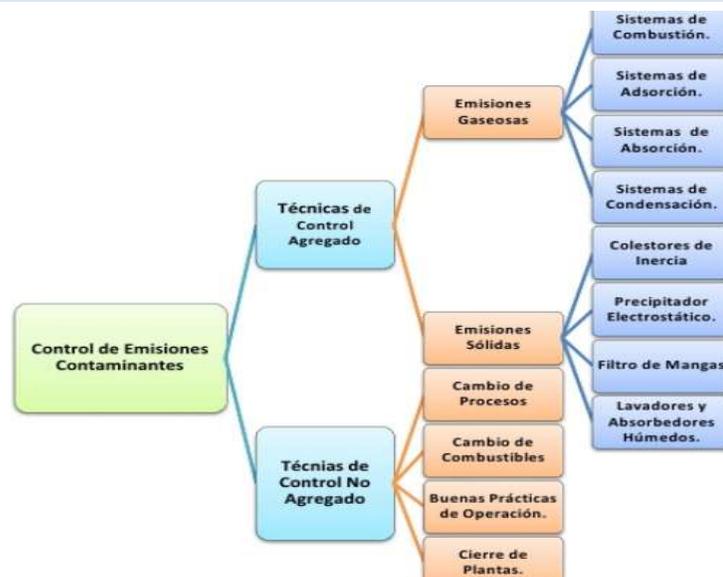


- Las propiedades químicas del contaminante
- El valor del contaminante si es recuperado
- Costos del control
- El impacto de la técnica de control sobre la contaminación del agua o producción de desechos sólidos.



Selección de una técnica de control para emisiones de gases contaminantes

Gestión de efluentes y residuos- 2024





Técnicas sin el uso de control agregado:

- **Cambio de procesos**

Sustitución de los procesos termoquímicos por mecánicos.

Perfeccionamiento de las condiciones del proceso.

Aumento de la eficiencia energética y uso del calor residual.

- **Cambio de materiales**

Sustitución de solventes orgánicos (halogenados) por agentes acuosos.

Sustitución de productos petroquímicos por bioquímicos.

Selección de materiales con menos impurezas.

Uso de residuos como materias primas.

- **Buenas prácticas de operación**

Aumento del uso de las capacidades del proceso.

Reorganización de los intervalos de limpieza y mantenimiento.

Evitar pérdidas debido a la evaporación y la fuga.

Perfeccionamiento de la compra, el almacenamiento y la entrega.

Seguimiento del flujo del material.

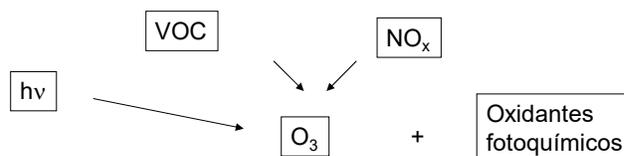
- **Cierre de plantas**

Gestión de efluentes y residuos- 2024



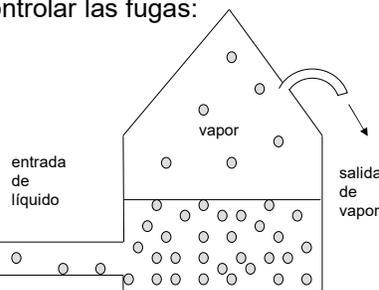
Control de compuestos orgánicos volátiles (VOC)

Tienen presiones de vapor a temperatura ambiente $> 7 \cdot 10^{-4}$ atm y PE hasta 260 °C

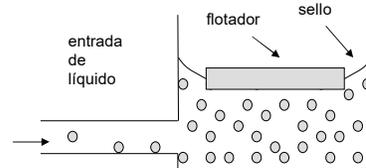


Sustitución: pinturas a base de aceites por base agua y nafta por gas natural o H₂

Controlar las fugas:



Tanque de techo flotante



Gestión de efluentes y residuos- 2024



Gestión de efluentes y residuos- 2024



Técnicas para limitar la emisión de contaminantes del aire con el uso de control agregado:

La recomendación de la instalación de un equipo par el control de la contaminación atmosférica, debe de proceder como consecuencia directa de que las emisiones de determinados contaminantes por parte de la fuente fija en cuestión, superan los límites máximos permisibles establecidos en el marco normativo vigente.

<p>Gases</p> <p>COMBUSTIÓN ADSORCIÓN ABSORCIÓN CONDENSACIÓN</p>	<p>Partículas</p> <p>COLECTORES PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS FILTROS LAVADORES</p>
---	---



Gestión de efluentes y residuos- 2024



Combustión

La **combustión completa** constituye un **proceso apropiado** para la eliminación de compuestos orgánicos transformándolos en dióxido de carbono y vapor de agua y también es válido para determinadas sustancias inorgánicas.

La combustión puede ser espontánea o por procesos catalíticos.

La combustión de una mezcla de compuestos orgánicos conteniendo carbón, hidrógeno y oxígeno se describe por la **reacción total exotérmica**. Obteniendo como productos

- Productos orgánicos oxidados, CO₂ y H₂O
- Productos oxidados de otras sustancias presentes en el combustible
- Productos residuales parcialmente oxidados tales como hidrocarburos **no quemados**, CO
- Diluyentes, Nitrógeno y oxígeno no utilizado

$$C_xH_y + bO_2 + b(79/21)N_2 \text{ ----> } xCO_2 + (y/2)H_2O + b(79/21)N_2$$

↳ ε el exceso de aire (aire utilizado/aire teórico).



Información antes de realizar incineración

-Fuente del residuo
-Tipo de recipiente
-Precauciones de manejo
-Naturaleza del riesgo
-Calidad del residuo: qué sea homogéneo o heterogéneo
-Cambio de composición con el tiempo
-Características de los recipientes

-Físicas	-Químicas
-Estado físico	- Análisis inmediato y elemental
-Fracciones en peso	- Sustancias tóxicas: C, H, O, S, N, Cl, Br, Y
-Características de la alimentación	- Metales pesados: Hg, Pb, Cd, Cu, Ni, Cr, As, Se, Be, asbestos
-Calor específico	- Compuestos especiales: benceno, PCB's, dioxinas, furanos.
-Necesidad de O ₂	
-Temperatura de la llama	
-Contenido de humedad	
-Contenido en volátiles	
-Productos de la combustión	
-Contenido y características de las cenizas	
-Condiciones tiempo-temperatura de descomposición de Residuos complejos	

Gestión de efluentes y residuos- 2024

Condiciones para realizar incineración

Gases (< 1% Cl₂): 850 °C durante al menos 2 segundos (1200°C D&F). El calor generado durante el proceso de incineración deberá recuperarse en la medida de lo posible.

Los valores límite de las emisiones atmosféricas se refieren a:

- metales pesados
- dioxinas y furanos
- monóxido de carbono (CO)
- cenizas
- carbono orgánico total (COT)
- cloruro de hidrógeno (HCl)
- fluoruro de hidrógeno (HF)
- dióxido de azufre (SO₂)
- monóxido de nitrógeno (NO)
- dióxido de nitrógeno (NO₂).
- Todas las aguas utilizadas y vertidas, resultantes de la depuración de los gases de escape, deben ser objeto de control

Gestión de efluentes y residuos- 2024

**Requisitos fijados por Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
Subsecretaría de Control y Fiscalización Ambiental**

Dos cámaras de Post y de combustión
(oxidación completa de la materia orgánica)

Parámetros las 3 T

Turbulencia garantiza mezcla gases a la 2 entran a 10 m/s

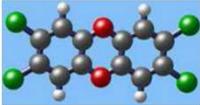
Tiempo de residencia en la 2 c. 2 segundos

Temperatura 1 c 950° C y 2 c 1200° C.

**Ley 24051 Residuos Peligrosos
Dec. 831/93
Art.33**

Gestión de efluentes y residuos- 2024

Dioxinas y furanos en el residuo



2,3,7,8-TETRACHLORODIBENZO-p-DIOXIN



2,3,7,8-TETRACHLORODIBENZOFURAN

Sólidos cristalinos blancos, PE elevados térmicamente estables
Se desconocen por encima de 850°C.
Difícil destrucción por combustión

Temperaturas superiores a 850°C y tiempos de residencia de 2 segundos pueden destruir estos compuestos, pero durante el enfriamiento, por medio de mecanismos de reordenación, pueden desarrollarse otra vez isómeros de dioxinas y furanos (llegar a 1200°C).

Se forman en procesos térmicos donde intervienen compuestos con cloro.
Bastante inertes químicamente (sustitución y fotodegradación)
Son difícilmente biodegradables, persistentes y bioacumulativos.

Gestión de efluentes y residuos- 2024



Incineración por llama directa

Antorchas: se pueden utilizar cuando los contaminantes a destruir se encuentran en **concentraciones que están dentro de los límites de inflamabilidad de la mezcla.**



Se utiliza con frecuencia en las **refinerías de petróleo y en plantas petroquímicas.**

Se **requiere un buen control** de las condiciones de operación, ya que se debe minimizar la generación de humos, debido a la **polimerización de hidrocarburos por craqueo a alta temperatura.**

Para mantener niveles inferiores a los de la temperatura de craqueo **se puede inyectar vapor de agua, o se agrega aire como diluyente de la mezcla de gases.**

Gestión de efluentes y residuos- 2024



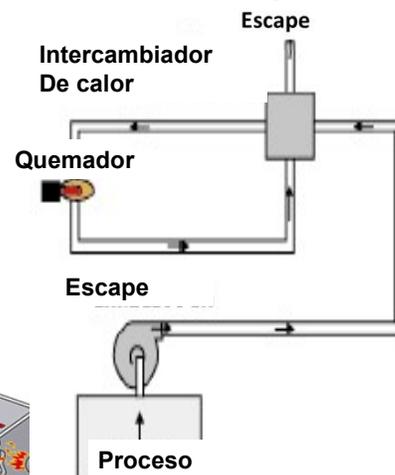
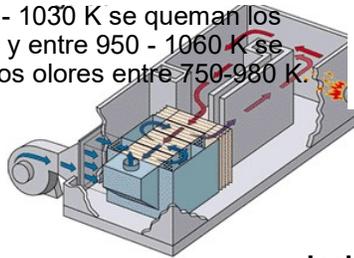
Incineración térmica

Se usa cuando la concentración de gases combustibles en los gases residuales es baja.

Los **gases residuales se precalientan** en un intercambiador de calor y se llevan a la cámara de combustión donde con aporte de combustible adicional y oxígeno se queman por completo.

Los parámetros más importantes para conseguir un buen rendimiento son: tiempo de residencia, turbulencia y temperatura.

Entre los 780 - 1030 K se queman los hidrocarburos y entre 950 - 1060 K se oxida el CO, los olores entre 750-980 K.



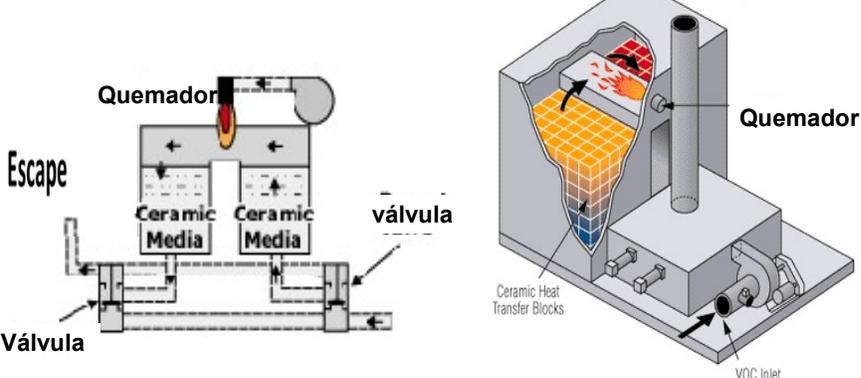
Incinerador térmico recuperativo

Gestión de efluentes y residuos-2024



Incineración térmica regenerativa

En este caso el **la recuperación de calor se hace con un sistema de torres cerámicas**, que absorben fuertemente el calor y un sistema de válvulas que alternan el paso del aire entre una torre y otra. La torre que en un ciclo del sistema absorbe calor una vez el aire ha pasado por el quemador, **se emplea para calentar el aire en el siguiente ciclo**



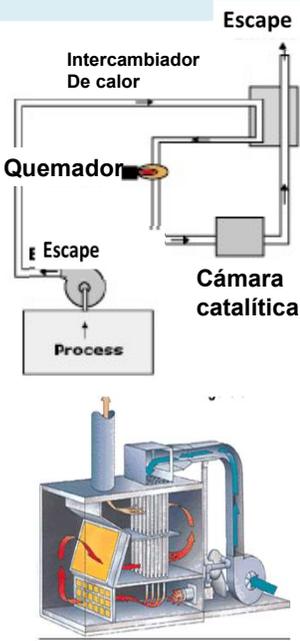
The diagram illustrates the regenerative thermal incineration process. It shows a burner (Quemador) at the top, with two ceramic media towers (Ceramic Media) below it. Arrows indicate the flow of air through the towers and the escape (Escape) point. A valve (Válvula) is shown at the bottom, and a VOC Inlet is labeled on the right. A 3D cutaway view shows the burner, ceramic heat transfer blocks, and the VOC Inlet.

Incineración catalítica

Los gases se hacen pasar por un **lecho catalítico que provoca la aceleración de la tasa de oxidación**.

Los **tiempos de residencia son menores que en el caso de los incineradores térmicos y las eficacias muy elevadas trabajando a temperaturas muy bajas**, del orden de 225 a 340 C, aunque las mayores tasas de eficacia se alcanzan entre 415-550 C.

- Como catalizadores se suelen emplear **metales nobles sobre una soporte de alúmina**. Ej cromo/alúmina, óxido de cobalto y óxido de cobre/óxido de manganeso (para compuestos clorados)
- La presencia en los gases residuales de elementos que envenenan al catalizador
- Pueden ser simples, recuperativos, regenerativos:



The diagram shows a catalytic recuperative incinerator. It includes a burner (Quemador), a heat exchanger (Intercambiador De calor), a catalytic chamber (Cámara catalítica), and a process inlet (Process). Arrows indicate the flow of gases through the system, with an escape (Escape) point at the top.

Incinerador catalítico recuperativo



Incineración

Aplicaciones Industriales:
Control de VOC s provenientes de una amplia variedad de procesos industriales, por ejemplo:

- Almacenamiento y carga/descarga de productos de petróleo y otros líquidos orgánicos volátiles;
- Limpieza de recipientes (tanques de ferrocarril, barcasas);
- Síntesis Químicos Orgánicos;
- Manufactura de pinturas;
- Productos de caucho y manufactura de polímeros;
- Manufactura de madera multilaminar;
- Operaciones de recubrimiento de superficies;
- Recubrimientos flexibles de vinilo y uretano;
- Industria de artes gráficas.

Gestión de efluentes y residuos- 2024




Incineración

Ventajas de la incineración

- Amplia gama de residuos
- **Eliminación/Destrucción de los contaminantes**
- Importante **reducción del volumen y peso** final de residuos
- **Eliminación o reducción sustancial de la toxicidad y/o peligrosidad**
- Flexibilidad operativa ya que con un mismo reactor pueden darse distintas temperaturas, turbulencias, tiempos, etc. según el tipo residuo.
- Opción interesante para residuos con una proporción relativamente alta de materia orgánica, **posibilidad de aprovechamiento energético**
- **Posibilidad de incineración in-situ** sin transporte a áreas distantes

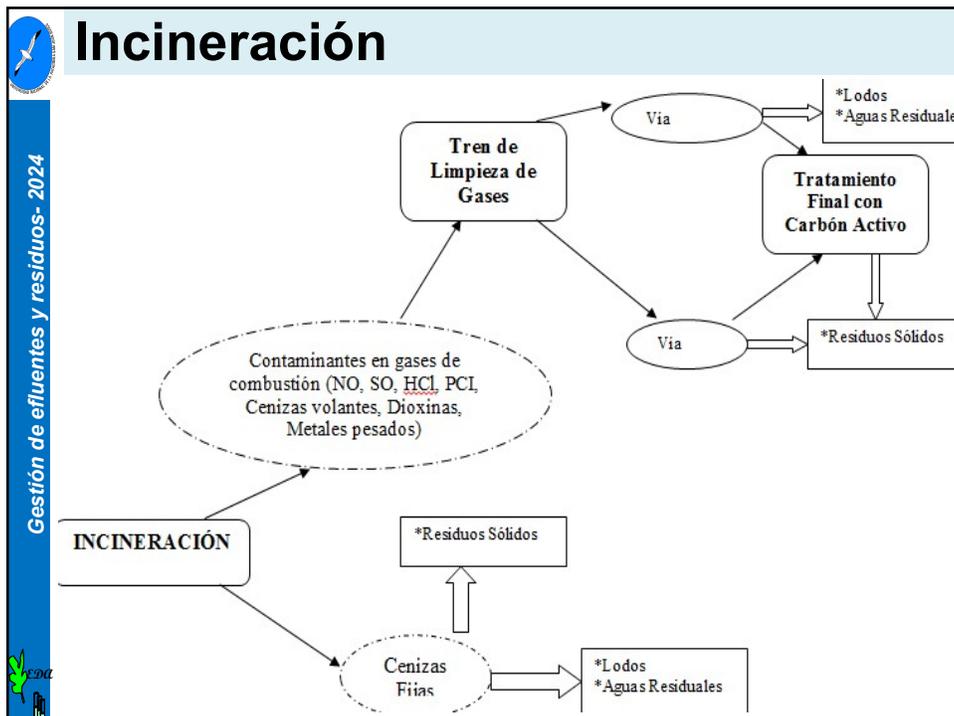
Gestión de efluentes y residuos- 2024



Incineración

Desventajas de la incineración

- Puede tener alto costo (variabilidad de acuerdo a la necesidad).
- Las altas temperaturas imponen el empleo de materiales adecuados \$\$\$
- Operadores calificados, registro y reporte las temperaturas obtenidas, estudio de emisiones.
- Si el residuo no tiene suficiente poder calorífico o presenta un alto contenido de agua se requiere el consumo de combustible adicional.
- Los materiales con gran cantidad de agua no son incinerables
- Pueden producir gases residuales, de combustión incompleta, tóxicos, dióxinas y furanos, y problemas de eliminación): FILTROS adecuados.
- Residuos, (polvos, lodos, aguas contaminadas, **cenizas**) deben ser controlados determinar si son necesarios tratamientos posteriores.



Adsorción de gases

Adsorción física y química

La adsorción es una operación de separación en la que ciertos componentes de una fase fluida se transfieren hacia la superficie de un sólido, donde quedan unidos mediante fuerzas de naturaleza física (débiles) o bien mediante verdaderos enlaces químicos.

Se utiliza cuando se manejan grandes volúmenes de gas, de baja concentración en el componente a separar

Aplicaciones

- Purificar gases efluentes
- Desodorizar
- Recuperar componentes gaseosos
- Concentrar gases

Condiciones optimas:

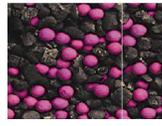
Efluentes **libres de polvo** ($< 0,5 \text{ mg/m}^3$)
 Efluentes **secos** (humedad $< 60\%$)
 Efluentes **no demasiado calientes** ($< 30^\circ\text{C}$)

Propiedades deseables p/ un buen adsorbente

Alta área específica	estabilidad física y química
Alta porosidad	fácil regeneración
Hidrófobos	resistencia mecánica
Selectividad	
Costo reducido de adquisición y eliminación	

Gestión de efluentes y residuos- 2024

Adsorbentes típicos

Adsorbente sólido	Especificaciones	Afinidad por el agua	Aplicaciones	Regeneración:
Silica gel	hidróxido de sílice deshidratada	hidrofílico	VOC polares	Calentamiento con agua (150-200°C)
Alumina	óxido de aluminio	hidrofílico	VOC polares	
Florisil		hidrofílico	VOC polares	
Carbón activado		hidrofílico	VOC C6 y superiores	Calentamiento con vapor (100-130°C)
Tenax (TA, GR, GC)	óxido de poli-2,6-difenilfenileno	hidrofóbico	VOC	
Porapak	resina macroreticular	hidrofóbico		Reducción de la presión
Amberlite XAD-2	resina poliaromática	hidrofóbico	SVOC	
Ambersorb	tamiz molecular de carbono	ligeramente hidrofílico		
Carbotrap (B, C, F)	negro de carbono grafitizado	ligeramente hidrofílico	hidrocarburos C4 y superiores, PCB	Extracción química
Carbosieve S-II y S-III	tamiz molecular de carbono	ligeramente hidrofílico	compuestos orgánicos ligeros	
Chromosorb 102 y 106	poliestireno divinilbenceno	hidrofóbico		  
Thermosorb/N	mezcla de silicatos metálicos con inhibidor de nitrosación		nitrosaminas	
Thermosorb/A			aminas	
Anasorb 747, CMS, 727		hidrofílico	cetonas, alcoholes, terpenos	

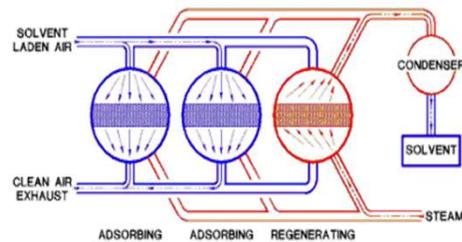
Tipo	ρ (kg/m ³)	A(m ² /g)
Carbón activado	400	1000-1500
Coque activado	600	100
Zeolitas	750	800-1100
Óxido de Al	700	100-400
Gel de sílice	600	250-850
Polímeros	--	800

Gestión de efluentes y residuos- 2024

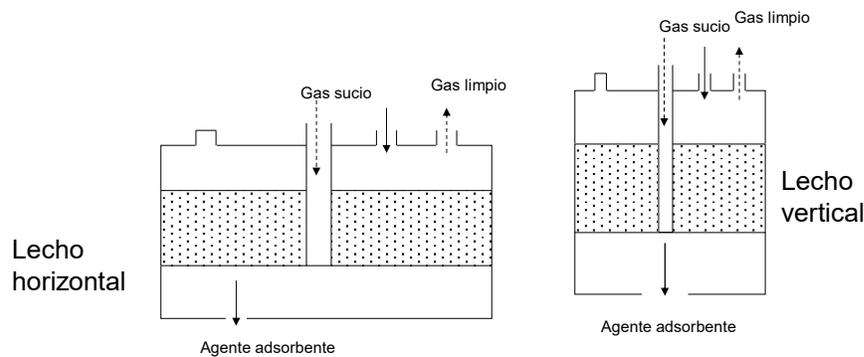


Aplicaciones

- Recuperación de solventes orgánicos
- Desulfuración del gas natural (eliminación del H_2S)
- Eliminación de gases tóxicos y olores desagradables
- Purificación de gases de combustión
- Purificación y secado de gas natural
- Eliminación de agua de efluentes gaseosos (secado)
- Eliminación de olores e impurezas desagradables de gases industriales como el dióxido de carbono o del aire



Adsorbedores de lecho fijo discontinuo



Ventajas

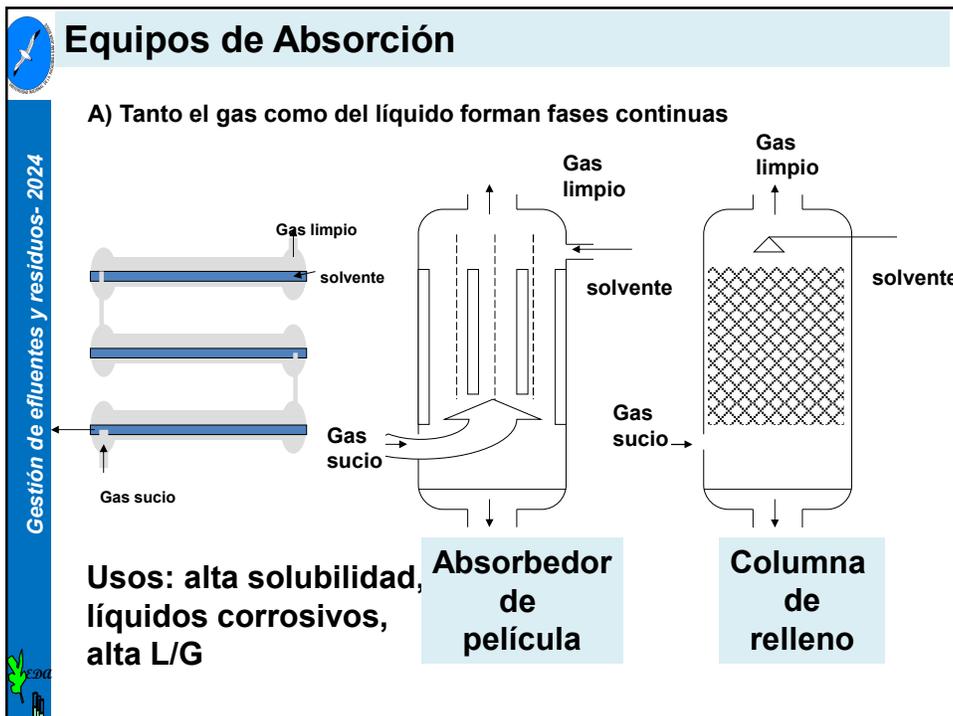
- Permite la operación en **atmosferas altamente corrosivas**
- Capital de inversión relativamente bajo
- Poco requerimiento de espacio
- No se generan residuos efluentes

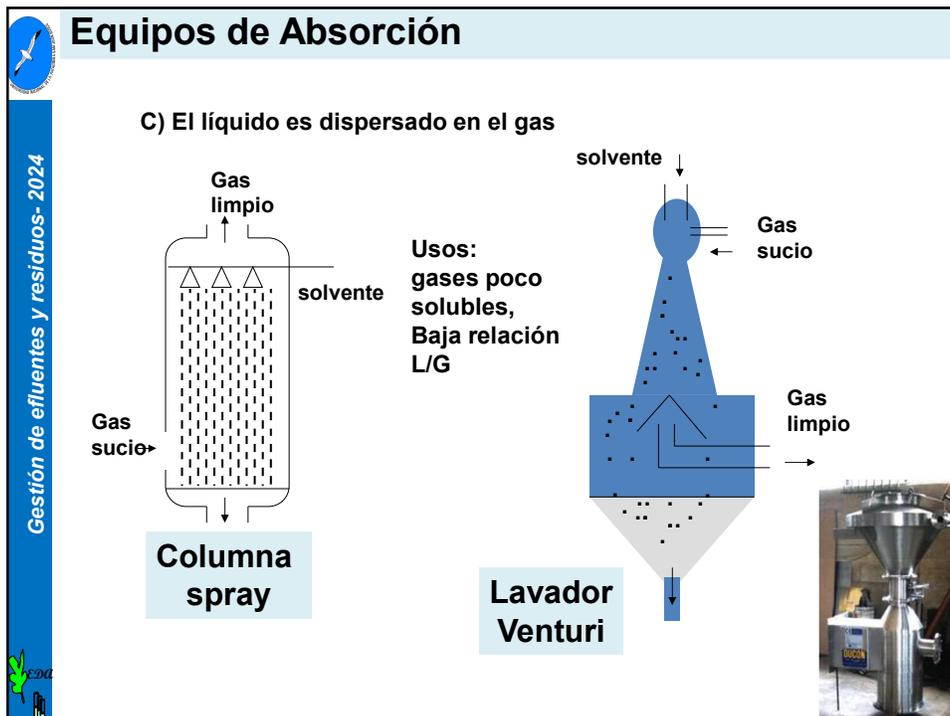
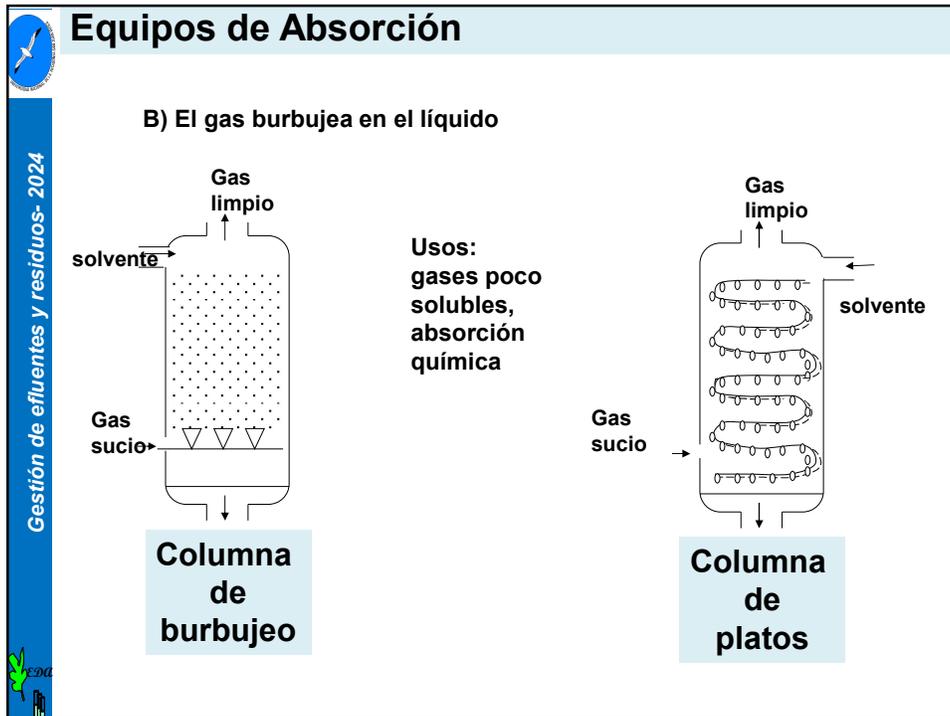
Desventajas

- Las partículas pueden causar taponamiento del medio
- Costos de mantenimiento relativamente altos**

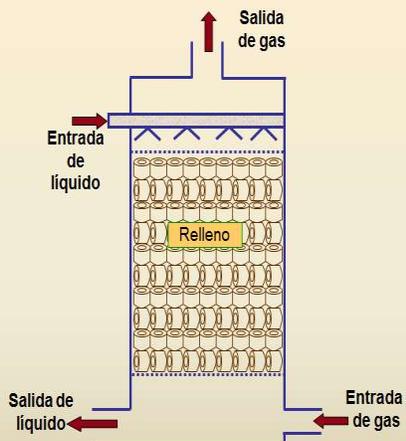


Absorción	
Se separa uno o más componentes (el soluto) de una fase gaseosa por medio de una fase líquida en la que los componentes a eliminar son solubles (los restantes componentes son insolubles).	
Selección del solvente: Toxicidad Volatilidad Viscosidad Precio	Formas de contacto El gas circula por la superficie del líquido El gas circula por un equipo en el cual se pulveriza el líquido El gas circula por la columna con relleno mojado por el líquido El gas burbujea a través del líquido
Componentes HCl NH ₃ Olores y cetonas H ₂ S CO ₂ HCN y mercaptanos SO ₂ NO _x	absorbentes agua, álcali agua, ácidos agua, aceites solventes orgánicos K ₂ CO ₃ , metanol, solv. org. solventes orgánicos cal, soda, NH ₃ Aminas





Columnas de relleno



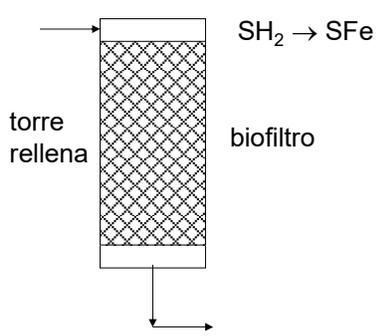
Materiales de relleno:
Baratos, inertes y ligeros: Arcilla, porcelana, plásticos, acero, aluminio.
Unidades de relleno huecas, que garantizan la porosidad del lecho y el paso de los fluidos



Cuerpos de relleno típicos: a) montura Berl; b) montura Intalox; c) anillo Raschig; d) anillo Pall

Absorción con reacción química

Ejemplo:
eliminación de H_2S



torre rellena

biofiltro

microorganismos

MO \rightarrow $CO_2 + H_2O$

S⁼ \rightarrow $SO_4^{=}$

$SH_2 \rightarrow SFe$

Ejemplo:

- remoción de CO p/oxidación catalítica

$$2 CO + O_2 \rightarrow 2 CO_2$$

Pt

- remoción de N_2O p/descomposición catalítica

$$2N_2O \rightarrow 2 N_2 + O_2$$

- reducción catalítica de NO y NO_2

$$4 NO + 4 NH_3 + O_2 \xrightarrow{Scr} 4 N_2 + 6 H_2O$$

$$6 NO_2 + 8 NH_3 \rightarrow 7 N_2 + 12 H_2O$$

Scr = reducción catalítica selectiva con V_2O_5 o TiO_2

Absorción con reacción química

Aplicaciones : para eliminar SO₂, NO_x, Cl₂, VOC, etc.

Ejemplo: eliminación de olores por oxidación química

Oxidación: sulfuros, mercaptanos, aminas, cetonas, fenoles, cresoles

demister

Reactor catalítico de lecho fijo

NaClO

torre rellena

yeso

Los equipos que se utilizan: torres o columnas (spray, rellenas, de platos) Venturi, spray ciclónico

Ejemplo: Absorción de SO₂

$$\begin{aligned} & \bullet \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{SO}_2 \rightarrow 2 \text{NaHSO}_3 \\ & 2 \text{NaHSO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \bullet \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 + \text{H}_2\text{O} \\ & \bullet \text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 + \text{CO}_2 \\ & \bullet \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{MgSO}_3 + \text{H}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \bullet 2 \text{NaOH} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \\ & \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_3 + 2\text{NaOH} \\ & \text{CaSO}_3 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} \end{aligned}$$

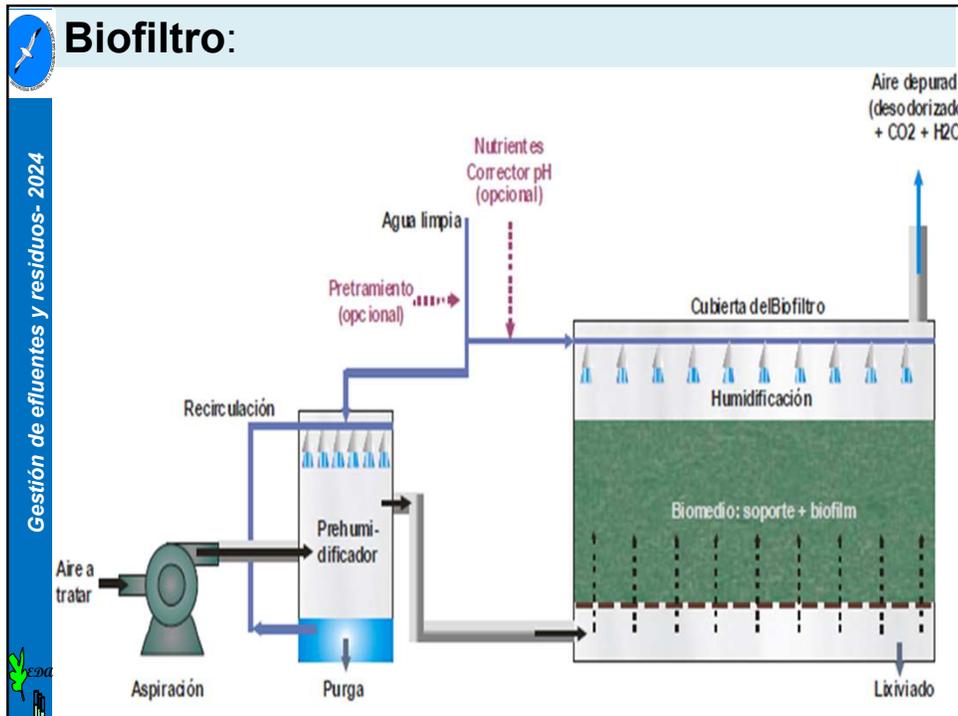
Biorreactores

Emplean a microorganismos para consumir contaminantes de una corriente de aire contaminado.

Biofiltro:
consiste en hacer pasar una corriente de aire a través de un material filtrante tal como compost, suelo, roca volcánica, corteza, tierra gruesa, grava en el cual se encuentran microorganismos

Biopercolador:
contiene una biopelícula humidificada constantemente por aspersores.

Biolavador (Bioscrubber):
se inunda el empaque de la torre con una fase líquida y se recoge el efluente de descarga en un tanque de almacenamiento (sumidero) permite un tiempo de reacción adicional para que actúen los microorganismos



Biorreactores

Aplicaciones
 VOCs, olores, alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres, aminas, ácidos orgánicos, hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, xileno, estireno), excepto naftaleno, hidrocarburos halogenados (diclorometano, tricloroetano), fenoles (cresol, fenol), sulfuro de hidrogeno, óxidos de azufre y nitrógeno, amoniaco.
 Manufactura de tintas de impresión e industria electrónica, industria cigarrera, emisiones de plantas de tratamiento de aguas.

Ventaja
 Económica

Desventajas
 Complejidad de la operación.
 Humidificación previa del gas y superficie del terreno disponible.

Si el fluido gaseoso contiene partículas, biofiltro no es operante y se recomiendan biofiltro percolador y/o biolavador.
 Si producto de la biodegradación del contaminante se producen **compuestos de azufre o halógenos, el biofiltro percolador y/o biolavador son mejores opciones.**
Tiempo de residencia de gas en el biorreactor

 **Tratamiento con Plasma**

Consiste en la ionización de compuestos orgánicos volátiles en el aire por un haz de electrones,
Es un proceso de transferencia de carga,
Se puede realizar siempre que el contaminante tenga un potencial de ionización más bajo que la del gas portador

- 1) Gas portador (aire + VOC) → *Radical*
- 2) *Radical* + VOC + O₂ → Y + productos (CO₂, H₂O, etc.)
- 3) Reacciones que Compiten
 - Y + R + O₂ → Z + productos
 - R + O₂ → NO_x

- Los efectos de la temperatura del gas en la desintoxicación,
- Los efectos del tiempo de residencia del reactor,
- efectos sinérgicos en mezclas de COV,
- La eficiencia de cañón de electrones y el diseño del reactor
- especies específicas de las DRE y productos intermedios, y
- Los efectos de gases de host para verificar el modelo de reacción

 *Gestión de efluentes y residuos- 2024*

 **Tratamiento con Plasma**

El término "plasma" se utiliza para definir un estado de la materia (a veces referido como "cuarto estado de la materia") en el cual una proporción importante de átomos o moléculas en un gas se encuentran en un estado ionizado exhibiendo un comportamiento colectivo eléctricamente neutro (quasi-neutro).

El estado de plasma se genera haciendo pasar la corriente gaseosa, a baja presión, a través de un arco eléctrico, de forma que la energía eléctrica que proporciona el arco es transferida como energía térmica a las moléculas del gas. Como resultado de dicha transferencia, las moléculas del gas son ionizadas.

Cuando las moléculas vuelven al estado de relajación, liberan la energía térmica, alcanzando temperaturas muy elevadas (hasta 20000 °C en el punto más próximo de generación, disminuyendo en dirección axial del haz de plasma).

 *Gestión de efluentes y residuos- 2024*



Table 3. Relationship between destruction removal efficiency (DRE) and ionization potential difference (δIP) values for various VOCs tested in this study.

Species	Inlet VOC Concentration (ppmv)	DRE ^(a) (%)	δIP ^(b) (eV)
1,1,2-Freon	392	14.03	3.61
1,1,1-TCA	795	16.23	4.56
Propane	525	20.95	4.65
Vinyl Chloride	252	62.30	5.61
TCE	221	75.10	6.13
PCE	166	78.92	6.28

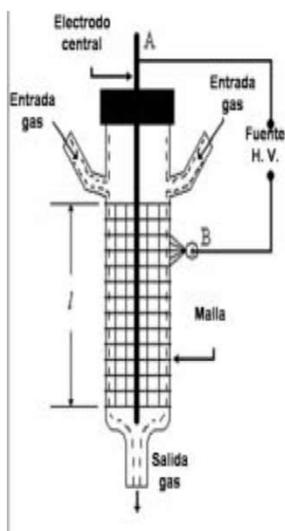
^a All DRE data are estimated at the dose level of 20-25 kGy.

^b δIP values are calculated from the literature reported in Table 1.

TCE Tricloroetano TCE tricloroetileno PEC Percloroetileno



Tratamiento con Plasma



Ventajas:

- Debido a las altas temperaturas, se produce una descomposición química del residuo en elementos sin que haya compuestos intermedios. Ello reduce al mínimo las necesidades de depuración posteriores.
- Las cenizas están formadas por partículas vitrificadas.

Desventajas:

- El núcleo del reactor está pensado para residuos sólidos, por lo que los líquidos y gases habrán de ser previamente mezclados para adecuar la alimentación.
- El sistema de alimentación obliga a pasar los residuos a través de mallas, lo cual hace necesario un sistema de pretratamiento en la mayoría de las ocasiones.

Eficiente para NO_x y SO_x

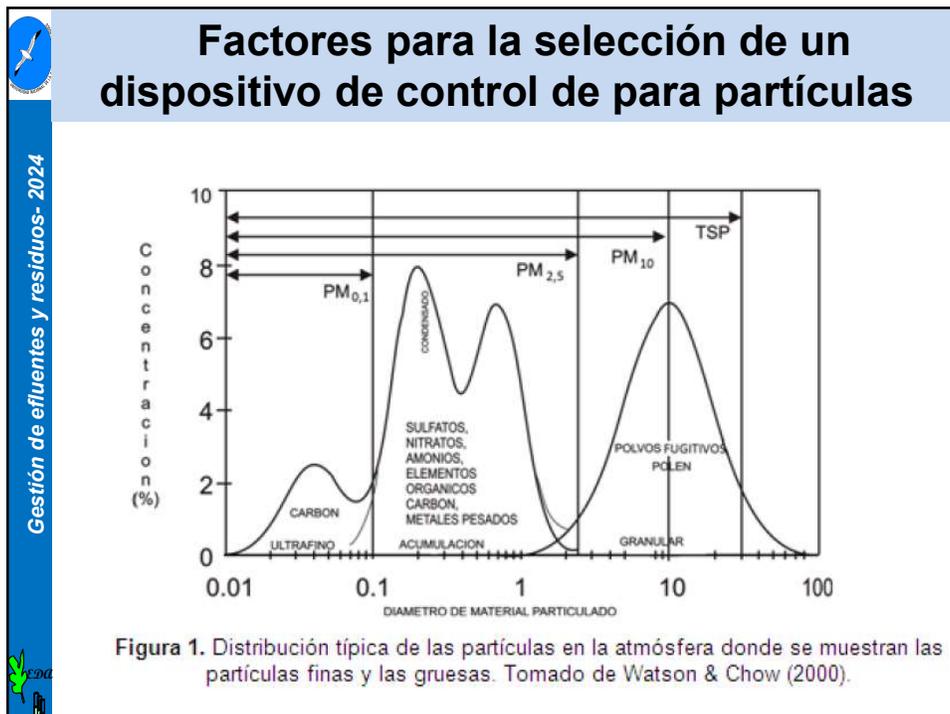
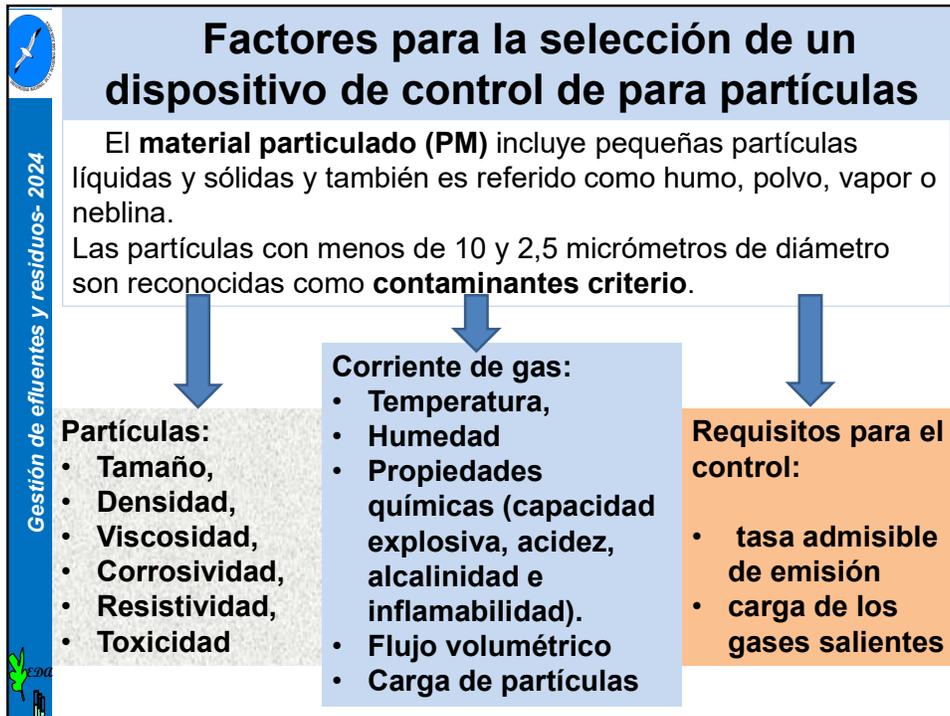




Partículas

Fuentes industriales

Industria/Proceso	Fuente de emisiones	Tipo de Partícula	Método de Control
Calderas de Carbón	Manejo de carbón, cenizas	Polvo de carbon, cenizas	Ciclones, Pre. Electrostáticos. Filtros
Incineradores	Incinerador	cenizas	Lavador Venturi, Filtros, Pre. Elec.
Fundiciones	Hornos	Oxido de Hierro, humos	Lavadores, Ciclones, filtros
Industria del vidrio	Hornos	Nieblas, polvos	Filtros, ciclones, Pre. Electr.
Cemento	Hornos	Polvos	Ciclones, Prep. Elec
Refinerías Petróleo	Regeneradores, Incineradores	Humos, cenizas	Ciclones, Prep. Elec. Precipitadores Gravedad



Dispositivos de control para partículas

Métodos secos:

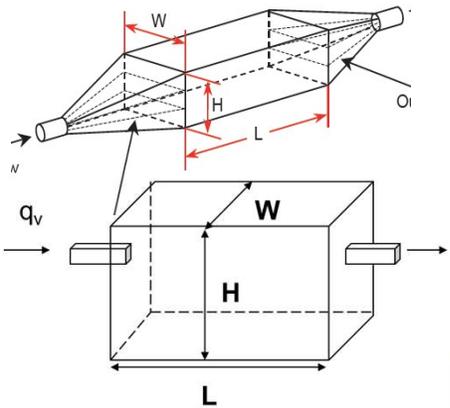
- Sedimentadores
- Ciclones
- Filtros
- Precipitadores electrostáticos

Métodos húmedos:

- Lavadores de cámara
- Lavadores ciclónicos
- Lavadores Venturi

Sedimentadores

Se trata de una cámara alargada por la que pasa lentamente la corriente contaminada durante el tiempo suficiente para que las partículas sedimenten por **gravedad** hasta el fondo.



Tiempo de residencia

$$\theta = H L W / q_v$$

Velocidad terminal

$$v_t = g d^2 (\rho_p - \rho_g) / 18\mu \text{ (Stokes)}$$

Distancia recorrida

$$h_d = \theta v_t$$

Velocidad p/ arrastre de partículas

$$v_p = [0,4 g d (\rho_p - \rho_g)]^{0,5} / 3\rho_g$$

Eficiencia en la remoción

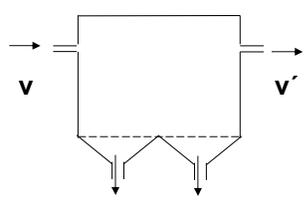
$$E = h_d 100 / H\% = v_t W L 100 / q_v$$

g aceleración de la gravedad
 ρ_p densidad de las partículas
 ρ_g densidad del gas
 μ viscosidad del gas

Fración Capturada $\eta_{f.bloque} = (L * v_t) / (H * V_{prom}) =$

Eficiencia $\eta_{f.bloque} = (L * g * D^{2*} \rho_{part}) / (H * V_{prom} * 18 * \mu_{gas})$

Gestión de efluentes y residuos- 2024



Sedimentadores

Aplicaciones:

En industrias que tratan gases muy secos, por ejemplo en procesos de fundiciones y metalúrgicos

$V = 3 \text{ m/s} \quad d > 50 \mu\text{m}$

Ventajas:
 simplicidad,
 bajo costo de capital,
 bajo costo operativo,

Desventajas:
 grandes volúmenes de equipo,
 baja eficiencia p/ partículas < 50 μm

Gestión de efluentes y residuos- 2024



Ciclones

Permiten la separación de partículas de un gas portador por acción de la **fuerza centrífuga**. El gas entra por una admisión rectangular tangencial al ciclón de forma que el gas fluye alrededor de la circunferencia. El gas se mueve en espiral y hacia abajo, se vuelve y sube en espiral hacia arriba por la parte superior del aparato.

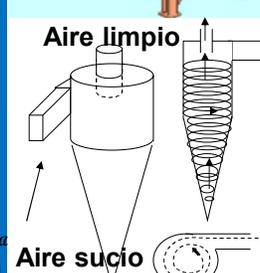
Vt: Velocidad terminal de sedimentación
Vc: Velocidad a lo largo de la trayectoria circular.

$V_t = (V_c^2 * D^2 * \rho_{part}) / (18 * \mu_{gas} * r)$

Eficiencia

$\eta_{\text{flujo mezclado}} = 1 - e^{-(N * \pi * V_c * D^2 * \rho_{part}) / (9 * W_i * \mu_{gas})}$

Aumenta con la ρ_{part} y
Disminuye al aumentar T Por el aumento de μ_{gas}



Ciclones

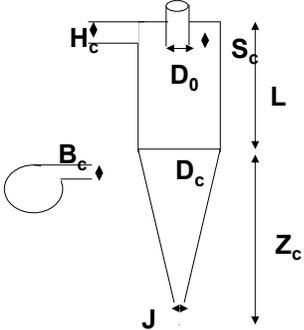
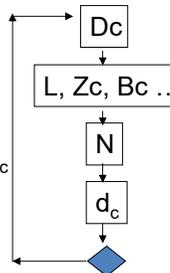
Diseño de Colectores centrifugos

Relaciones típicas de diseño

$$L = 2 D_c \quad S_c = 0,626 D_c$$

$$Z_c = 2 D_c \quad D_0 = 0,50 D_c$$

$$B_c = 0,25 D_c \quad J = 0,25 D_c$$

$$H_c = 0,50 D_c \quad N = \pi (2L + Z_c) / H_c$$



d_c diámetro de corte
Diámetro de partículas que se separa con un 50% de eficiencia

$$d_c = [g \mu_g B_c / 2 \pi N V (\rho_p - \rho_g)]^{0,5}$$

Las longitudes en m
 μ en kg/m s
 ρ en kg/ m³

$V = 10/25$ m/s $d = 5-10\mu\text{m}$ $E_f = 90\%$

Gestión de efluentes y residuos- 2024

Lavadores ciclónicos húmedos

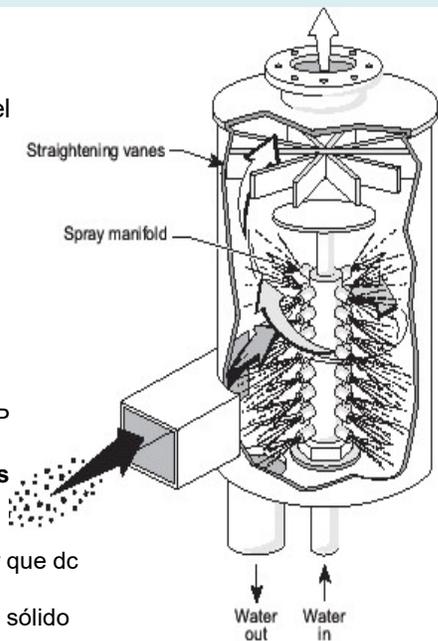
Se colocan **inyectores para pulverizar el líquido**.

La unión del movimiento helicoidal del gas y el líquido inyectado **proyecta las gotitas de agua sucia sobre las paredes** que resbalando a lo largo de ellas llegan al fondo.

Eliminan partículas > 2.5 mm con rendimientos elevados

Ventajas:
Bajo costo de inversión y mantenimiento
Trabajan en condiciones drásticas de T y P
Se construyen de varios materiales
Sirven para partículas sólidas y líquidas

Desventajas:
Baja eficiencia para partículas de d menor que d_c
La caída de presión es importante
Sujeto a erosión o suciedad de acuerdo al sólido



Gestión de efluentes y residuos- 2024

Filtros

Filtros de mangas

la corriente de aire cargada de partículas pasa a través del **tejido que constituye la unidad filtrante**. Las partículas más pequeñas que los intersticios de la tela quedan retenidas por simple **tamizado**. A medida que se colmata el tejido, aumenta su eficacia y también la pérdida de carga (hasta 10 veces la del tejido limpio).

Vista interna colector Lado limpio

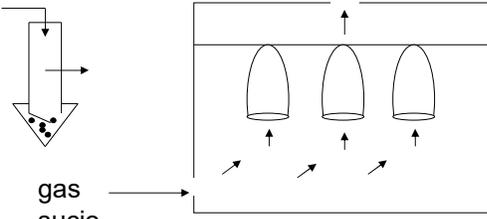
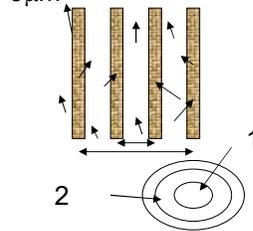
Lecho de fibras "twin pack" p/ d < 3µm

Vista interna de colector Lado sucio.

gas sucio → **gas limpio**

Ventaja: alta eficiencia para partículas pequeñas (<0,5 µm) Ef ~ 90% p/ d ~ 0,01 µm

Desventaja: sensibles a la temperatura y la humedad


Filtros

Los materiales que se empleen (poliester, poliamida, nylon, fibra de vidrio) debe de ser compatibles con el tipo de gas/partícula a tratar.

Los mas empleados en aplicaciones industriales son los de telas o bolsas que cuelgan en múltiples filas.

Las eficiencias son del 99% para partículas > 0.5 µm.

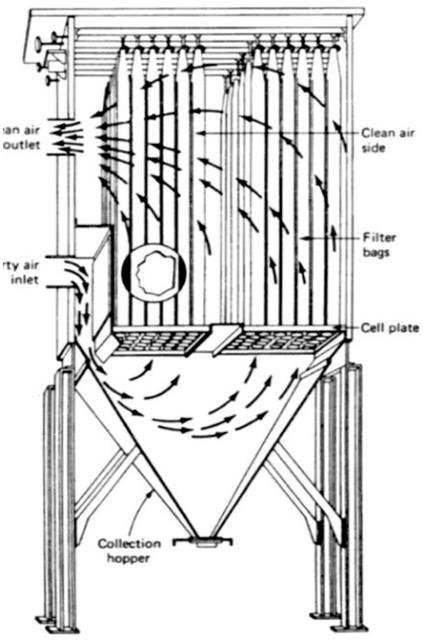
Suelen llevar un sistema de **agitación para que el polvo acumulado** caiga a una tolva y no se obturen los filtros.

La mayor dificultad de estos sistemas son los de no soportar gases calientes y/o húmedos



Gestión de efluentes y residuos- 2249

Gestión de efluentes y residuos- 2024



Velocidad promedio de entrada

$$v = Q/A$$

Q caudal
A área

Captación de partículas

$$m/A = cV\eta t$$

M= masa
A=área
C= concentración
 η = eficiencia
T= tiempo

El espesor de la torta, E

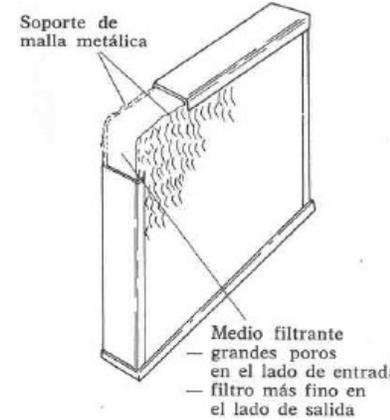
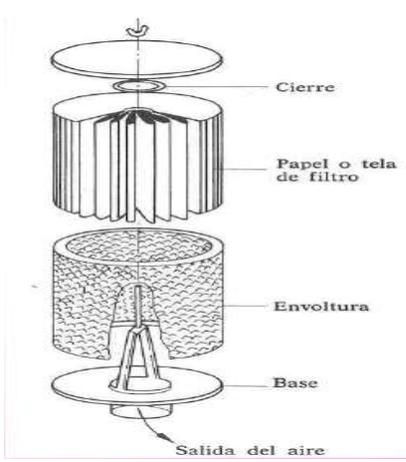
$$E = m/A \cdot \rho$$

ρ =densidad

Gestión de efluentes y residuos- 2024

Filtros

Filtros de profundidad
Gravas o arena
Fibras naturales
Cerámicos
Papel

Soporte de malla metálica

Medio filtrante
— grandes poros en el lado de entrada
— filtro más fino en el lado de salida

Cierre

Papel o tela de filtro

Envoltura

Base

Salida del aire

Precipitadores electrostáticos

Utiliza energía eléctrica p/cargar y colectar
Partículas con muy alta eficiencia

Es de acero inoxidable

Superficie positiva
Electrodo positivo

20 a 30 cm

$E_f \propto \rho E^2 a / 6\pi\mu$

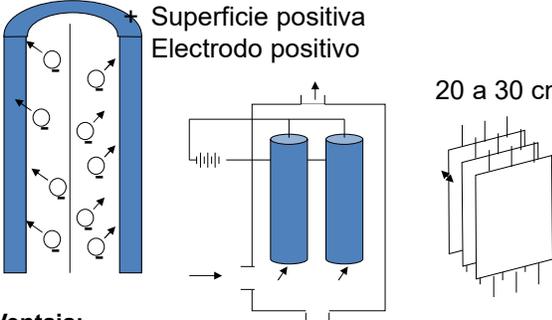
ρ constante dieléctrica
 E campo eléctrico
 a radio de la partícula
 μ viscosidad del gas

Factores que influyen en el rendimiento
Características del gas: densidad, composición, temperatura, viscosidad y velocidad
Características de las partículas: tamaño, composición, forma, prop. superficiales
Electrodos de descarga: espaciado, alineamientos, área de colección
Eléctricos: fuerza del campo, diferencias de potencial

Ventaja:
muy efectivos P/ partículas pequeñas, alta eficiencia, soporta altas temperaturas, bajo costo de mantenimiento y bajo ΔP

Desventaja:
alto costo de capital, gran requerimiento de espacio, a mayor capa de polvo mayor resistencia

Gestión de efluentes y residuos- 2024



Precipitadores electrostáticos

Flujo en bloque

Flujo mezclado

$E_f = w A/Q$

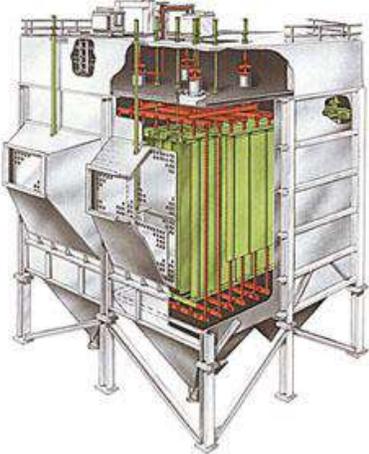
$E_f = 1 - \exp(-w A/Q)$

W= velocidad de deriva (valores típicos, ej. cemento: 0,033 m/s)
A/Q=área colectora/flujo volumétrico

Ventajas:
grandes volúmenes de gases, alta eficiencia de colección, partículas submicrométricas posibilidad de trabajar con gases a alta temperatura y húmedos. Las pérdidas de carga no es muy grande

Desventajas:
monitorear continuamente el voltaje y la corriente que circula por el precipitador,

Gestión de efluentes y residuos- 2024





Lavadores Scrubbers (colectores húmedos)

Un líquido atomizado, generalmente agua, es usado para capturar partículas o para incrementar el tamaño de los aerosoles, ya que el incremento de su tamaño facilita su separación del efluente gaseoso.

Remueve partículas en el rango de 0,1 – 20 μm .

Pueden ser utilizados para enfriar un efluente gaseoso a alta temperatura.

Su principal desventaja es el manejo de los lodos generados.

Tipo de colector húmedo	Caída de presión(Pa)	Diámetro mínimo de partículas colectadas(μm)
Torres de aspersión	125-375	10
Ciclones húmedos	500-2500	2-6
Lavadores venturi	2500-18000	0,5-1

Aplicaciones

calentadores industriales que utilizan carbón, madera o combustible. emisiones de la industria química, de producción de madera, blanqueado de papel, manufactura de asfalto, aluminio, plomo y acero. incineradores de residuos sólidos municipales. Típicamente los colectores húmedos son empleados cuando una alta eficiencia de remoción es necesaria.



Lavadores de Spray

Con dispositivo antiniebla para eliminar gotitas de la corriente de gas

Las gotas deben de tener un tamaño mínimo (500 a 1000 μm) para que puedan sedimentar en la corriente gaseosa (0.3-1.2 m/s).

Eficiencia

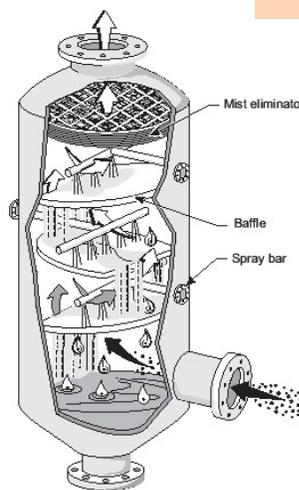
$$\eta = 1 - \exp(-N_i) \quad N_i \text{ numero de impactación}$$

Ventajas

- Elevadas eficacias de captación
- Costos de inversión bajos
- Diseño compacto, robusto y sencillo
- Capacidad de retener simultáneamente gases y partículas (especialmente materiales viscosos)
- Capacidad de manejar corrientes de gases a elevada temperatura y alta humedad

Desventajas

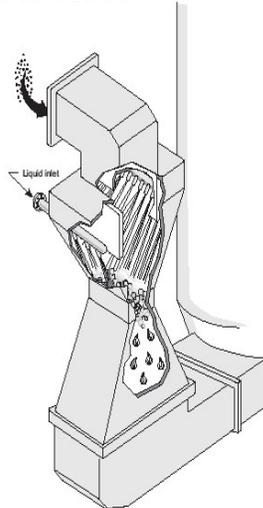
- Pérdida de carga y necesidades energéticas elevadas
- La opacidad y el arrastre de gotas puede ser problemática
- Problemas de corrosión
- Generación de un efluente líquido que puede necesitar tratamiento





Lavadores Venturi

En estos lavadores se usa el efecto Venturi para acelerar la corriente gaseosa y utilizar parte de la energía para acelerar y atomizar las gotitas de líquido.



Condiciones de trabajo:
sistema de monitoreo continuo de la caída de presión

registro de agua suministrada al equipo

eficiencias 70% a un 99%, PM con diámetros entre 0,5 y 5 μm .

Los caudales de 0,2 a 28 m^3/s .

Temperatura de los gases de entrada 4 a 370 $^{\circ}\text{C}$.

Concentración de los contaminantes de 1 a 115.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Comparación de Eficiencia de los equipos

EQUIPO	DIAMETRO (μm)				
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 44	> 44
Cidón de baja presión	12	33	57	82	91
Cidón de alta presión	40	54	74	95	98
Filtro de Mangas	99	100	100	100	100
Torre Lavadora de mediana energía	80	90	98	100	100
Torre Lavadora de alta energía (Venturi)	95	99,5	100	100	100
Precipitador Electrostático	97	99	99,5	100	100



NORMATIVAS PARA EL CONTROL DE EMISIONES DE CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA

Marco Legal Nacional

Decreto 481/2000 Reducción de Gases con Efecto invernadero
 Ley 23724 Adhesión Convenio de Viena para Protección Capa de Ozono
 Ley 23778 Adhesión al Protocolo de Montreal relativo Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.
 Ley 24040 Sustancias agotadoras de la Capa de Ozono
 Res. 250/1994 Clasificación de las Categorías Cuánticas de Generadores de Residuos Peligrosos Gaseosos y Mixtos
 Ley 20284 Ley del Aire (adhieren Pcias. De Mendoza y Sta. Cruz)
 Res. 458/1999 Comisión Nacional para la Elaboración y Propuesta de la Meta de Emisión de Gases de Efecto Invernadero.
 Res. 528/2001 Normas para medición de contaminantes (se hace alusión a normas ISO para toma de muestra N° 10396/93)

Normativa de la Provincia de Buenos Aires

Decreto 3395/96 Normas para Habilitación de Establecimientos Industriales por Efluentes Gaseosos. (Actualmente utilizada como marco para la confección de EIA y controles de emisiones y calidad de aire)
 Res. 279/96, 242/97, 2145/2001 y 1356/04; Complementan a la 3395/96.

Gestión de efluentes y residuos- 2024




Marco Legal Provincia del Chubut:

Cuenta con adhesión a la Ley nacional de residuos peligrosos.
 Ley XI N° 35 M A y CDS (ANTES LEY 5439)

Normativa Municipalidad de Comodoro Rivadavia.

Ordenanza N° 5594/95 Normas de calidad de Aire- No fija límites de emisión de contaminantes, únicamente de calidad de aire.
 Ordenanza N° 5696/95 –Modifica la Ord. 5594/95

Normativa de Referencia:

Normas ARPEL –Calidad de aire – Estándares de emisión –
 Res. 0058/02 Colombia – Ref. Incineradores – Crematorios –
 Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental Atmosférico – CNEA/1997.
 Colombia-BAMA- Res. 0058/02- Res.088604, regula emisiones de incineradores y hornos crematorios.

Gestión de efluentes y residuos- 2024





Bibliografía

Gestión de efluentes y residuos- 2024

Ebel, A., Davitashvili, T., Air, Water and Soil Quality Modelling for Risk and Impact Assessment, , Ed. Springer, Ed Lewis Publisher(2007)

Wang, L., Pereira, N., Hung, Y-T., Advanced Air and Noise Pollution Control, Ed. Humana Press (2005)

Schiffner, K. C., Air pollution control equipment selection guide (2002)

