

Tratamiento de efluentes gaseosos

Partículas

OBJETIVOS:

1. Identificar el material particulado a tratar en una industria
2. Conocer cada una de las técnicas y las posibles aplicaciones
3. Saber comparar las técnicas e identificar sus particularidades
4. Seleccionar la técnica más adecuada al tipo de partículas emitidas y a los requerimientos finales de emisión

Selección de la alternativa adecuada

1º Conocer las emisiones sin tratamiento y compararlas con los límites de emisión legales o deseables

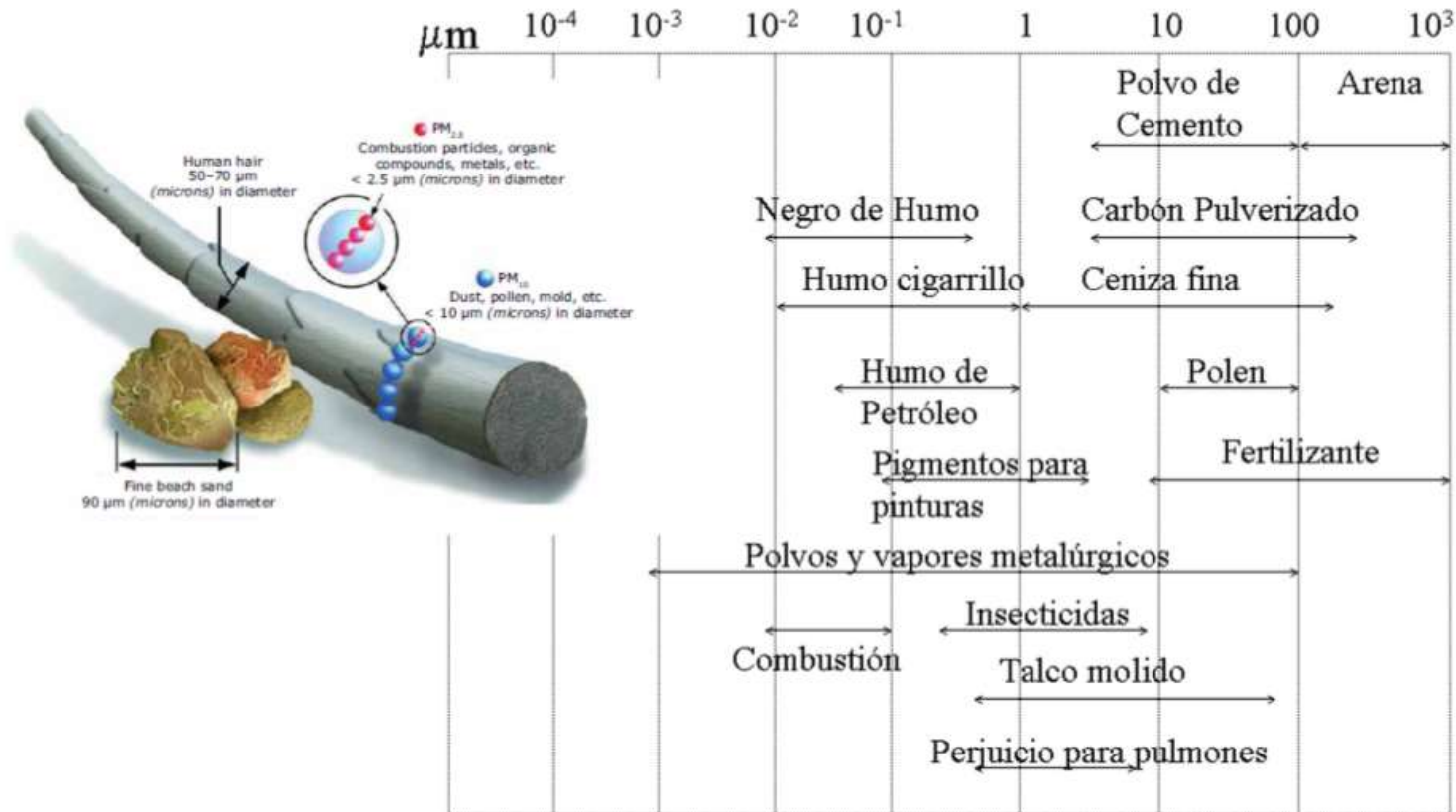
2º Si se va a realizar un tratamiento para reducir las emisiones, evaluar las alternativas:

- ✓ Minimizar la generación modificando el proceso
- ✓ Tratar las emisiones recuperando material
- ✓ Tratar las emisiones sin recuperar material

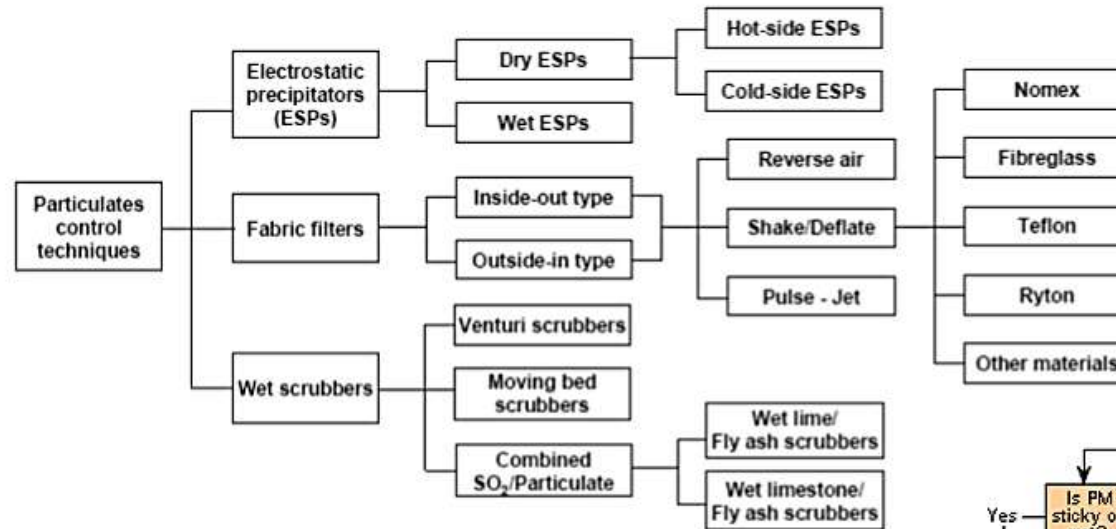
3º Seleccionar la alternativa más adecuada teniendo en cuenta:

Aspectos	Consideraciones
Técnicos	Conseguir un rendimiento predeterminado Ocupar el mínimo espacio posible Reducir al máximo los impactos ambientales
Económicos	Realizar las funciones con el mínimo coste específico (€/m ³) • Inversión • Operación y mantenimiento • Desmantelamiento
Legales	Asegurar emisiones por debajo de los requisitos legales

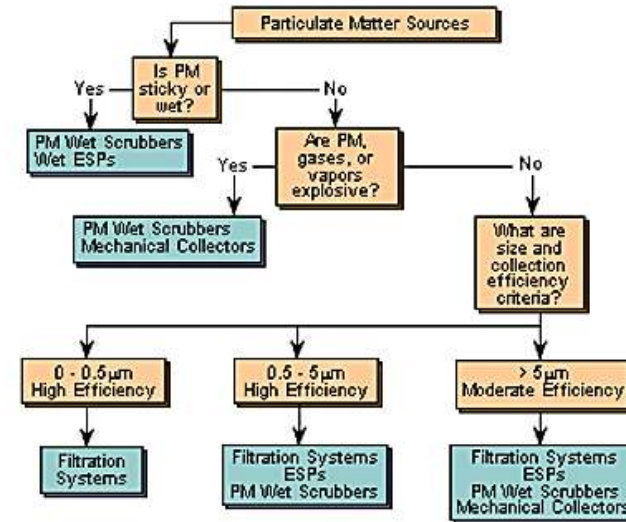
Tamaño aproximado de partícula para distintos tipos de emisiones



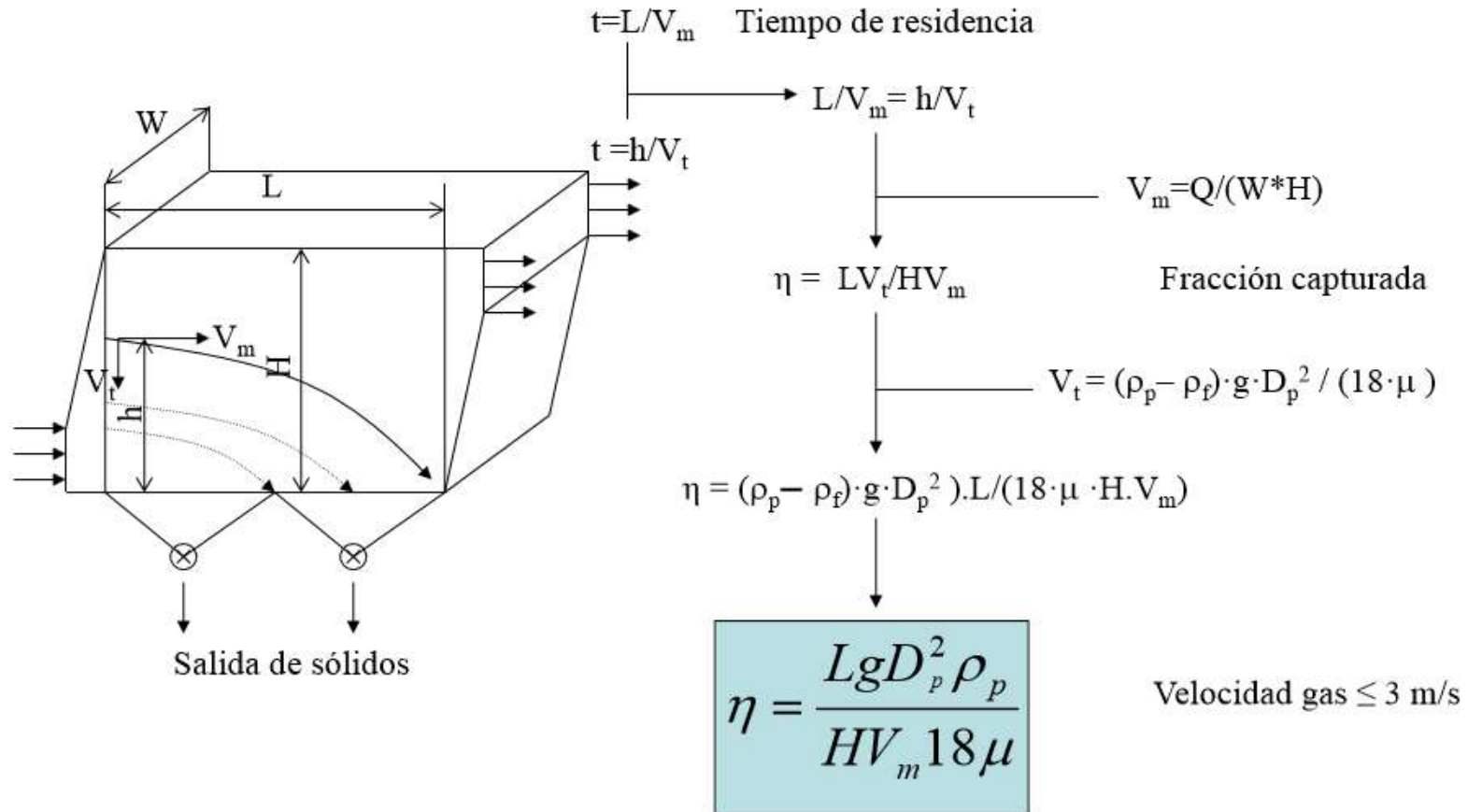
Principales técnicas de depuración de partículas



- Precipitadores electrostáticos (PE)
- Separadores de capa porosa (filtros de mangas o textiles)
- Separadores por vía húmeda (lavadores o scrubbers)



Cámaras de gravedad

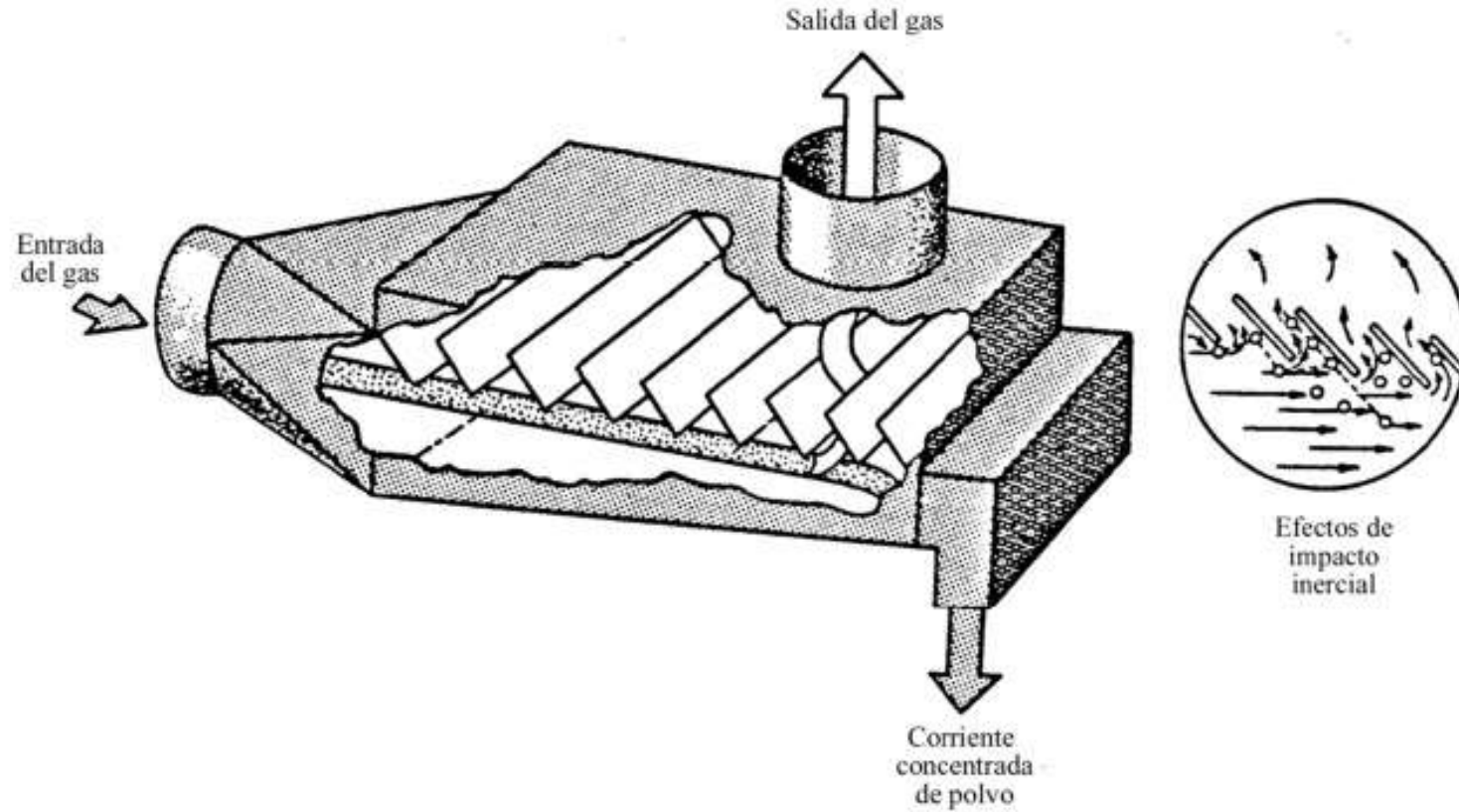


Aplicaciones

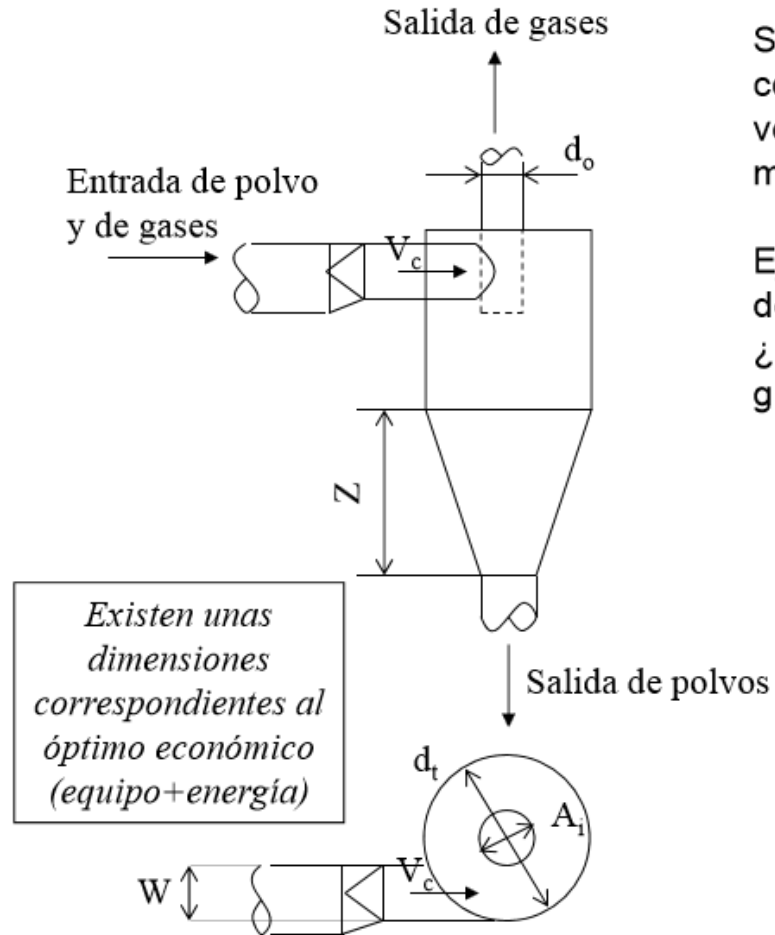
- Poco utilizadas
- Cuando el caudal es elevado y el diámetro de partículas a separar alto

Ventajas	Inconvenientes
• Fácil construcción • Baja inversión y bajo coste de mantenimiento anual • Bajas pérdidas de carga (energía) y, por tanto, bajos consumos eléctricos • Escasos problemas de abrasión	• Necesitan grandes espacios • Necesitan que el gas llegue seco para evitar problemas de aglomeración de partículas

Separadores inerciales



Ciclones



Si un cuerpo se mueve en una trayectoria circular con radio r y velocidad V_c , entonces tiene una velocidad angular $\omega = V_c/r$, y su fuerza centrífuga es $m\omega^2 r = mV_c^2/r$

Ejemplo: una partícula está viajando en una corriente de gas con velocidad de 15 m/s y radio de 0,3 m. ¿Cuál es la relación fuerza centrífuga a fuerza de gravedad actuando sobre ella?

$$\frac{\text{Fuerza centrífuga}}{\text{Fuerza de gravedad}} = \frac{mV_c^2/r}{mg} = \frac{(15 \text{ m/s})^2 / (0,3 \text{ m})}{(9,81 \text{ m/s}^2)} = 76,5$$

Fuerza centrífuga = Fuerza rozamiento

$$F_C = \frac{4 \cdot \pi \cdot r_p^3 \cdot v_c^2 \cdot \rho_p}{3 \cdot r_c} = 6 \cdot \pi \cdot r_p \cdot \mu \cdot v_t = F_R$$

$$\eta = \frac{N \pi d_t V_t}{W V_c} = \frac{N \pi V_c D_p^2 \rho_p}{9 W \mu}$$

Se define el *diámetro de corte* como el de una partícula para la que el rendimiento de retención es del 50%.

Se puede sustituir esta definición en la ecuación anterior para $\eta = 0,5$ y despejar el diámetro de corte:

$$D_{corte} = \left(\frac{9 \cdot W \cdot \mu}{2\pi \cdot N \cdot V_c \cdot \rho_{part}} \right)^{1/2}$$

Los rendimientos para otros diámetros de partículas se calculan usando una ecuación que ajusta bien los datos experimentales:

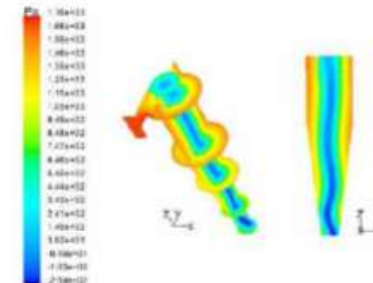
$$\eta = \frac{(D_p / D_{corte})^2}{1 + (D_p / D_{corte})^2}$$

La pérdida de carga de un ciclón se ajusta a una ecuación de la forma:

$$\Delta P = K \left(\frac{\rho_{gas} V_c^2}{2} \right) \quad \begin{array}{l} K = n^{\circ} \text{ cargas de velocidad} \\ () = \text{carga de velocidad} \end{array}$$

La mayor parte de los separadores de ciclón tienen un valor de K aproximado a 8.

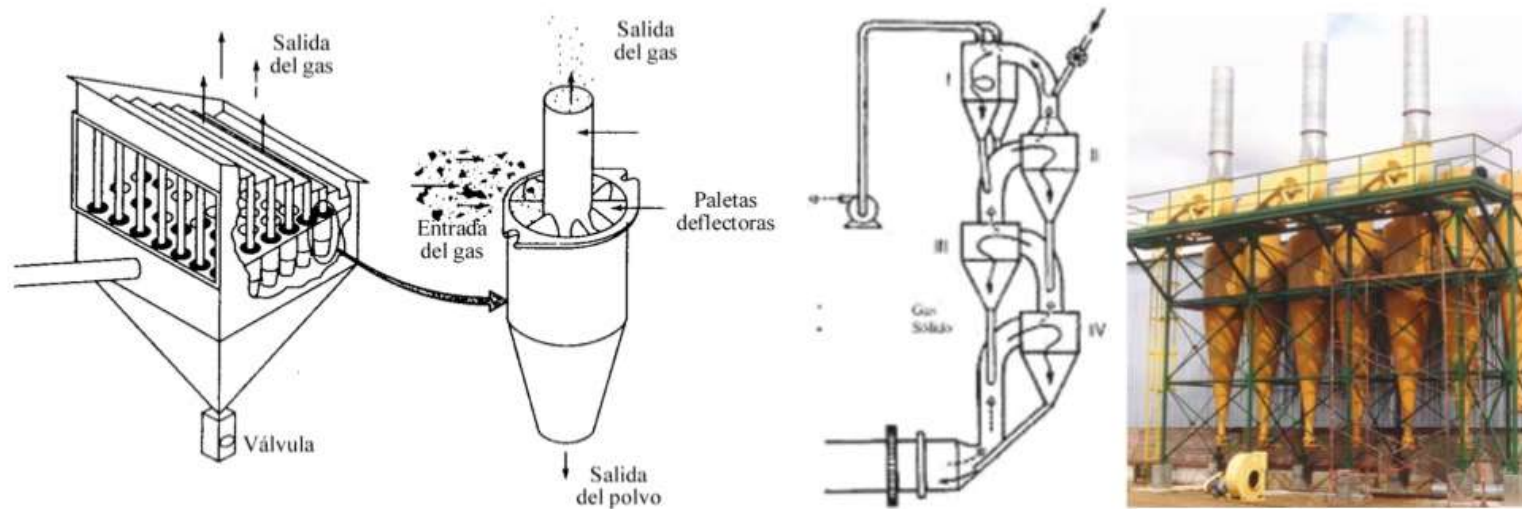
La pérdida de carga puede alcanzar los 200 mm c.a.



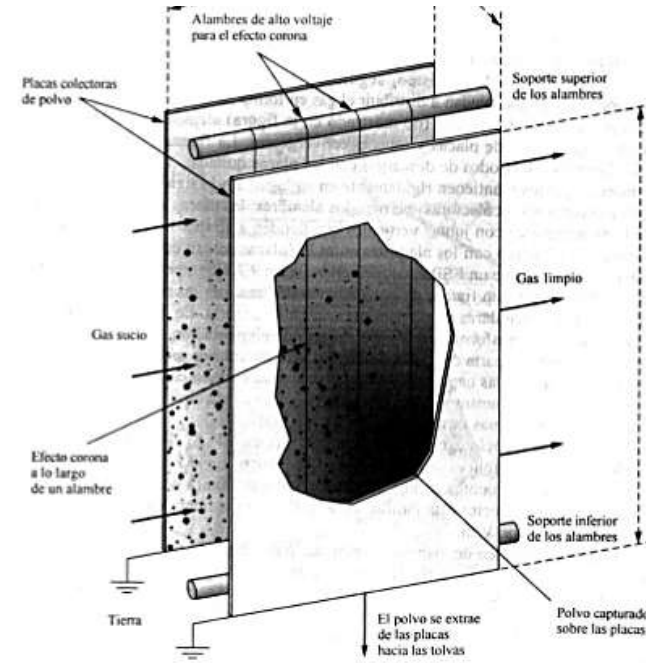
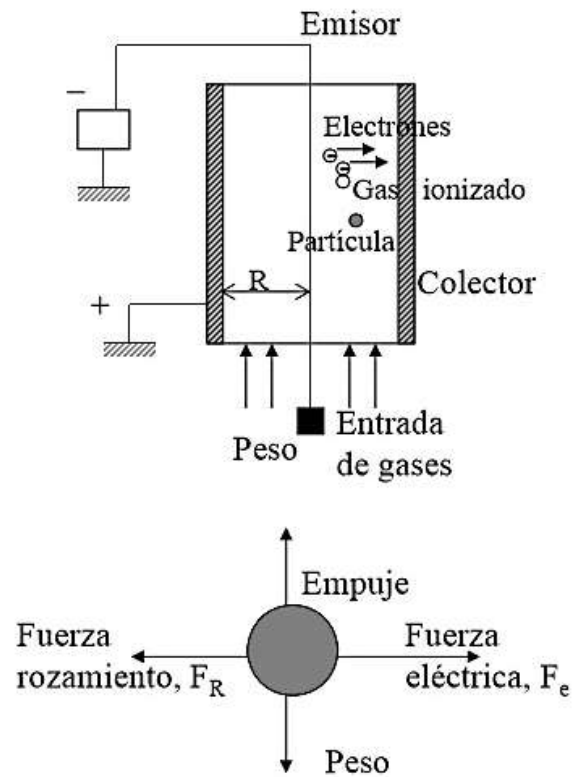
Aplicaciones

- Recogida cemento en el precalentamiento
- En la mayoría de las industrias pequeñas, debido a su bajo coste y buen rendimiento

Ventajas	Inconvenientes
• Economía y versatilidad • Ausencia de elementos móviles	• Limitación en la separación de partículas pequeñas



Electrofiltros



Su eficacia de captura de partículas sigue la Ec. de Deutsch-Anderson

$$\eta = 1 - e^{-\frac{wA}{Q}}$$

w : velocidad de migración

Q : Caudal

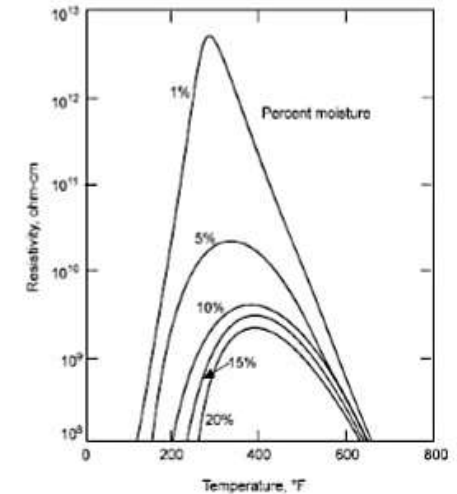
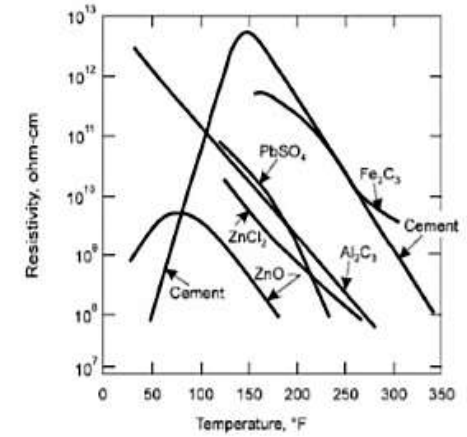
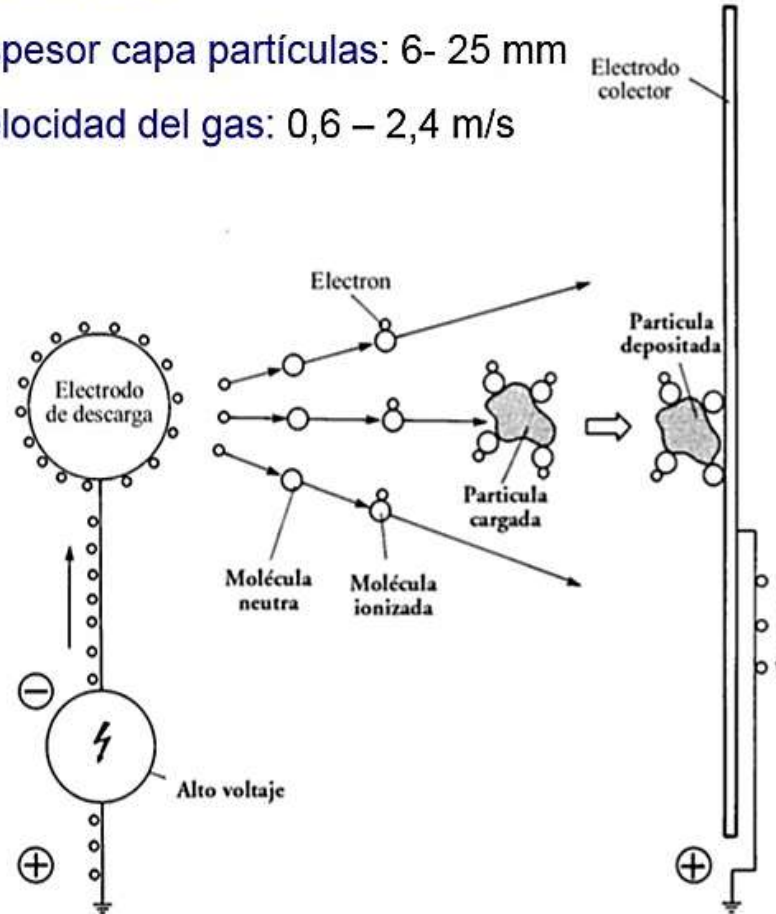
A : Superficie colectoras

Diferencia de potencial = 30 a 70 kV

Resistividad = 10^7 a 10^{10} $\Omega \cdot \text{cm}$

Espesor capa partículas: 6- 25 mm

Velocidad del gas: 0,6 – 2,4 m/s



Influencia de la T y la H en la
resistividad

Aplicaciones

Eliminación de partículas sólidas

Centrales térmicas

Incineradores de residuos

Plantas de fabricación de vidrio

Plantas de fabricación de cemento

Plantas de fabricación de pasta y papel

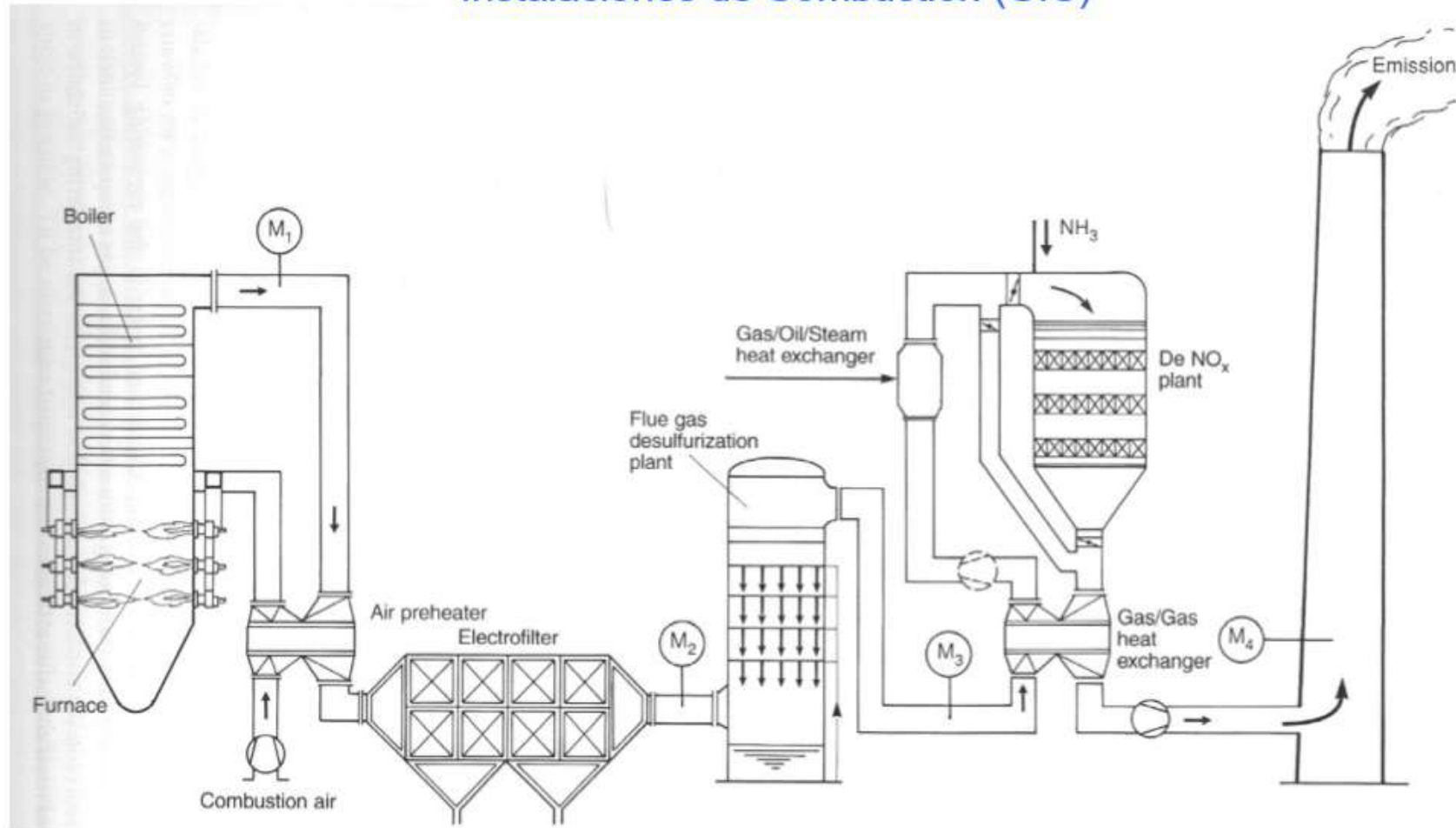
Eliminación de partículas líquidas

Ahumado de alimentos

Instalaciones de pintura

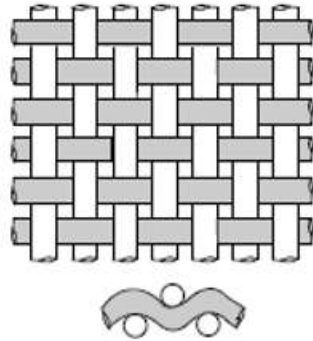
Ventajas	Inconvenientes
• Alto rendimiento • Moderado consumo de energía • Costes de mantenimiento bajos • Pueden trabajar con gases húmedos y a alta temperatura	• Resistividad de las partículas • Requerimientos de espacio

Ejemplo de instalación de precipitadores electrostáticos en las Grandes Instalaciones de Combustión (GIC)



Separadores de capa porosa

El gas con el sólido pasa por una bolsa (manga), las partículas se retienen y se forma una torta que hace también de filtro.



$$\Delta p_t = \Delta p_f + \Delta p_c$$

$$\Delta p_t = k_1 v_f + k_2 c_i v_f^2 t$$

Δp_f = pressure drop across the clean fabric, in. H₂O (cm H₂O)

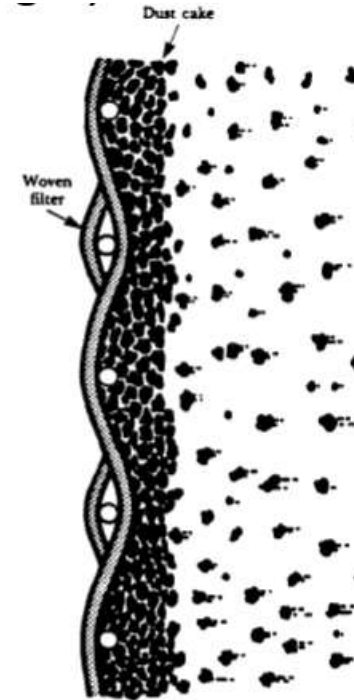
k_1 = fabric resistance, in. H₂O/(ft/min) [cm H₂O/(cm/sec)]

v_f = filtration velocity, ft/min (cm/sec)

$$v_f = \frac{Q}{A_c}$$

Q = volumetric air flow rate, ft³/min (cm³/sec)

A_c = area of cloth filter, ft² (cm²)



Δp_c = pressure drop across the cake, in. H₂O (cm H₂O)

k_2 = resistance of the cake, in. H₂O/(lb/ft²-ft/min)
[cm H₂O/(g/cm²-cm/sec)]

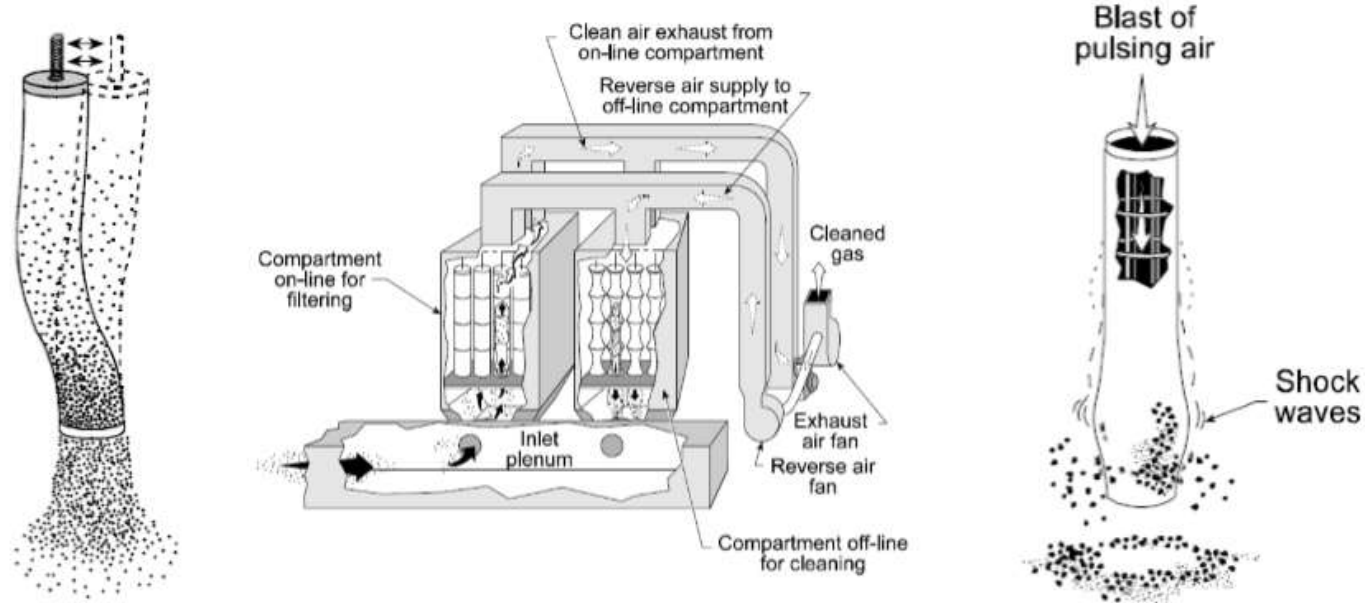
c_i = dust concentration loading, lb/ft³ (g/cm³)

v_f = filtration velocity, ft/min (cm/sec)

t = filtration time, min (sec)

La diferencia entre filtros se debe a la **limpieza de las mangas**

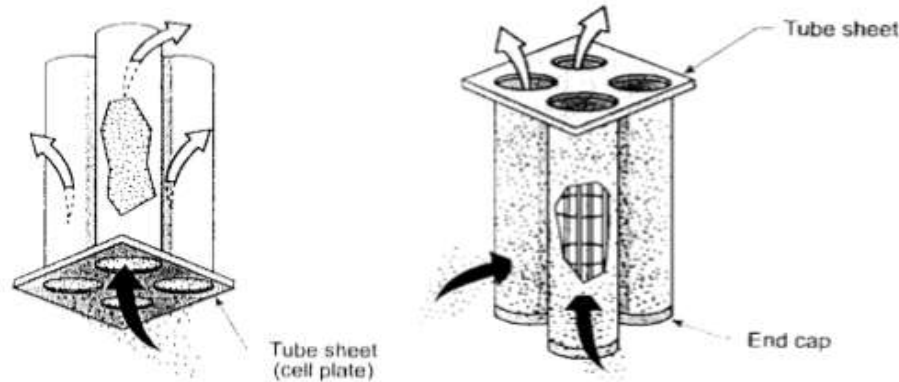
- Por limpieza mecánica (*shaker baghouse*)
- Por flujo o chorro de aire inverso (*reverse air*)
- Por pulsos de aire comprimido (*pulse jet*)



Cleaning mechanisms	Air-to-cloth ratio		Filtration velocity	
	(cm ³ /sec)/cm ²	(ft ³ /min)/ft ²	cm/sec	ft/min
Shaking	1 to 3:1	2 to 6:1	1 to 3:1	2 to 6:1
Reverse-air	0.5 to 2:1	1 to 4:1	0.5 to 2:1	1 to 4:1
Pulse-jet	1 to 7.5:1	2 to 15:1	1 to 7.5:1	2 to 15:1

Valores típicos de velocidad de filtración (= A/C ratio) en función del mecanismo de limpieza

- El flujo normal de operación puede ser del exterior al interior (a) o del interior al exterior (b) y el aire se puede mover por impulsión o por aspiración



Aplicaciones

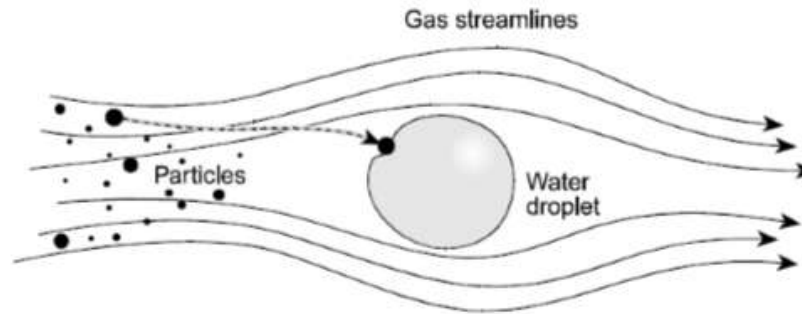
- Filtros de papel (filtros de alta eficacia) en salas estériles de hospitales, instalaciones farmacéuticas y montajes electrónicos de alta precisión
- Incineradores de residuos e instalaciones industriales

Ventajas	Inconvenientes
• Elevados rendimientos • Eliminación de microorganismos	• Cambio periódico de los tejidos • Limitaciones asociadas al tejido empleado • Elevadas pérdidas de carga → consumo de energía

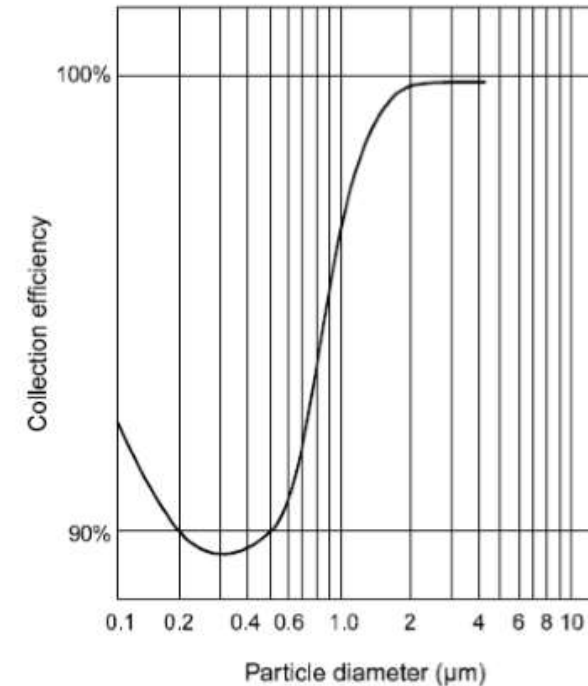
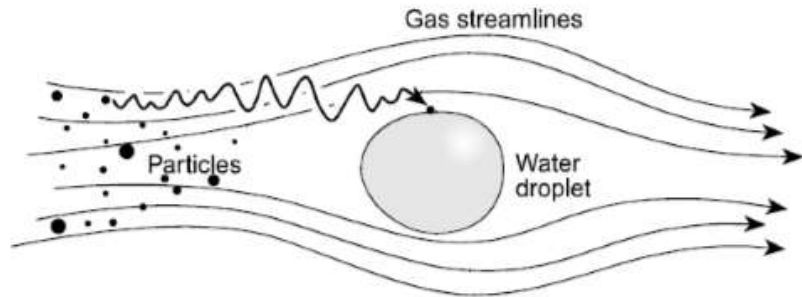
Lavadores o scrubbers

- Separación del sólido del gas mediante el empleo de un líquido (agua). La captura de partículas por parte del líquido se basa en varios mecanismos:
- Intercepción directa o impacto. Las partículas con inercia suficiente abandonan las líneas de corriente y chocan con las gotas o bien la partícula tiende a seguir la línea de corriente, pero choca tangencialmente con la gota y queda retenida
- Difusión. El movimiento browniano de las partículas más pequeñas puede llevarlas a impactar con las gotas
- Atracción electrostática. Las gotas y las partículas adquieren cargas de signo contrario y se atraen
- Condensación. El gas al enfriarse rápidamente puede condensar sobre las partículas (núcleos de condensación)
- Fuerza centrífuga. La curvatura de las torres de lavado fuerza al gas a describir trayectorias espirales que las partículas más gruesas no pueden seguir
- Gravedad. Las partículas más gruesas decantan

- Impacto e intercepción directa: mecanismo predominante para la captura de partículas con $\varnothing > 1\mu\text{m}$



- Difusión: mecanismo predominante para la captura de partículas con $\varnothing < 0,1\mu\text{m}$



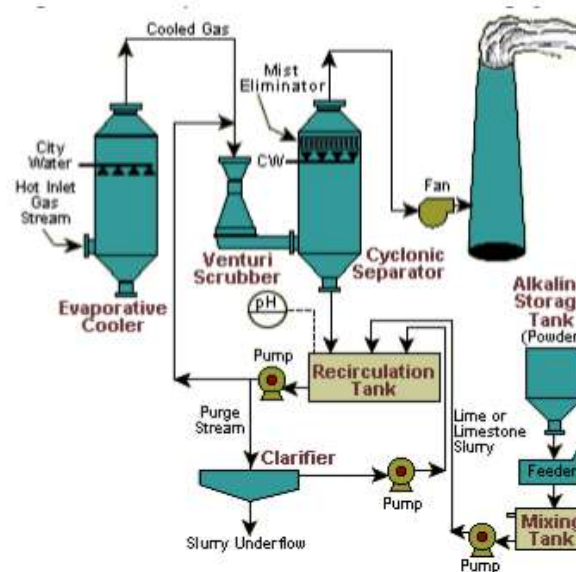
Curva teórica de rendimiento de un lavador húmedo en la retención de partículas según su diámetro. Fuente: USEPA, 1998

Aplicaciones

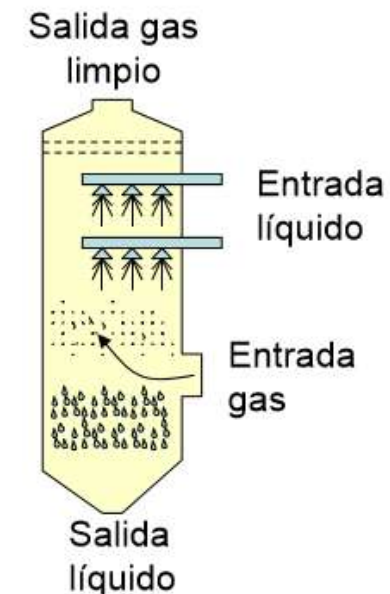
- Depuración de partículas y óxidos de azufre
- Depuración de partículas y neutralización de gases ácidos

Tipos

Spray
Torre de relleno
Venturi
Bandejas



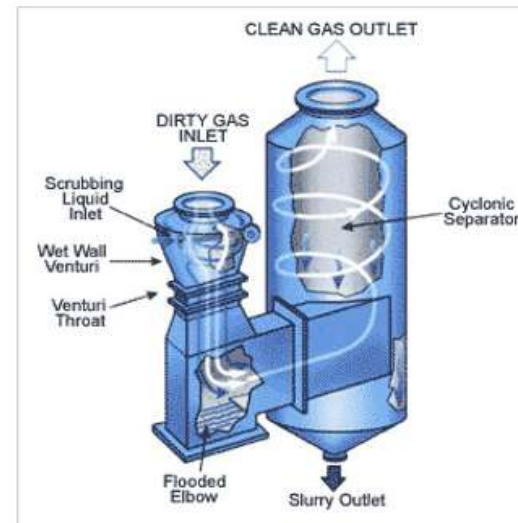
Ejemplo de un sistema de lavado húmedo para
eliminación de partículas y SO_2



Ventajas	Inconvenientes
• Fáciles de instalar y mantener • Necesidades energéticas bajas. Pérdidas de carga en torres de 15-25 mm c.a y en Venturis de 50 a 100 mm c.a.	• Caudales importantes de líquido (3 a 14 l/m³ de gas) • Bajo rendimiento eliminando partículas < 5µm • Generan efluentes líquidos → depuración



Torre de relleno



Torre de spray con Venturi

Technology	Removal efficiency %				Other performance parameters		Remarks
	<1 μm	2 μm	5 μm	>10 μm	Parameter	Value	
Electrostatic precipitator (ESP)	>96.5	>98.3	>99.95	>99.95	Operating temperature	80 – 220 °C (cold ESP) 300 – 450 °C (hot ESP)	- the ESP has a very high efficiency, even for smaller particles - can handle very large gas volumes with low pressure drops - low operating costs, except at very high removal rates - can operate at any positive pressure condition - the ESP is not very flexible, once installed, to change operating conditions - it might not work on particulates with very high electrical resistivity.
					Energy consumption as % of electric capacity	0.1 – 1.8 %	
					Pressure drop	1.5 – 3 (10 ² Pa)	
					Residue	Fly ash	
					Off-gas flowrate	>200000 m ³ /h	
					Applicability	Solid and liquid fuels	
					Market share	90 %	
Fabric filter	>99.6	>99.6	>99.9	>99.95	Operating temperature	150 °C (polyester) 260 °C (fibreglass)	- market share of 10 % is mainly based on application at CFB combustion and SDA - filtration velocities generally lie in the range 0.01 to 0.04 m/s according to the application, the filter type and the cloth - typical values used in power plant baghouses are 0.45 – 0.6 m/min for reverse-air, 0.75 – 0.9 m/min for shaker, and 0.9 – 1.2 m/min for pulse-jet applications - bag life decreases as coal sulphur content increases and as the filtering velocity increases - individual bags fail at an average annual rate of about 1 % of installed bags - the pressure drop increases as the particle size decreases for a given flue-gas throughput.
					Energy consumption as % of electric capacity	0.2 – 3 %	
					Pressure drop	5 – 20 (10 ² Pa)	
					Residue	Fly ash	
					Off-gas flowrate	<1100000 m ³ /h	
					Applicability	Solid and liquid fuels	
					Market share	10 %	
Cyclone	85 – 90 %. The smallest diameter of the dust trapped is 5 to 10 μm						limited performance, can therefore only be used with other techniques for dust control
Wet scrubber (high energy venturi)	98.5	99.5	99.9	>99.9	Operating temperature		- as a secondary effect, wet scrubbers contribute to the removal and absorption of gaseous heavy metals - waste water is produced, which needs treatment and further discharge
					Energy consumption as % of electric capacity	up to 3 % (5 – 15 (kWh/1000 m ³))	
					Liquid to gas ratio	0.8 – 2.0 l/m ³	
					Pressure drop	30 – 200 (10 ² Pa)	
					Residue	Fly ash sludge/slurry	

Los humanos requieren alimento, bebida y aire para su vida normal.
En una semana se ingiere aproximadamente 9 libras de sólidos y 35 libras de agua, en ese mismo período inhalará casi **300 libras de aire**.

Cuánto tiempo podrá vivir ese hombre promedio **sin comer**?

Cinco semanas.....

Cuánto tiempo **sin beber agua**?

Cinco días.....

Cuánto tiempo sin aire?

Cinco minutos....

Y cuál es la clase de aire que está disponible para respirar?...



Cómo hacer frente al problema?



La política para el mejoramiento de la calidad del aire en Colombia destaca la necesidad de comprender el estado actual de la contaminación del aire en centros urbanos



PROYECCIONES PARA PROGRAMAS DE CONTROLES Y EMISIONES EN EL FUTURO

La Office of Policy, Planning, and Evaluation (OPPE), la oficina de política, planificación y Evaluación en EE.UU., ha proyectado los niveles de emisión para la MP10 y la MP2.5 basadas en la implementación de programas de control requeridos bajo Clean Air Act Amendments CAAA, (Enmiendas al Acta del Aire Limpio) de 1990. Se anticipa que los programas de control para la MP bajo el Título I de la CAAA ejercerán solamente un pequeño impacto sobre las emisiones en total, en el futuro—una reducción de alrededor del 3 por ciento para la MP10 y menos del 0.1 por ciento de la MP2.5 .

Debido a la falta de datos disponibles, las proyecciones de la OPPE no tomó en cuenta el impacto de las regulaciones para los contaminantes peligrosos del aire (CPA) bajo el Título III del CAAA.

Sin embargo, un número de los CPA del Título III son metales que son emitidos en forma de MP fina, tanto en bruto como en cantidades de elementos menores. Los estándares implementados para estos CPA particulados tendrán algunos impactos sobre las emisiones de MP10 y MP2.5

Se proyectan reducciones sustanciales en las emisiones de SO₂ como resultado de los programas de control implementados bajo el Título IV del CAAA. De manera adicional, las reducciones en las emisiones de NO_x son proyectadas como resultado de los programas de control implementados bajo el Título IV, y se proyectan reducciones tanto en los NO_x como en los COV como resultado de los programas de control del ozono bajo el Título I. Todos estos contaminantes son precursores de MP secundaria. Como resultado, se anticipa que la reducción de emisiones de estos contaminantes produzca u reducción en la formación de MP secundaria



Tabla 2-1. Resumen de las Tendencias en las Emisiones de MP-10 entre 1987 y 1996 (Referencia 2)

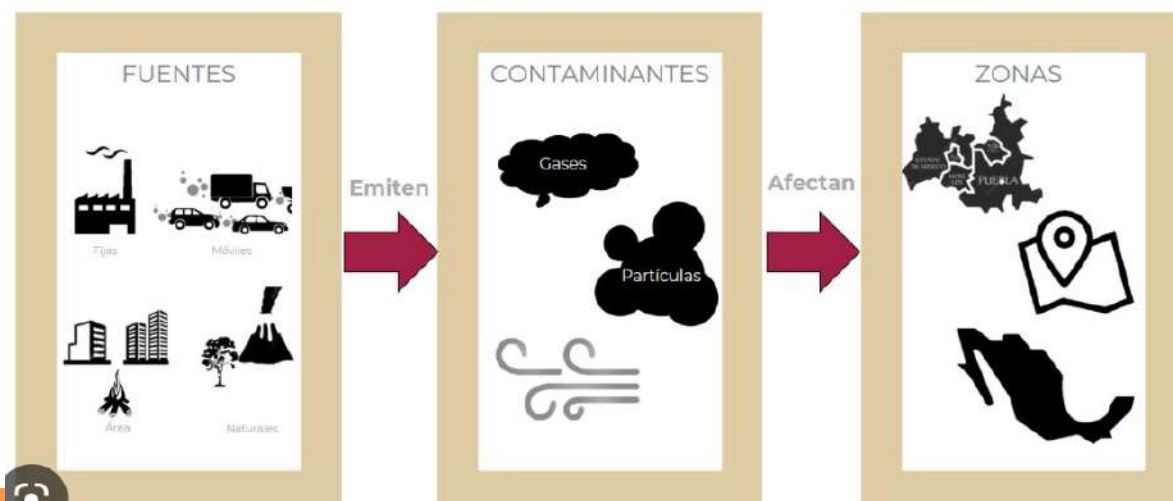
	Emisiones Estimadas (millones de toneladas)									
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Combustión de combustible - servicios públicos e industrial	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
Combustión de combustible - leña residencial y otros	0.8	0.9	0.9	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
Procesamiento de Metales	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
Otros industriales	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Combustión al abierto y otro desecho de residuos	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Vehículos motorizados y motores fuera de carretera	0.9	1	1	0.9	0.9	1	1	1	0.9	0.9
Incendios de campo y quema supervisada	1	1.7	0.9	1.2	0.9	0.8	0.8	1	0.8	0.8
*Agricultura	7.3	7.5	7.3	5.1	5.1	4.9	4.5	4.7	4.7	4.7
*Erosión natural por el viento	1.6	18.1	12.1	2.1	2.1	2.2	0.5	2.2	1.1	5.3
*Caminos pavimentados y de terracería	16.6	18.3	17.6	13.5	13.6	13.3	13.9	13.9	12.8	12.7
*Construcción, minería y extracción de minerales	12.5	12	11.7	4.6	4.4	4.8	5.1	5.8	4.2	4.5
Total	42.5	61.3	53.2	29.9	29.6	29.5	28	30.9	26.9	31.3

* Las emisiones provenientes de operaciones agrícolas, erosión del viento, caminos pavimentados y de terracería, y construcción son demasiado grandes al ser reconciliados con los niveles de los componentes minerales de la MP_{2.5} medida en el aire ambiental.

FUENTES DE EMISIONES DE MP₁₀ y MP_{2.5}

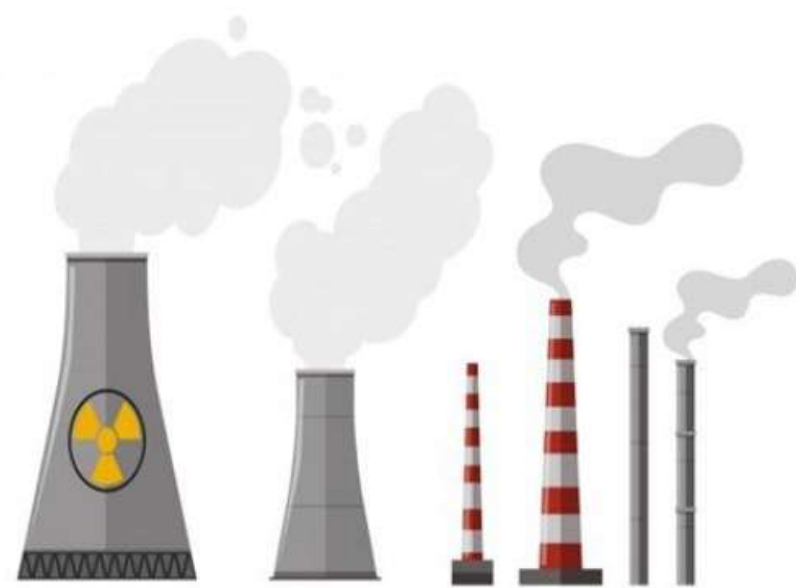
Las fuentes de emisiones pueden ser clasificadas de manera general como fuentes de punto y fuentes de zona. Las fuentes de punto son grandes fuentes de emisiones que son tratadas en base de punto a punto en los inventarios de emisiones. Estas son típicamente instalaciones industriales, servicios públicos o grandes fuentes de emisiones comerciales o institucionales. Las fuentes de zona se definen como fuentes de emisiones que son demasiado numerosas o dispersas para ser tratadas individualmente en un inventario de emisiones. Esta categoría también incluye vehículos de carretera, y motores y equipo que no son de camino.

INVENTARIO DE EMISIONES



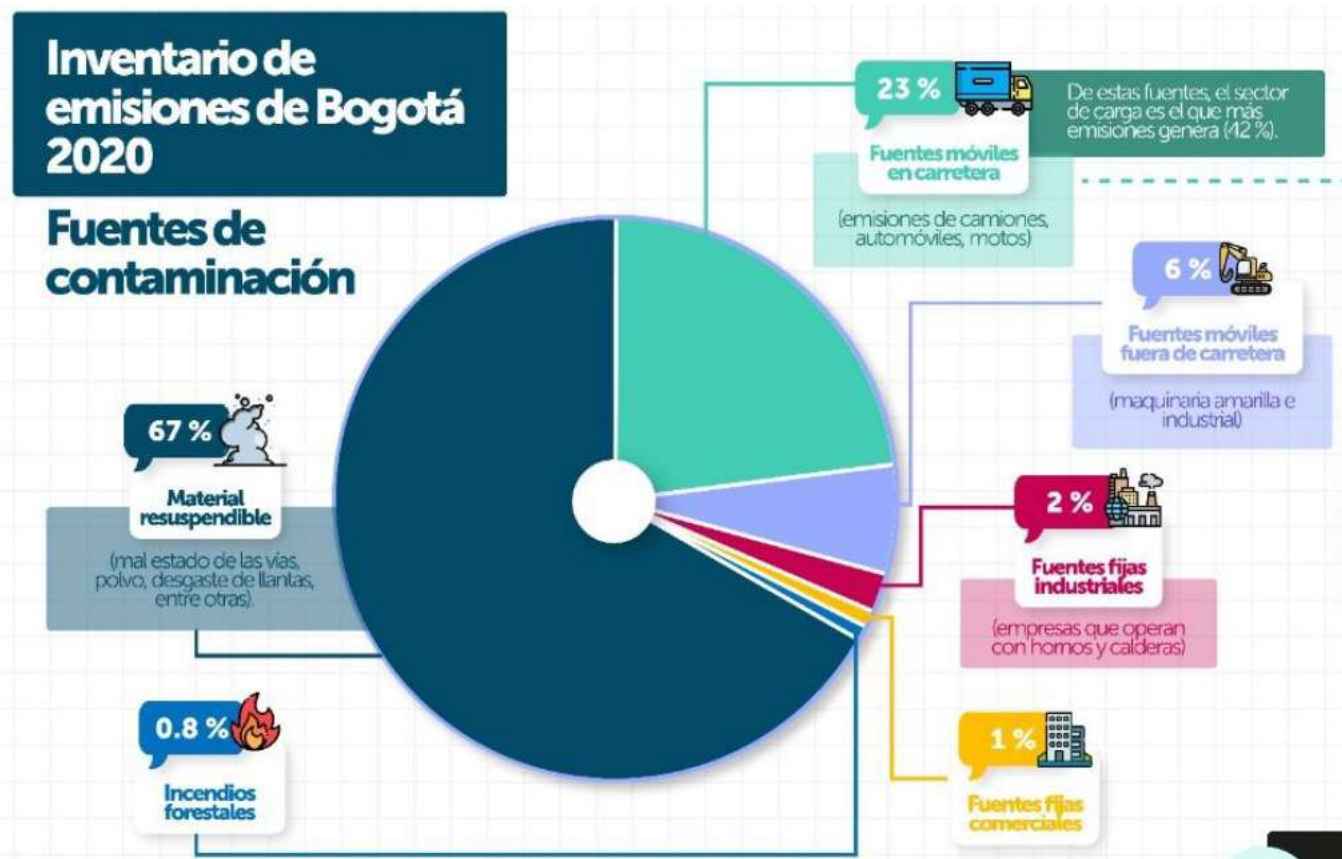
Fuentes de Punto

Las emisiones de materia particulada proveniente de la combinación fuentes de servicios públicos, industriales y comerciales/institucionales son pequeñas en comparación a las emisiones provenientes de las fuentes de combustión de zona. Esto es debido a tanto condiciones superiores de combustión, las cuales resultan en mayores eficiencias de combustión, como también de los controles de adición para MP para la combustión de carbón y algunas fuentes de combustión de aceite. Las combustiones de servicios públicos, industrial y comercial/institucional fueron las fuentes de punto más significantes de MP_{10} y $MP_{2.5}$ en 1990. Otras fuentes industriales significantes incluyeron el procesamiento de metales, de productos minerales y de productos de madera.



Fuentes de Zona

Las emisiones fugitivas provenientes de la agricultura, los caminos pavimentados, los caminos de terracería y las actividades de construcción representan una porción principal de las emisiones de MP₁₀ y MP_{2.5}. Sin embargo, tal como se indicó anteriormente, estas emisiones parecen estar sobreestimadas al reconciliarlas a las mediciones ambientales de los componentes de la MP_{2.5} relacionados son los minerales. Además de estas fuentes de emisiones fugitivas de polvo, las categorías de combustión de las fuentes de zona incluyendo la quema de madera, los incendios de malezas, y la quema prescrita de los residuos forestales fueron fuentes importantes. Los vehículos de carretera, los motores que no son de camino y la quema al abierto de basuras también aportaron contribuciones significantes.



MEDICIÓN

La determinación de la eficiencia de control de los dispositivos de control de MP requiere el uso de métodos para determinar las emisiones de los tubos de entrada y de salida del dispositivo de control. Esta sección discute los procedimientos tanto establecidos como innovadores que se han desarrollado para medir la masa y/o tamaño de la MP, especialmente para la MP₁₀ y la MP_{2.5}

El método más preciso para determinar la concentración de masa de la MP es recolectar el volumen entero del gas y la MP y determinar la concentración de la masa de esta muestra. Este procedimiento es, sin embargo, factible sólo con unas pocas fuentes donde existen razones de flujo muy bajas. Se han desarrollado procedimientos para muestras de pequeñas porciones de la corriente de gas para obtener una muestra representativa de manera que se puedan realizar estimaciones de las emisiones de MP.

LISTA DE MÉTODOS DE PRUEBA DE LA EPA PARA MEDICIÓN DE MASA DE PM

Tabla 3-1. Métodos de Prueba de la EPA para la MP

Método de la EPA	Referencia del Registro Federal		Descripción del Método
Método 5	36 FR 24877	23/12/71	MP proveniente de fuentes estacionarias
Método 5A	47 FR 34137	30109	PM proveniente del procesamiento de asfalto y techado de asfalto
Método 5B	51 FR 42839	26/11/86	MP no de ácido sulfúrico
Método 5C	tentativo		MP proveniente de conductos pequeños
Método 5D	49 FR 43847	31/10/84	MP proveniente de filtros de tela (de presión positiva)
Método 5E	50 FR 07701	25/02/85	MP proveniente de las plantas de lana de fibra de vidrio
Método 5F	51 FR 42839	26/11/86	MP no de sulfatos
Método 5G	53 FR 05860	26/02/88	MP proveniente de calentadores de MP - túnel de dilución
Método 5H	53 FR 05860	26/02/88	PM proveniente de calentadores de madera - en la chimenea
Método 201	55 FR 14246	17/04/90	MP/MP-10 -procedimiento de reciclaje del gas de escape (RGE)
Método 201A	55 FR 14246	17/04/90	MP/MP-10 -procedimiento de la razon constante de muestras (VCM)
Método 7	43 FR 07568	23/02/78	Método de filtración de MP en la chimenea
Método 202	56 FR 65433	17/12/91	Emisiones de particulados condensables de fuentes estacionarias
Método 9	39 FR 39872	27373	Determinación visual de opacidad en la chimenea; Lidar remoto
Especificación de Rendimiento 1	36 FR 24877	23/12/71	MEC para opacidad en fuentes estacionarias
Método 29	59 FR 48259	20/09/94	Emisiones de metales (y MP)

MÉTODOS DE PRUEBA DE EPA PARA MEDICIÓN DE MASA DE MP DE FUENTES ESTACIONARIAS (PUNTO)

El Método de Prueba 5 de la EPA, que mide la MP total proveniente de fuentes estacionarias, es el procedimiento de prueba predominante usado para medir las emisiones de masa de MP. El tren de muestreo y los procedimientos de descritos en el Método 5 también son la base para muchos otros métodos de prueba de la EPA.

Método de Prueba 5 de EPA para Masa Total de MP

Este método es aplicable para la determinación de las emisiones de masa de MP de fuentes estacionarias. La materia particulada (MP) es removida isocinéticamente de la fuente y recolectada sobre un filtro de fibra de vidrio, mantenido a una temperatura en el rango de $120 \pm 14^{\circ}\text{C}$ u otra temperatura tal como se especifique en la regulación o sea aprobada para propósitos especiales por la EPA para la aplicación específica. La masa de MP, que incluye cualquier material que se condense a, o por encima de, la temperatura de filtración es determinada gravimétricamente después de la eliminación del agua no combinada

Tabla 3-2. Métodos de Prueba 1 al 4 de la EPA: Procedimientos Generales para Muestreo en la Chimenea

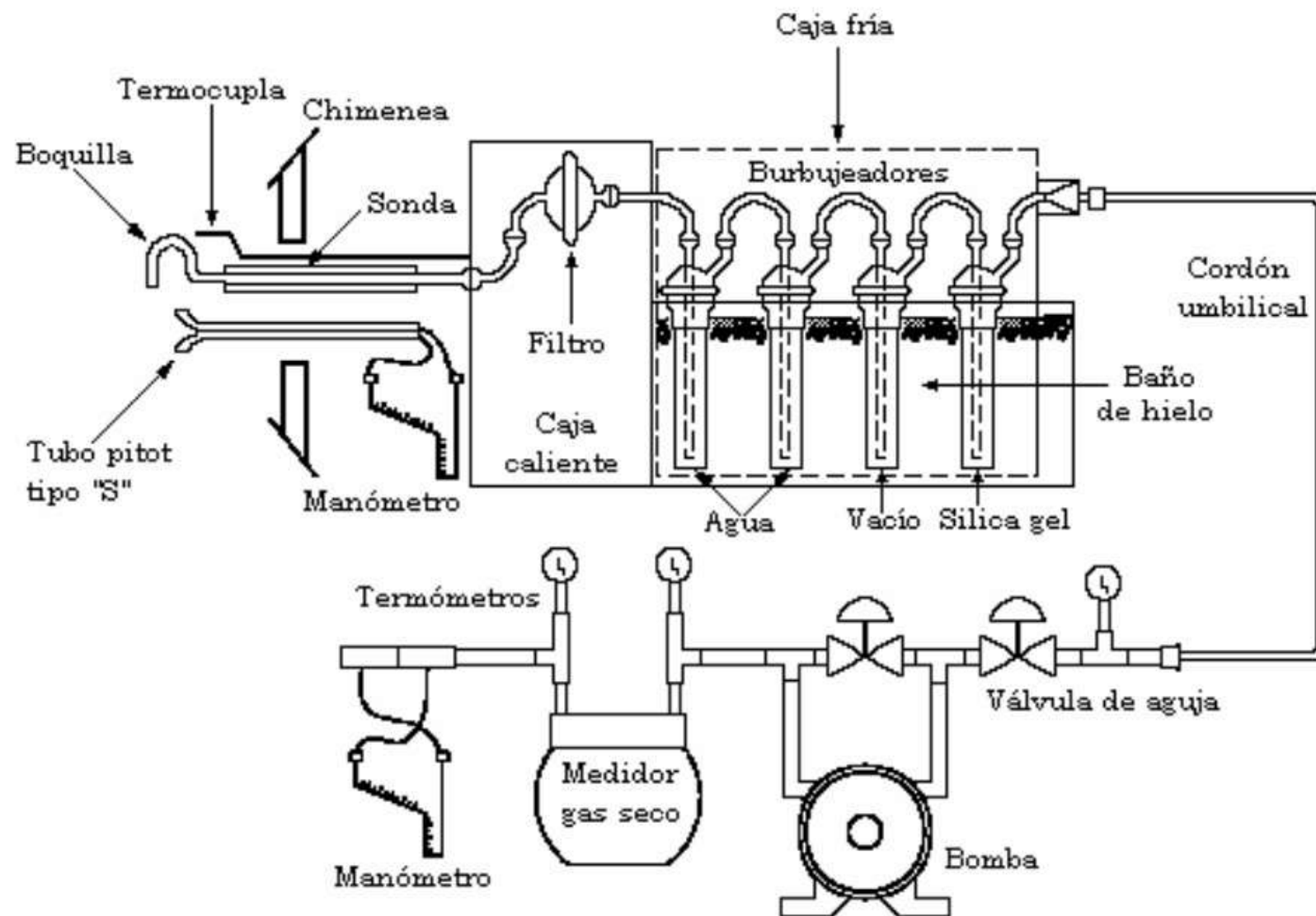
Método de Prueba de la EPA	Descripción del Método
Método 1	Transversales de muestra y velocidad para fuentes estacionarias
Método 1A	Transversales de muestra y velocidad para fuentes estacionarias en la chimenea o conductos pequeños
Método 2	Determinación de la velocidad del gas y la razón de flujo volumétrico en la chimenea (tubo de pitot tipo S)
Método 2A	Medición directa del volumen del gas a través de tubos y ductos pequeños
Método 2B	Determinación de la razón de flujo del gas de escape de incineradores de vapor de gasolina
Método 2C	Determinación de la velocidad de gas de la torre y la razón de flujo volumétrico en las chimeneas pequeñas y ductos (tubo pitot estándar)
Método 2D	Medición de la razón flujo del gas en tubos y ductos pequeños
Método 2E	Determinación del gas de un relleno sanitario; razón de flujo de la producción de gas
Método 3	Análisis de gas para bióxido de carbono, oxígeno, aire en exceso y peso molecular en seco
Método 3A	Determinación de las concentraciones de oxígeno y bióxido de carbono en emisiones de fuentes estacionarias (procedimiento por analizador instrumental)
Método 3B	Análisis de gases para la determinación del factor de corrección para la razón de emisión o gas en exceso
Método 3C	Determinación del bióxido d carbono, metano, nitrógeno y oxígeno de fuentes estacionarias
Método 4	Determinación del contenido de humedad en gases en la chimenea

$$\% \text{Isocinetismo} = 100 \frac{V_n}{V_s}$$

En la cual:

V_n = Velocidad de toma de muestra.

V_s = Velocidad de gases en chimenea.



MÉTODOS DE MEDICIÓN DE MP FUGITIVA

Para medir la MP₁₀ proveniente de fuentes de polvo fugitivo. Estos métodos se describen en detalle en el documento de la EPA: A Review of Methods for Measuring Fugitive PM-10 Emission Rates

Método Cuasi chimenea

Este método consiste en encerrar o cubrir bajo una campana extractora a la fuente de polvo fugitivo, en una base ya sea permanente o temporal, con el uso de un ventilador y después tomar muestras del gas de escape de manera isocinética usando los Métodos de Prueba 201 o 201A de la EPA. Se considera que este método sea potencialmente el más exacto porque la pluma es capturada y medida cerca a la fuente.

Método con Monitor de Techo

Este método resulta el mejor para medir la MP fugitiva cuando se localiza un número de procesos dentro de un edificio. La MP se mide desde todas las aperturas en el edificio y la velocidad de las emisiones fugitivas totales es la suma de las razones de emisión de todas las aperturas. Este método implica la medición de la concentración de MP₁₀ (con el Método de Prueba 201 o 201A de la EPA) en el gas de escape del ducto, la cual a su vez es multiplicada por la velocidad de salida del aire y la superficie de la sección transversal para Obtener la velocidad de emisión.

Método Viento Abajo / Viento Arriba

En este método, las concentraciones ambientales de MP_{10} son medidas viento arriba / viento abajo de una fuente de polvo. La diferencia entre las dos concentraciones es considerada como la concentración de MP_{10} debida a la fuente de emisiones fugitivas. Usando la velocidad del viento, la dirección y otros datos meteorológicos obtenidos durante el período de muestreo, la razón de emisión se determina usando modelos de dispersión.

Método por Perfil de Exposición

Este método consiste en usar un número de muestre adores del ambiente (típicamente 4 ó 5) a varias alturas a lo largo de una torre vertical (de 4 a 10 metros de altura) equipada con boquillas y ajustes a la velocidad de flujo para hacer un muestreo la pluma de emisiones fugitivas de manera isocinética. La chimenea también está equipada, para medir la velocidad y la dirección del aire. Las torres están colocadas viento abajo de la fuente, con muestre adores del ambiente (1 a 4) colocados también viento arriba de la fuente para determinar la concentración de fondo de la MP.

Método con Túnel de Viento Portátil

Este método se aplica solamente a las emisiones fugitivas generadas por el viento. Fue desarrollado en los años setenta para estudiar los efectos de la arena soplada por el viento sobre la vegetación y para cuantificar las fuentes de erosión por el viento. Desde entonces ha sido usado para cuantificar las emisiones generadas por el viento provenientes de suelos expuestos y pilas de almacenamiento de carbón. El túnel portátil de viento consiste en un dispositivo con forma de aspiradora, cuya boca se coloca directamente sobre la superficie a ser hecha un muestreo usando un sello a prueba de aire. Un ventilador aspira aire a través de la boca del túnel, a través de un tubo largo hacia una sección elevada de ducto en donde puede realizarse el de la MP.

Método por Túnel de Viento de Modelo a Escala

Este método implica la creación de un túnel de viento que se parece a la fuente o el terreno a muestrear con el uso de, en varios casos, una recreación a escala de la fuente dentro del túnel de viento. Los parámetros tales como la turbulencia, el perfil de velocidad, el corte del viento y otras cantidades físicas tales como la humedad del aire y la aspereza del terreno se duplican generalmente dentro del túnel de viento. La ventaja de usar un túnel de viento de modelo a escala es que los parámetros individuales que afectan a las emisiones de polvo pueden ser controladas a continuación. La desventaja es que la relación entre las pruebas y las medidas de campo reales es “incierta”.

Método por Rastreo

Este método usa ya sea un gas o partículas como un rastreador para el polvo proveniente de la fuente a ser medida. Los rastreadores comunes son el hexa fluoruro de azufre (SF_6)²⁸ y los materiales o recubrimientos fluorescentes o fosforescentes. La suposición es que la pluma del rastreador se asemejará fuertemente a la pluma de polvo si el rastreador es liberado en el mismo lugar y al mismo tiempo que el polvo. Las mediciones viento abajo de las concentraciones del rastreador y del polvo se usan para cuantificar la velocidad de

Método por Globo

Este método es una variación del método por perfil de emisión del polvo (viento arriba) mediante una razón directa usando la velocidad de liberación del rastreador (viento arriba) (o sea, la velocidad de emisión). Se realizó un estudio para determinar que el uso de un factor de corrección de 1.03 para calcular la velocidad e la emisión de la fuente aumenta la exactitud del método.

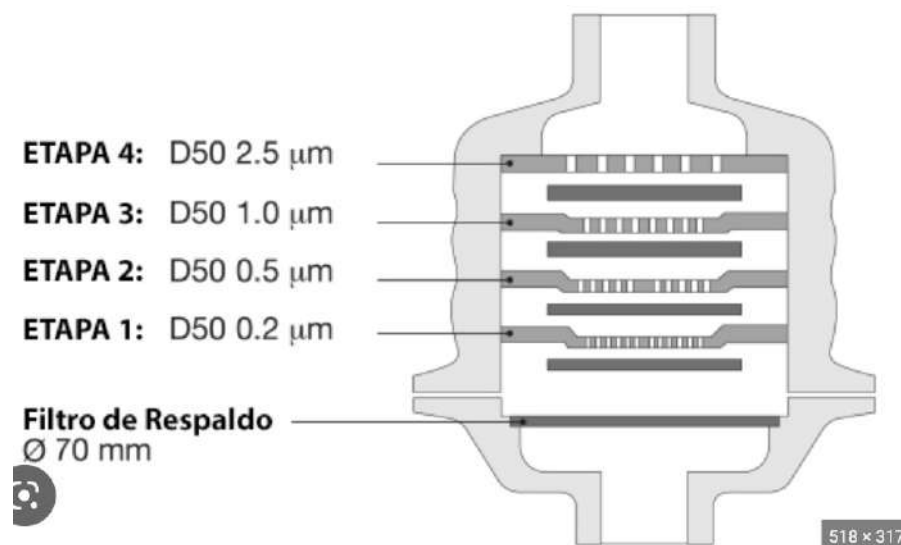
exposición, discutido anteriormente. En el Método por Globo, se usa un globo para suspender muestre adores del ambiente, a diversas alturas en vez de la chimenea usado en el método por perfil de exposición. Este método es especialmente adecuado para el de fuentes de superficies grandes y/o fuentes a las que no se pudiera ser avecinar de cerca. El problema con el Método por Globo es que con frecuencia no se realiza isocinéticamente, ya que una vez que el globo se eleva, las boquillas no pueden ser cambiadas.

ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Instrumento Colector (de partículas suspendidas) en Cascada

Colectores de muestras en cascada es un método usado ampliamente para determinar el tamaño de las partículas que ha estado a disposición para las pruebas de las fuentes desde el inicio de los años setenta y posee una base teórica relativamente bien desarrollada.

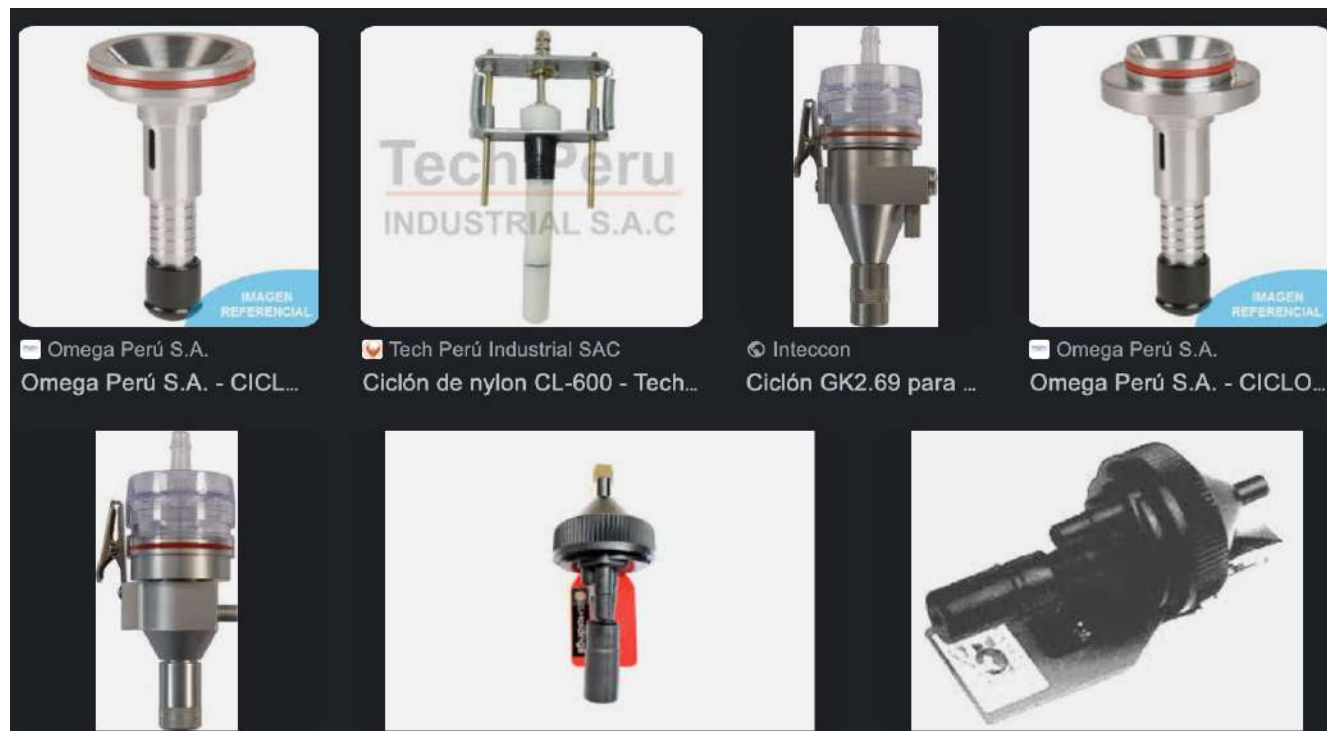
Los colectores de muestras recolectan partículas por repercusión inercial y utilizan una serie de placas (discos) o plataformas con perforaciones de diversos tamaños (chorros) que alteran la velocidad del gas que pasa hacia la siguiente plataforma. Las partículas de un tamaño específico o mayores impactarán cada placa, mientras que las partículas más pequeñas pasarán a través de la siguiente placa. Las placas están recubiertas de un material pegajoso (sustrato) que causa que la MP que impacta las placas sea recolectada irreversiblemente.



ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Ciclones de Muestreo

Los ciclones de muestreo operan de la misma manera que los ciclones usados para la recolección de MP, en que el gas con MP es forzado a girar de manera que una parte de la MP choca contra las paredes del ciclón y es recolectada. La MP por encima de un tamaño específico al ciclón será recolectada en su mayoría y las partículas por debajo de un cierto tamaño pasarán en su mayoría a través del ciclón sin ser recolectadas. Los ciclones de muestra individual sólo son capaces de determinar la masa de las partículas ya sea por encima o por debajo de un tamaño específico. Sin embargo, si se utilizan ciclones de diversos tamaños en serie, los tamaños de la MP por encima de un (relativamente amplio) rango pueden ser determinadas.



ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Medición de Distribución Tamaño en Tiempo Real

Un Determinador Aerodinámico de Tamaños de Partículas (ATP) ha sido desarrollado que puede determinar el “tiempo real” de las partículas midiendo su velocidad a medida que las partículas se aceleran a través de un orificio de una placa. Las mediciones de la velocidad de las partículas son realizadas con un velocímetro Doppler de láser.

Se ha reportado que la medición in situ de la MP usando rayos láser ha tenido éxito con las partículas más pequeñas, menores de $1\text{ }\mu\text{m}$. El laser es usado para calentar la MP, y basandose en las razones de enfriamiento de la MP, es posible la diferenciación de tamaños. Este método tiene la ventaja de poseer un período muy corto de tiempo de medición (microsegundos), de manera que el efecto de los procesos que cambian rápidamente sobre la distribución de las partículas puede ser determinado.



ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Distribución de Tamaños de Muestras a Granel

La materia particulada puede ser recolectada de la fuente y ser analizada después para la distribución de tamaños de las partículas en el laboratorio usando varias técnicas disponibles. Estas técnicas deben ser usadas con cautela, sin embargo, porque la distribución original de las partículas de gas puede ser alterada por aglomeración, separación de las partículas, reacciones químicas o pérdida de sustancias volátiles que ocurre durante la recolección y almacenamiento de las muestras. Además se puede formar masa de artificio a partir de los materiales del filtro, tales como la fibra de vidrio, que se oxidan en contacto con los gases ácidos en la muestra de aire.

