

CONTROL DE PARTICULAS

Separación por gravedad: Utiliza el principio de la sedimentación de las partículas que transporta una corriente de gas, por acción de la gravedad. La eficiencia de estos equipos depende de la velocidad (baja o alta) de la corriente gaseosa, que permita la sedimentación; o de la aplicación de una fuerza centrífuga que incremente la masa de las partículas. La eficiencia de colección varía, también, con el tamaño de las partículas y el tipo de colector.

Entre los equipos colectores que aprovechan este principio se cuentan las cámaras de sedimentación, los ciclones y los multiciclones.

Cámara de sedimentación. Emplea la fuerza de la gravedad para separar el polvo de la corriente gaseosa, reduciendo su velocidad.

Utilización, ventajas y desventajas

Las cámaras de sedimentación se usan como elementos previos de limpieza en equipos de control de partículas más eficientes, especialmente en refinación de metales, industrias alimenticias y calderas alimentadas con carbón. Dentro de sus ventajas se encuentran: simplicidad de diseño, construcción e instalación; desgaste reducido, y bajo costo de operación. Entre sus desventajas se incluyen: baja eficiencia si se trata de partículas pequeñas; y necesidad de grandes espacios.

Por razones de orden práctico, las cámaras de sedimentación no son empleadas para la remoción de partículas inferiores a $50 \times 10^{-6} \text{m}$ de diámetro. Para prevenir el arrastre de partículas separadas, la velocidad de la corriente gaseosa que entra en la cámara de sedimentación no debe exceder de 3 m/s. Su eficiencia se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{100 \times U_t \times WL}{Q}$$

donde:

E = eficiencia, porcentaje en peso de las partículas con velocidad de sedimentación U_t (sin dimensión)

U_t = velocidad de sedimentación en polvo m/s.

L = longitud de la cámara, m.

W = ancho de la cámara, m.

Q = caudal de la corriente gaseosa, m^3/s .

El tamaño mínimo de una partícula que puede separarse de la corriente gaseosa se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$dp = \left(\frac{18 \mu HV}{g L (\rho_p - \rho_g)} \right)^{1/2}$$

donde:

dp = tamaño mínimo de la partícula recolectada, m.

μ = viscosidad del gas, g/ms

H = altura de la cámara, m.

V = velocidad del gas, m/s.

L = longitud de la cámara, m.

g = constante gravitacional, m/s^2 .

ρ_p = densidad de la partícula, g/m^3 .

ρ_g = densidad del gas, g/m^3

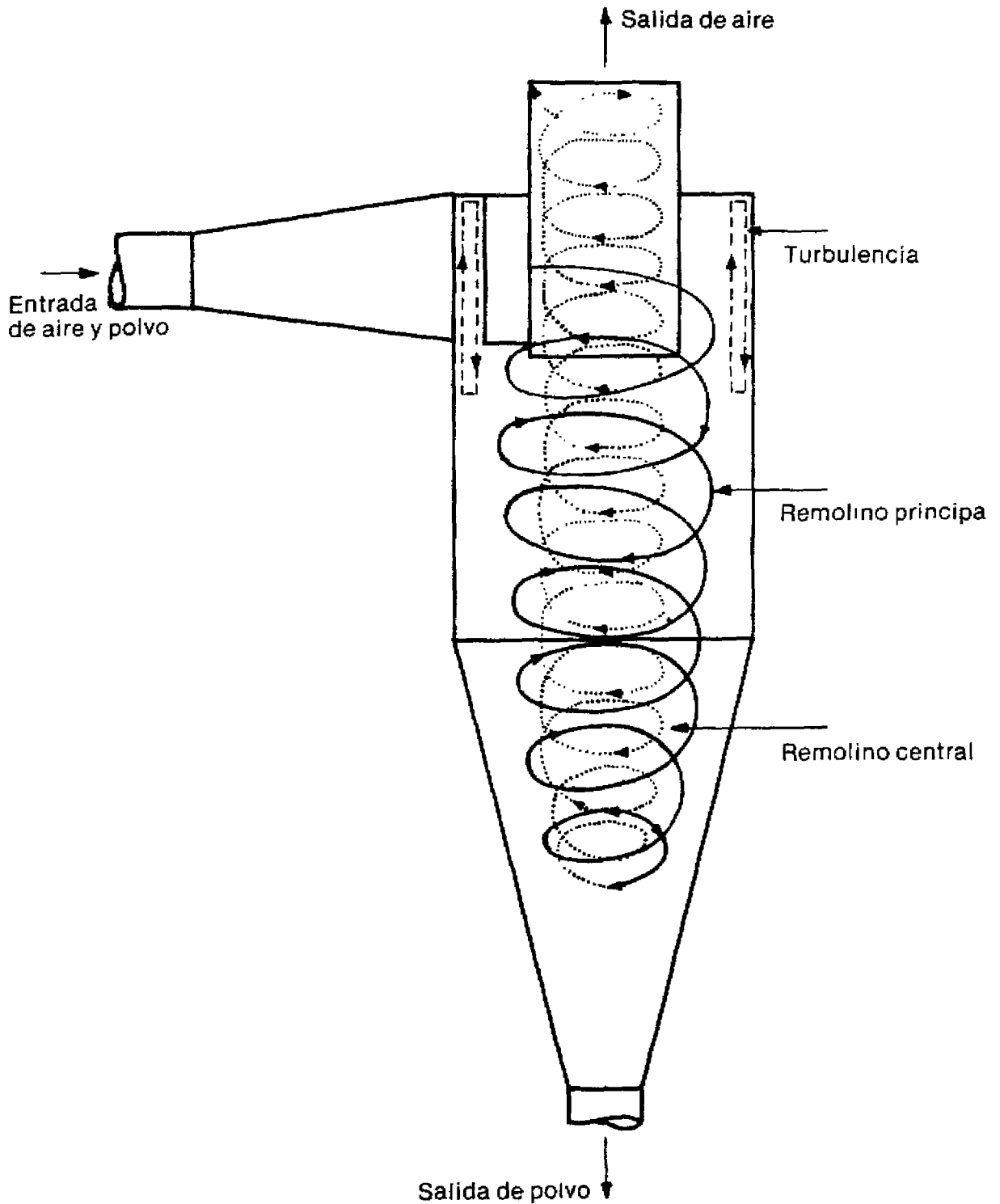
Ciclones colectores centrifugos. En estos equipos se emplea la fuerza centrífuga para separar el polvo de la corriente gaseosa. Puede utilizarse por limpieza previa o como colectores finales. En condiciones comunes de operación de ciclones de baja resistencia y diámetro muy grande la fuerza centrífuga de separación o aceleración puede aumentar hasta cinco veces la gravedad; y hasta 2 500 veces en unidades de alta resistencia y de diámetro muy pequeño (figura 9.7).

Los elementos básicos del ciclón son: una entrada de aire que produce el torbellino (generalmente rectangular); una salida axial para el aire limpio; y una abertura para la descarga del polvo. Entre los varios tipos de ciclones, están los de:

- entrada tangencial y descarga de polvo axial (el más común)
- entrada tangencial con descarga periférica de polvo.
- entrada axial a través de paletas, torbellino y descarga.
- polvo axial.

Figura 9.7

Ciclón. Mecanismo de operación



— entrada axial a través de paletas-torbellino, con descarga periférica de polvo.

El factor primario que debe tomarse en cuenta para controlar la eficiencia de colección en el diseño de un ciclón, es su diámetro; una unidad de diámetro pequeño, que opera con una caída de presión fija, tendrá la mayor eficiencia. No obstante, los ciclones de diámetro pequeño requieren de una serie de unidades en paralelo para una capacidad determinada. Las relaciones a considerar en el diseño de un ciclón, son:

Longitud del cuerpo y del diámetro: incrementando la longitud del cuerpo del ciclón, se aumenta el tiempo que permanecen las partículas sujetas a la fuerza de separación del remolino. Entre más largo sea el cuerpo del ciclón, mayor oportunidad para separar el polvo del remolino central, antes que salga con el gas. La altura para la zona del remolino principal deberá ser, como mínimo, de cinco y media veces el diámetro del ducto de salida (preferiblemente de ocho o doce veces). Al incrementar la relación entre el diámetro del cuerpo y el del ducto de salida de gas, hacia una proporción cercana a 3. —la relación óptima se encuentra entre 2 y 3— se aumentan la eficiencia y la caída de presión.

Ducto de descarga de polvo: la principal causa del trabajo deficiente de un ciclón, es el escape de aire por el lado de la salida del polvo. Si se conecta una tolva o depósito cerrado al cono, por un tubería corta, el remolino del ciclón existirá en algún grado dentro del depósito, produciéndose un flujo ascendente cargado de polvo. Es posible eliminar esto, si se colocan aletas o pantallas en el ciclón, cerca del orificio de la descarga de polvo. Si el depósito inferior no está herméticamente cerrado y el ciclón se encuentra bajo presión negativa, el aire es absorbido en la tubería de descarga, con gran demérito de la eficiencia.

Ducto de entrada del gas: el ducto más próximo a la entrada tangencial del ciclón es usualmente redondo y la transición a la entrada rectangular debe ser gradual, con un ángulo máximo de 15° , para evitar una caída de presión excesiva debida al chorro de gas que entra al ciclón.

La dirección del ducto de entrada influye en la eficiencia de colección. En efecto, se obtiene la mayor eficiencia con una entrada tangencial al cuerpo del ciclón. Por otra parte, los codos en la tubería de entrada pueden aumentar o limitar la separación del polvo.

Ducto de salida del gas: Deberá tener una extensión determinada dentro del cuerpo del ciclón, de manera que no se permita la salida de cantidades excesivas de polvo. La longitud óptima es de 1.25 veces el diámetro de la tubería de salida.

El principal parámetro para apreciar la eficiencia de colección de un ciclón es el tamaño de la partícula, utilizándose la siguiente ecuación para determinar el diámetro mínimo de la que se separa completamente de la corriente gaseosa:

$$D_p \text{ mínimo} = \sqrt{\frac{9\mu B_c}{\pi N_{tc} V_c (\rho_s - \rho)}}$$

donde:

D_p = diámetro mínimo de partícula recolectada, m.

μ = viscosidad del fluido, g/m/s.

B_c = ancho del ducto de entrada al ciclón, m.

V_c = velocidad promedio de entrada del gas, m/s.

N_{tc} = número de vueltas efectuadas por la corriente gaseosa dentro del ciclón.

ρ_s = densidad de la partícula g/m³.

ρ = densidad de fluido, g/m³

π = constante 3.1416.

Con esta ecuación y de acuerdo con la gráfica de la figura 9.8, se determina la eficiencia de colección de un ciclón. Esta figura proporciona la eficiencia de colección para una relación de tamaño de corte (D_{pc}), donde el D_{pc} (tamaño de partícula correspondiente a una eficiencia fraccional de 50%) es definido por:

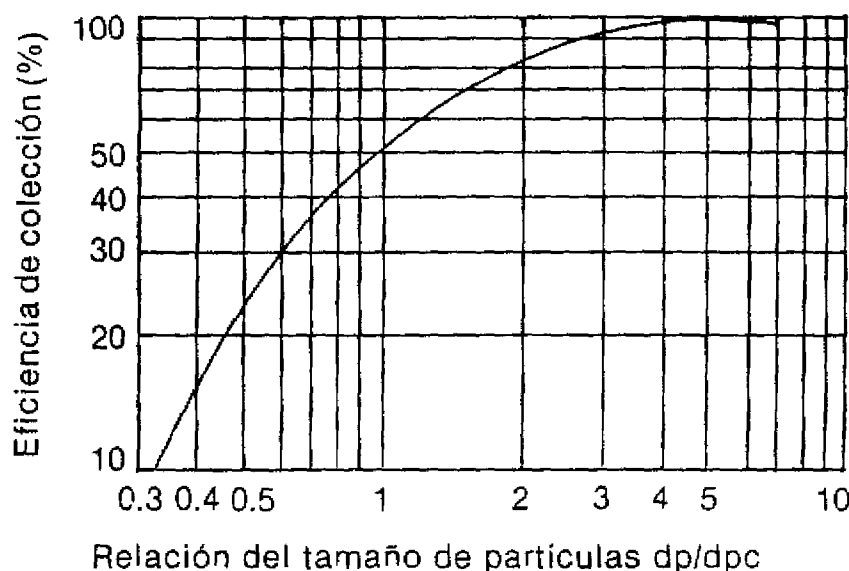
$$D_{pc} = \sqrt{\frac{9\mu B_c}{2\pi N_{tc} V_c (\rho_s - \rho)}}$$

D_{pc} = (tamaño de partícula correspondiente a una eficiencia fraccional de 50%)

Utilización: los ciclones se han empleado para remover sólidos y líquidos de gases, así como sólidos de líquidos, operándose a temperaturas hasta de 1000°C y presiones hasta de 50 600 ka. Los ciclones para remover sólidos de gases se utilizan generalmente para partículas mayores de 5×10^{-6} m de diámetro; sin embargo, las unidades paralelas de tubo múltiple alcanzan eficiencias de 80 a 85% para partículas de 3×10^{-6} m de diámetro.

Figura 9.8

Eficiencia de colección del ciclón



Fuente: *Industrial Hygiene Toxicology*. Vol. 1. General principles, Frank A. Patty. 1978.

Para la colección de partículas de diámetros superiores a 200×10^{-6} m, pueden emplearse los ciclones; sin embargo, las cámaras de sedimentación por gravedad son generalmente satisfactorias. Cuando el polvo presenta un alto grado de aglomeración o se encuentra en concentraciones altas, mayores de 3.5 g/m^3 , los ciclones separan un tamaño menor de partícula alcanzándose eficiencias de 93% para las de 0.1 a 2×10^{-6} m.

Ventajas y desventajas

Entre las ventajas del ciclón se incluyen: bajo costo; menor consumo de energías; y simplicidad de diseño, mantenimiento y construcción. Presenta una caída de presión mayor que la cámara de sedimentación, con costos de operación más altos pero inferiores a otros equipos limpiadores.

Entre las desventajas se citan: eficiencia baja para partículas inferiores a 5×10^{-6} ; abrasión excesiva; y taponamiento por la presencia de altas concentraciones de polvo, de materiales higroscópicos y adhesivos.

— Multiciclones: constan de varios ciclones de pequeño diámetro, instalados comúnmente en paralelo (y a 30 centímetros). Son equipos de mayor cos-

to inicial que los ciclones ordinarios y se utilizan generalmente como método de control final, pero también sirven para realizar una limpieza previa (prelimpiadores).

FILTRACION

La filtración se emplea para remover material particulado de una corriente gaseosa; su eficiencia para partículas pequeñas es alta, aun para diámetros inferiores a 0.05×10^{-6} m.

Los costos de inversión inicial y de mantenimiento oscilan, de acuerdo con la densidad de las partículas y con la cantidad y temperatura de la corriente gaseosa que contiene el polvo.

Entre los factores que limitan el empleo de la filtración se encuentran las características de la corriente gaseosa (temperatura elevada), la carga de polvo que contiene y la ruptura del filtro.

Estos medios pueden estar constituidos por capas filtrantes, lechos de agregados (arena o fibra de vidrio), así como filtros de papel de tela.

Capas filtrantes y lechos de agregados: son materiales de alta porosidad. Cuando la concentración de polvo es baja, puede lograrse alta eficiencia. Para partículas con tamaño menor a 1 mm y empleando arena como medio filtrante, se alcanzan eficiencias de colección de 99.7%; pero con capas de fibra de vidrio y para cargas de polvo de 0.02 a 0.04 mg por pie cúbico, se logra elevarlas aún más.

Ventajas: los filtros de lechos de agregados no requieren limpieza frecuente; tienen alta capacidad de almacenamiento de polvo y un incremento pequeño en la resistencia al flujo de aire; pueden utilizarse para emisiones con elevadas temperaturas; son de alta eficiencia y, asimismo, resistentes a la corrosión.

Desventajas: dificultad para su limpieza; grandes necesidades de espacio; posibilidad de taponamiento por contaminantes húmedos y adhesivos; costo elevado; y baja resistencia a temperaturas elevadas.

Filtros de papel: tienen aplicación en la limpieza de aire, especialmente en hospitales, centros de procesamiento de datos, plantas procesadoras de alimentos e instalaciones de energía atómica. Pueden construirse de asbesto y fibras de vidrio y generalmente se emplean como filtro final para remover partículas muy pequeñas en concentraciones bajas.

La estructura puede ser de acero, aluminio o madera, según su aplicación. Dicha estructura se fija con empaquetaduras en ambos lados, para asegurar un buen sellado. Estos sistemas de filtro requieren una inversión inicial moderada y costos de operación bajos.

Ventajas: no necesitan limpieza.

Desventajas: no son reutilizables y se emplean para cargas de polvo y caudales de flujo bajos.

Filtros de tela: es uno de los métodos más eficientes para remover partículas de corriente gaseosas; alta eficiencia de recolección para partículas del orden de 0.01×10^{-6} m. Comercialmente se presentan en dos diseños: bolsas tubulares y bolsas planas. En las tubulares, las partículas se recogen tanto en la superficie exterior como en la interna; en las planas, se recolectan en la superficie externa. La recolección ocurre por la intercepción e impacto de las partículas sobre los filtros de tela y por difusión, atracción y sedimentación dentro de los poros. Las bolsas tienen una duración promedio de 18 a 36 meses (figuras 9.9 y 9.10).

Estos colectores son de gran tamaño, debido a que las velocidades de operación a través de los filtros de tela son bajas (0.47 a 2.4 l/s). Presentan una resistencia alta entre las 0.5 y 3.7 ka. Para evitar daños al filtro por humedad, los equipos deben mantenerse encima del punto de rocío de la corriente gaseosa. Los filtros de tela se utilizan para polvo seco, no adhesivo ni aceitoso. Tienen una eficiencia de colección del orden de 99 por ciento.

Factores que deben considerarse para la aplicación de los filtros de tela:

— Relación volumen de aire-superficie del filtro.

$$\frac{A}{C} = \frac{Q}{A}$$

donde:

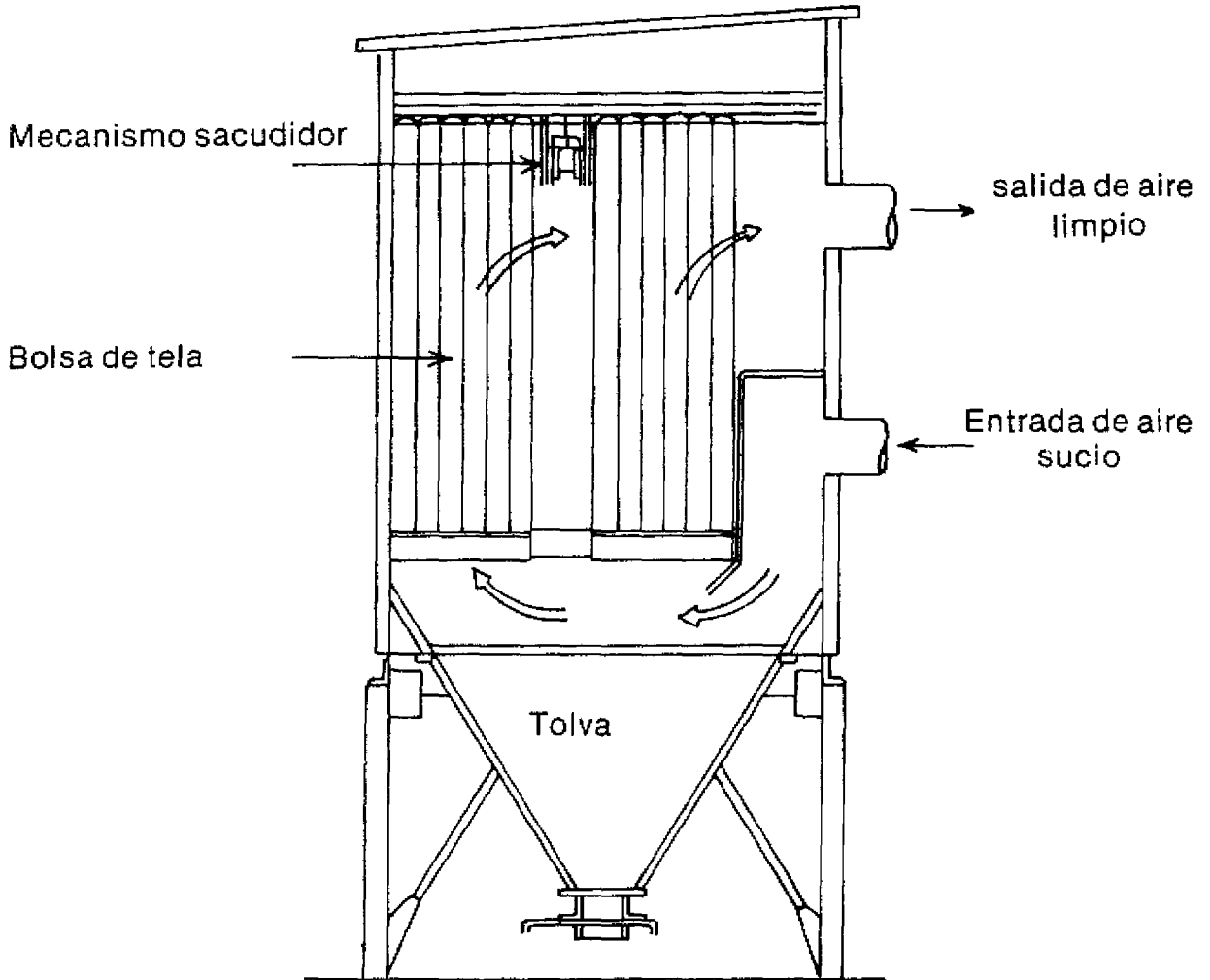
$\frac{A}{C}$ = relación volumen de aire-superficie del filtro, m/min.

Q = caudal volumétrico de gas, m³/min.

A = área neta de tela, m²

— Material del filtro: la permeabilidad se expresa como volumen de aire (m³/min) que pasa a través de un metro cuadrado de tela limpia. El rango usual de permeabilidad es de 0.283 a 0.849 m³ por minuto, por 0.09 m² de tela

Figura 9.9
Filtro de tela



— Limpieza o arrastre por filtro:

$$S = \frac{PA}{Q}$$

donde:

S = limpieza por filtro ($\text{mm H}_2\text{O}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)

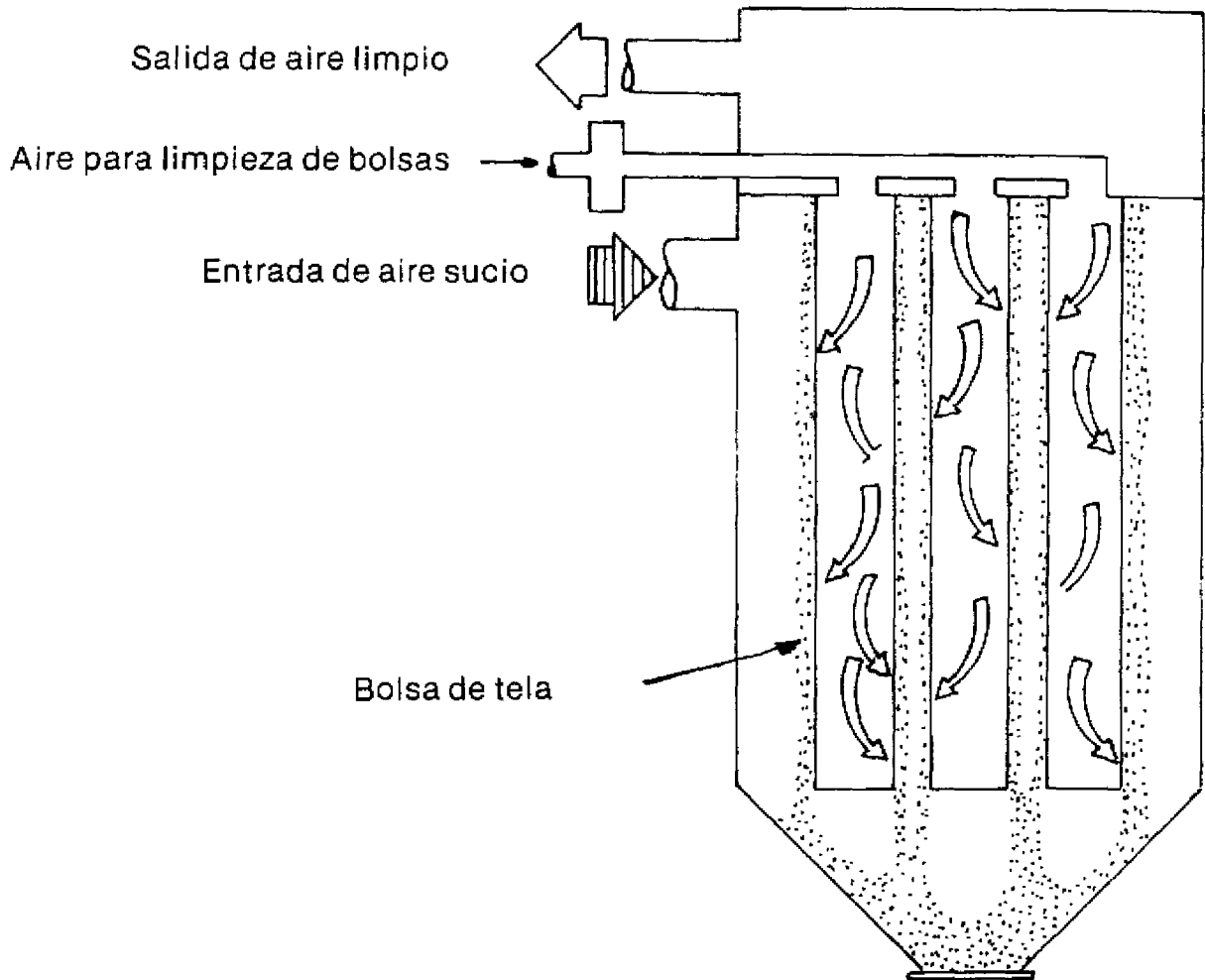
P = caída de presión a través del filtro

A = área neta del filtro (m^2)

Q = Caudal volumétrico de gas (m^3/min).

Figura 9.10

Filtro de tela con flujo de aire inverso



La separación del polvo retenido, del medio filtrante, puede realizarse por:

- sacudida mecánica (sacudida de las bolsas)
- flujo inverso (circulación de aire limpio en sentido opuesto al normal de la corriente gaseosa cargada de polvo).
- ondas sonoras (producción de sonidos de baja frecuencia-vibración).

El cuadro 9.1 enumera las principales características de los filtros de tela.

Tabla No. 9.1

Características de los Filtros de Tela

NOMBRE DE LA TELA	TEMPERATURA MAXIMA, °C		RESISTENCIA A LA ACCION FISICA				RESISTENCIA A LOS QUIMICOS				
	Op. continua	Op. intermitente	Calor seco	Calor húmedo	Abrasión	Sacudida	Acido mineral	Acido orgánico	Alcalis	Oxidante	Solvente
Algodón	82	—	B	B	R	B	P	B	R	R	E
Poliéster	135	—	B	R	B	E	B	B	R	B	E
Acrílico	135	140	B	B	B	B	B	B	R	B	E
Nylon (Dupont)	204	232	E	E	E	E	P-R	E	B	B	E
Nylon (enka)	107	232	B	B	E	E	P	R	B	R	E
Polipropileno	93	—	B	R	E	E	E	E	E	B	B
Teflón	232	—	E	E	P-R	B	E	E	E	E	E
Vidrio	260	315	E	E	P	P	E	E	R	E	E
Lana	101	120	R	R	B	R	R	R	P	P	R

E = Excelente B = Buena R = Regular P = Pobre
 Fuente = *Industrial Ventilation*, 17a. edición.

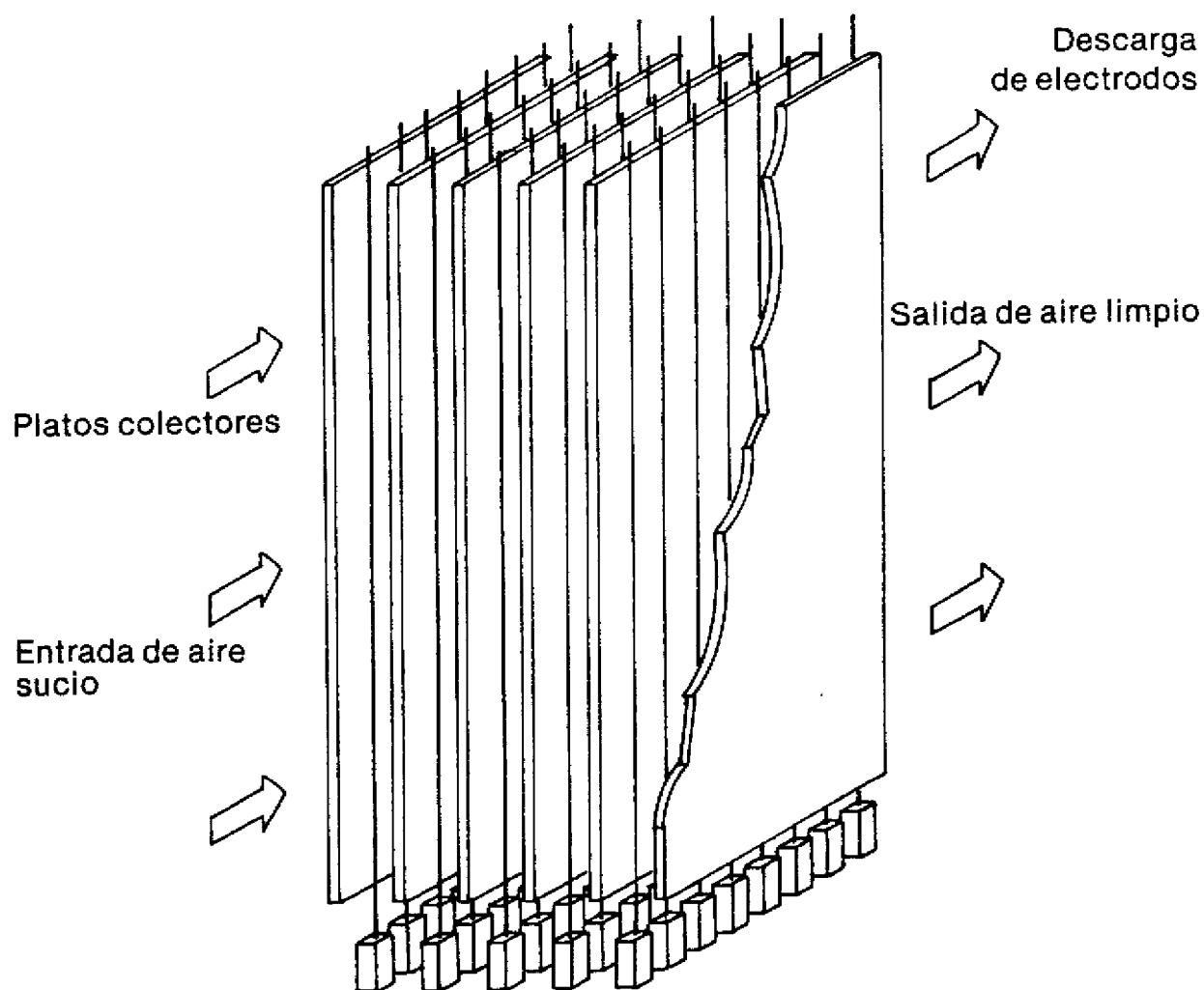
PRECIPITACION ELECTROSTATICA

Consiste en la separación de las partículas contenidas en una corriente gaseosa, mediante el empleo de placas o electrodos cargados eléctricamente; para ionizar las referidas partículas que se recolectan en superficies con carga opuesta. Son equipos útiles en aquellos casos en que el tamaño de las partículas es muy pequeño y se necesitan eficiencias altas de recolección (figura 9.11).

El tamaño del precipitador depende de la resistencia específica del polvo, del caudal volumétrico del gas procesado y de la carga estimada de polvo.

Figura 9.11

Precipitador electrostático tipo placas



La eficiencia de recolección de un precipitador electrostático puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$E = 100 \left(1 - e^{-\frac{AW}{Q}} \right)$$

donde:

E = eficiencia de recolección, porcentaje.

A = área de los electrodos de recolección, m²

Q = caudal de gas, m³/min.

W = velocidad de migración de las partículas, m/min.

La velocidad de migración es un factor empírico, que generalmente varía de 2 a 14 cm/seg.

La eficiencia de recolección se encuentra en función del área del electrodo, del caudal del flujo de gas, de la uniformidad del mismo y de la resistencia eléctrica del aerosol.

Una placa del precipitador electrostático proporciona una eficiencia de recolección de 70 a 90%. Mediante el empleo de placas sucesivas, la eficiencia del precipitador se incrementa a valores superiores. Es así como se logra la eficiencia de recolección, para un precipitador de seis placas, del orden de 99 por ciento.

Los precipitadores electrostáticos se han utilizado con frecuencia en plantas termoeléctricas, fábricas de cemento, fundiciones de metales no ferrosos, industrias de celulosa e incineradores de desechos sólidos.

Ventajas

- Alta eficiencia de recolección, en ocasiones superior a 99%.
- Recolección de partículas de tamaño muy pequeño. Teóricamente no hay un límite inferior en cuanto al tamaño de la partícula que puede remover.
- Diseño para operar en forma continua con poco mantenimiento, durante periodos prolongados.
- Empleo con altas temperaturas, del orden de los 370 a los 540°C.
- Utilizables para recolectar neblinas ácidas y de alquitrán, difíciles de remover por otros métodos.

- Construidos en forma especial, pueden manejar materiales altamente corrosivos.
- Pueden tratar grandes volúmenes de gas.
- La pérdida de presión es pequeña.
- Los costos de operación y de mantenimiento son bajos. (0.2 a 0.6 HP/28.3 m³/min).

Deventajas

- Alto costo inicial
- Requieren grandes espacios, a veces mayores que los filtros.
- Pueden requerir el empleo de un limpiador previo, generalmente del tipo ciclón, para reducir la carga de polvo que llega al precipitador.
- Útiles solamente para material “particulado”.
- La alta tensión puede representar un riesgo.

COLECTORES HUMEDOS

Son equipos que utilizan agua u otro líquido, para remover de la corriente gaseosa un contaminante (cuadro 9.2). Los lavadores son los únicos equipos que pueden emplearse para todo tipo de contaminantes: gases, líquidos y sólidos solubles o insolubles. Entre estos equipos están: torres de rociado, torres de relleno, ciclón húmedo y lavador venturi (figuras 9.3, 9.4 y 9.5).

El tipo de lavador que se utilice depende de las características del contaminante y del grado de control requerido.

La eficiencia de los equipos lavadores o húmedos se relaciona con la caída de presión. Entre mayor sea el contacto entre el líquido y el aerosol, la caída de presión y la eficiencia de colección serán más altas.

Ventajas

Pueden recolectar partículas y gases al mismo tiempo; disuelven las partículas solubles; tienen el doble uso de enfriadores y equipo de control de la contaminación; evitan los riesgos de explosión por la presencia de polvos

y gases combustibles; son equipos compactos; de tamaño generalmente pequeño y costo inicial bajo.

Desventajas

Se produce cristalización de las sustancias solubles; requieren un lecho de sedimentación para las partículas insolubles; presentan dificultades para la remoción de los lodos; pueden generarse problemas de taponamiento en boquillas y contaminación de aguas; requieren equipo auxiliar, como bombas y tanques; presentan alta acción corrosiva; las partículas menores de 1 mm son recolectadas con baja eficiencia, hay gran evaporación del líquido, cuando el contaminante a remover se encuentra caliente; excesivo consumo de energía; posibilidad de congelamiento del líquido, en zonas frías; con flujos bajos de aire, el contacto aerosol líquidos es pobre; con flujos altos de aire, el tiempo de contacto puede reducirse.

Torres de rociado:

La corriente de aire a baja velocidad se rocía o humedece con agua, a través de boquillas. Las partículas, al ser humedecidas, forman otras más densas, que caen por gravedad. Presentan alta eficiencia de recolección para partículas superiores a 10×10^{-6} m.

Generalmente, la corriente gaseosa ingresa por la parte inferior de las torres, y las boquillas ubicadas en la parte superior inyectan líquido a una velocidad determinada. El tiempo de permanencia y la velocidad promedio entre la corriente gaseosa que se transporta hacia arriba (inferior a 3 m/s) y las gotas de líquido que viajan hacia abajo, determinan la cantidad de contaminante que se recolecta. La eficiencia de recolección de las partículas aumenta al decrecer el tamaño de las gotas del líquido. El tamaño óptimo de gota es de $500 \text{ a } 1000 \times 10^{-6}$ m.

Las torres de rociado son útiles como preenfriadores.

En caso de que el líquido sea reutilizado, las boquillas corren peligro de taponamientos, por la presencia de partículas insolubles.

Torres de relleno:

En estos equipos, la corriente gaseosa pasa a través de una capa de material de recolección, granular o fibroso, constituido por anillos de cerámica, coque o material similar, dejándose caer el líquido a través del relleno. El flujo del agua es de 0.53 a 1.1 l/min por m³/min de aire. La altura del relleno es generalmente de 1.2 m. La caída de presión, de 0.4 a 0.9 ka. Las torres con relleno se utilizan para humos metálicos y polvo fino.

Ciclón húmedo:

Es un ciclón común, con una entrada de agua u otro líquido que se hace chocar con las partículas que ingresan. Su costo de operación es mayor, comparado con el ciclón en seco. Se incrementa la eficiencia de colección al aumentarse la densidad de las partículas.

El ciclón húmedo presenta pocos problemas de erosión, pero puede ocurrir una situación grave en caso de que el polvo sea corrosivo. Es necesario efectuar una limpieza y la disposición adecuada del líquido o agua contaminada.

Equipos para limpieza de aire utilizados en la industria

INDUSTRIA Y OPERACION	CONCENTRACION (1)	TAMAÑO DE PARTÍCULA (2)	CICLON	COLECTOR HUMEDO	FILTRO DE TELA	PRECIPITADOR ELECTROSTATICO	
						VOLTAJE ALTO	VOLTAJE BAJO
Cerámica: Manejo de materia prima Encolado refractario Barnizado	Ligera Pesada Moderada	Fino Grueso Medio	A N N	A R A	A A A	N N N	N N N
Químicos: Manejo de materiales Triturado y molienda Transporte neumático	Ligera a moderada Moderada a pesada Muy pesada	Fino a medio Fino a grueso Fino a grueso	A A A	A A R	A A A	N N N	N N N
Calcinadores, hornos, enfriadores	Pesada	Medio a grueso	A	A	A	N	A
Minería de carbón y plantas, de energía: Manejo de material Ventilación carbonera Secado	Moderada Moderada Moderada	Medio Fino Fino	A R N	A R A	A A R	N N N	N N N
Ceniza fina: Quema de carbón pulverizado Quema de madera	Pesada Moderada	Fino Fino a grueso	R R	R R	A A	A R	N N
Fundición: Manejo de arena Molinos Limpieza abrasiva	Moderada Pesada Moderada a pesada	Fino a medio Medio a grueso Fino a medio	N N N	A A A	A A A	N N N	N N N

INDUSTRIA Y OPERACION	CONCENTRACION (1)	TAMAÑO DE PARTÍCULA (2)	CICLON	COLECTOR HUMEDO	FILTRO DE TELA	PRECIPITADOR ELECTROSTATICO	
						VOLTAJE ALTO	VOLTAJE BAJO
Transporte de granos, molinos de harina y pienso: Manejo de granos Secado de granos Polvo de harina Molienda de pienso	Ligera	Medio	A	R	A	N	N
	Ligera	Grueso	R	R	A	N	N
	Moderada	Medio	A	R	A	N	N
	Moderada	Medio	A	R	A	N	N
Fundición de metal: Horno de fundición de acero Horno de acero de hogar abierto Horno eléctrico Horno cúpula ferrosa	Pesada	Varía	N	A	R	R	N
	Moderada	Fino a grueso	N	A	R	R	N
	Ligera	Fino	N	R	A	R	N
	Moderada	Varía	N	A	A	N	-
Minería metálica y productos de roca: Manejo de material Secadores, hornos Secado de cemento Horno de cemento	Moderada	Fino a medio	N	A	A	N	N
	Moderada	Medio a grueso	N	A	A	A	N
	Moderada	Fino a medio	N	R	R	R	N
	Pesada	Fino a medio	-	-	-	-	-
Molienda de cemento Enfriado de clinker de cemento	Moderada	Fino	N	N	A	N	N
	Moderada	Grueso	N	N	A	N	N
	Ligera	Grueso	A	R	A	N	N
	Ligero	Varía	R	R	A	N	N
Trabajo en metal: Pulido, cepillado, corte Brillo Taller Fresado de hierro	Ligera	Grueso	A	R	A	N	N
	Ligero	Varía	R	R	A	N	N
	Ligera	Fino	R	A	A	N	N
	Moderada	Varía	A	A	A	N	R

(Continuación)

INDUSTRIA Y OPERACION	CONCENTRACION (1) ³	TAMAÑO DE PARTICULA (2)	CICLON	COLECTOR HUMEDO	FILTRO DE TELA	PRECIPITADOR ELECTROSTATICO	
						VOLTAJE ALTO	VOLTAJE BAJO
Productos farmacéuticos y alimenticios: Mezcladores, molinos, pesaje ensacadora, empaque	Ligera	Medio	A	A	A	N	N
Plásticos: Procesamiento de material prima Acabado de plásticos	Ver químicas Ligera a moderada	Ver químicas Varia	A R	R R	A A	N N	N N
Productos de caucho: Mezcladores Adición de talco y retiro Molienda	Moderada	Fino	R	A	A	N	N
	Moderada	Medio	R	R	A	N	N
	Moderada	Grueso	A	A	A	N	N
Trabajo en madera: Máquinas de trabajo en madera Lijado Transporte de desechos	Moderada	Varia	A	R	A	N	N
	Moderada	Fino	A	R	A	N	N
	Pesada	Varia	A	R	A	N	N

(1) Ligera = menos de 2 g/28.32 cm³
Moderada = 2 a 5 g/28.32 cm³
Pesada = > 5 g. 28.32 cm³
(2) Fino: 50% < de 5 x 10⁻⁶ m
Medio: 50% de 5 a 15 x 10⁻⁶ m
Grueso: 50% de 15 x 10⁻⁶ m y más
A: A menudo
R: Rara vez
N: Nunca