Tema 10 Métodos de control de emisiones II

10.1 Control de emisión de partículas primarias:

- 10.1.1 Colectores de pared
- 10.1.2 Colectores por división

10.1 Control de emisión de partículas primarias

De dos tipos:

Arrastrar las partículas hacia una pared, donde son recogidas

Colectores de pared:

1- Sedimentadores por gravedad

2- Separadores centrífugos

3- Precipitadores electrostáticos

Dividir el flujo total en flujos más pequeños

Divisores:

1- Filtros de superficie

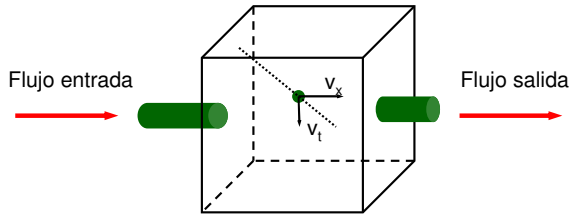
2- Filtros de profundidad

3- Lavadores de partículas (scrubbers)

10.1.1 Colectores de pared

Sedimentadores por gravedad

Se basan en hacer pasar el aire a través de una cámara de gran capacidad en donde la velocidad de flujo es pequeña y uniforme. Las partículas caen por la fuerza de gravedad a la pared inferior



Dos posibilidades:

- de flujo en bloque
- de flujo con mezcla total

Asunciones comunes a los dos modelos (flujo en bloque y flujo de mezclado total):

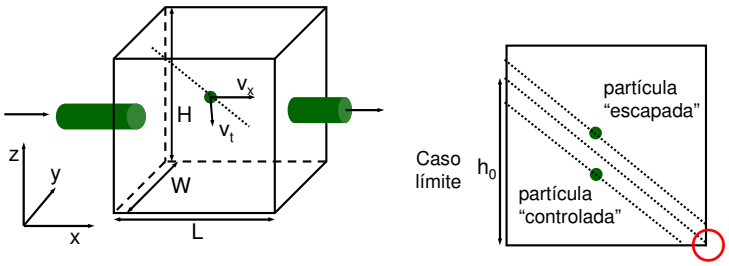
la velocidad horizontal V_x de las partículas es la misma en cualquier posición de la cámara (uniforme)

particulas son de mismo tamaño (homogéneas) de modo que caen en todo el volumen de la cámara a su velocidad terminal V_t

y repartidas uniformemente a la entrada de la cámara,

particulas depositadas no se vuelven a arrastrar.

Flujo en bloque: no hay mezclado vertical

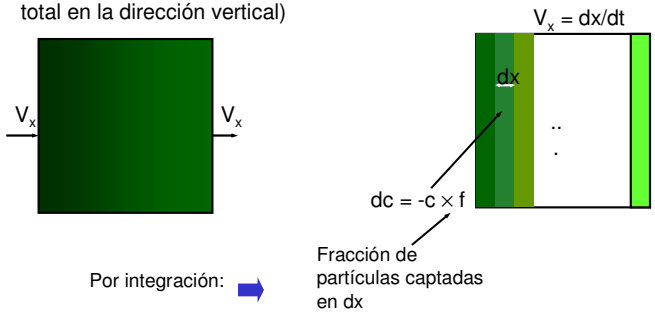


Fracción de partículas "controladas": $R_b = h_0/H = V_t\, L / (V_x\, H)$

Si se cumple la ley de Stokes: $$R_b = \frac{L}{H}\frac{g d^2 \rho}{18 \eta V_x}$$

Flujo con mezcla total:

Hay un gradiente de concentración en la dirección horizontal (con mezcla total en la dirección vertical)



Por integración: ➡

f = dz/H = V_t dx /(V_x H)

y por tanto $R_m = 1 - \exp(-V_t\, L/(V_x\, H)) = 1 - \exp(-R_b)$

Comparación de flujo en bloque y con mezcla vertical

Eficiencia* en la colección de partículas:

d / μ	R_b	R_m
1	0.0003	0.0003
10	0.0303	0.0298
30	0.273	0.239
50	0.76	0.53
57.45	1.00	0.63
80	-	0.86
100	-	0.95
120	-	0.99

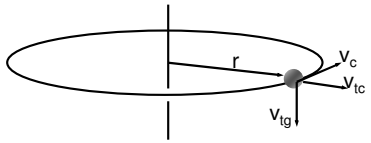
* Eficiencia = fracción de partículas captadas

➡ Más eficiente para flujo en bloque

Diámetro de corte: diámetro para el que la eficiencia vale 0.5 (50% de las partículas estan captadas).

Separadores centrífugos

Aprovechan la existencia de una fuerza centrífuga para arrastrar las partículas hacia una pared. Por ello son más eficientes que los separadores por simple gravedad



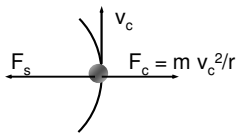
Fuerza centrífuga:

$F_c = m\, v_c^2/r$

$= \pi/6\, d^3\, \rho_p v_c^2/r$

La eficiencia del separador vendrá dada por la velocidad terminal de la partícula en dirección hacia la pared

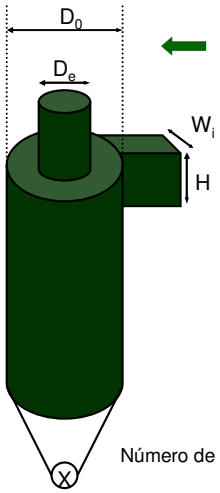
Para determinar la velocidad terminal igualamos fuerza de arrastre (Stokes) a fuerza centrífuga, procedimiento análogo al llevado en la determinación de la velocidad de sedimentación de partículas en aire (Tema 6):



Ley de Stokes: $F_s = 3\ \pi\ \eta\ d\ v_r$

Velocidad terminal: $v_t = d^2\ \rho_p\ v_c^2\ /(18\ \eta\ r)$

Ejemplo 10.1: Calcular la velocidad terminal de una partícula de diámetro 1 µ en un separador centrífugo con v_c = 18 m/s. (Datos: viscosidad del aire a 20 ºC, 1.8×10^{-2} cP; densidad de las partículas, 2 g cm^{-3}, radio del ciclón: 1m)



El <u>ciclón</u> es el tipo de separador centrífugo más usado

El cálculo de la eficiencia de un ciclón es análogo al de un separador por gravedad con sólo tener en cuenta las siguientes equivalencias:

Gravedad	Centrífugo
H	W_i
L	$N\ \pi\ D_0$
V_x	V_c

Número de vueltas alrededor del eje. Normalmente N=5

Eficiencia de un ciclón:

Flujo en bloque: $R_b = V_t\ N\ \pi\ D_0 / W_i\ V_c$

Flujo con mezcla: $R_m = 1 - \exp(-R_b)$

$$R_b = \frac{\pi N V_c d^2 \rho}{9 \eta W_i}$$

Ejemplo 10.2: Calcular la eficiencia de un ciclón con W_i = 15 cm, V_c = 18 m/s y N = 5, para partículas de d = 1 µ. La densidad específica es de 2 g/cm^3, y la viscosidad del aire $1.8\cdot10^{-5}$ kg m^{-1} s^{-1}

Ejemplo 10.3: Los multiciclones, un conjunto de ciclones miniaturizados por los que el flujo pasa en paralelo, son más eficientes en la captación: Si consideramos un ciclón grande con eficiencia de captura del 30% para partículas de 3 µ, cuál es la eficiencia para un conjunto de ciclones de misma geometría pero con todas dimensiones de la mitad (V_c se mantiene igual!)

Comparativa entre las eficiencias de ambos tipos de separador:

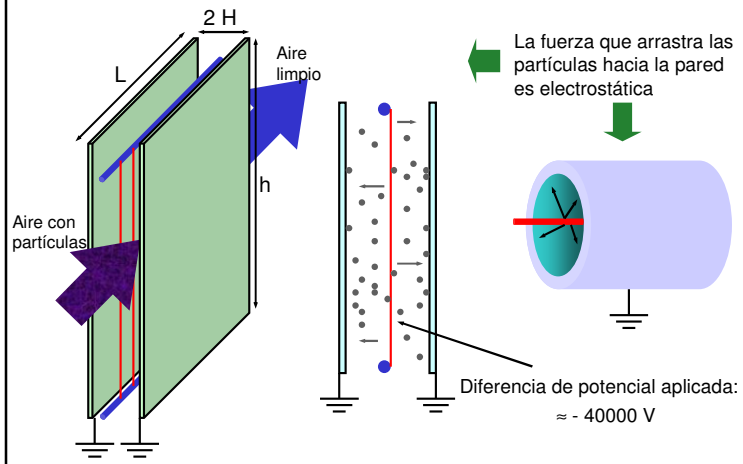
Sedimentador por gravedad

d / µ	R_b	R_m
1	0.0003	0.0003
10	0.0303	0.0298
30	0.273	0.239
50	0.76	0.53
57.45	1.00	0.63
80	-	0.86
100	-	0.95
120	-	0.99

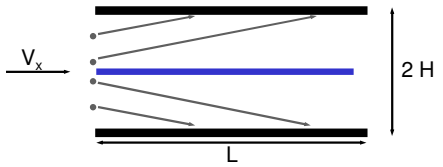
Ciclón

d / µ	R_b	R_m
0.1	0.0002	0.0002
1	0.0232	0.0232
2	0.0930	0.0888
3	0.209	0.189
4	0.372	0.311
5	0.582	0.441
6.559	1.00	0.632
10	-	0.920
15	-	0.995

Separadores electrostáticos



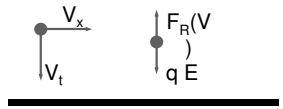
Vista desde arriba



Eficiencia:

Flujo en bloque $R_b = V_t L / V_x H$; Flujo con mezcla: $R_m = 1 - \exp(-R_b)$

Cálculo de la velocidad terminal:

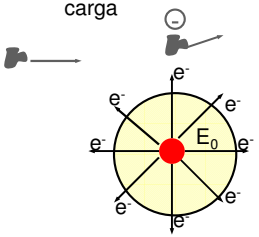


Campo eléctrico

$q E - F_R(V_t) = 0$

Carga de la partícula

Cálculo de la carga



Campo eléctrico local cerca del hilo

$q = 3 \pi \varepsilon / (\varepsilon+2) \varepsilon_0 d^2 E_0$; para $d > 0.15$ µm

Constante dieléctrica de la partícula (4-8 para partículas sólidas)

8.85×10^{-12} C V^{-1} m^{-1}

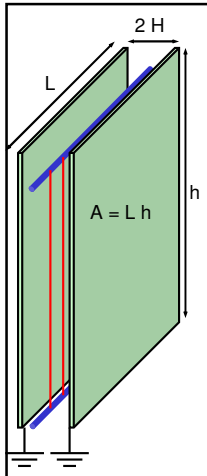
Ejemplo 10.4: calcular la carga, en unidades de carga del electrón, que adquiere una partícula de 1 µm de diámetro al entrar en un separador electrostático para el que el campo eléctrico es 300 KV/m y ε=6

Fuerza sobre la partícula: $q E = 3 \pi \varepsilon / (\varepsilon+2) \varepsilon_0 d^2 E_0 E \approx 3 \pi \varepsilon / (\varepsilon+2) \varepsilon_0 d^2 E^2$

Ley de Stokes: $3 \pi \eta d V_t = 3 \pi \varepsilon / (\varepsilon+2) \varepsilon_0 d^2 E^2$

$\rightarrow V_t = w = d \varepsilon_0 E^2 \varepsilon / (\varepsilon+2) / \eta$

Ejemplo 10.5: calcular la velocidad terminal para la partícula del ejemplo 10.4.



$R_b = w L / V_x H = w A / Q$

Caudal volumétrico $Q = V_x H h$ (entre hilos y 1 placa)

$R_m = 1 - e^{-w A / Q}$

Ciclón

$d / \mu R_b$	R_m	
0.1	0.0002	0.0002
1	0.0232	0.0232
2	0.0930	0.0888
3	0.209	0.189
4	0.372	0.311
5	0.582	0.441
6.559	1.00	0.632
10	-	0.920
15	-	0.995

Colector electrostático

$d / \mu m$	R_m
0.1	0.12
0.5	0.48
1.0	0.73
3.0	0.98
5.0	0.99

Resumen colectores de pared

	Eficiencia	radio de corte / µm	coste
De gravedad	↓	50	
Centrífugos		5	↓
Electrostáticos		0.5	

Centrífugos: $V_t = K\ d^2$

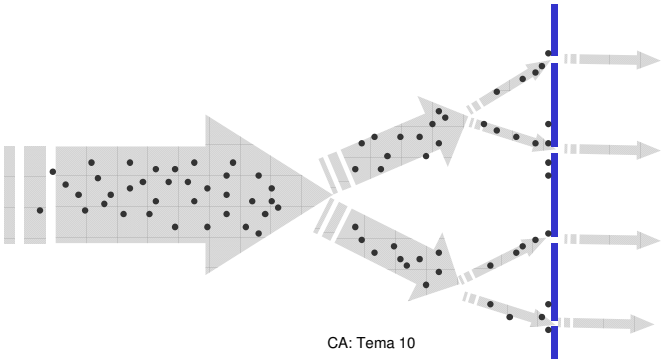
Electrostáticos: $V_t = K'\ d$

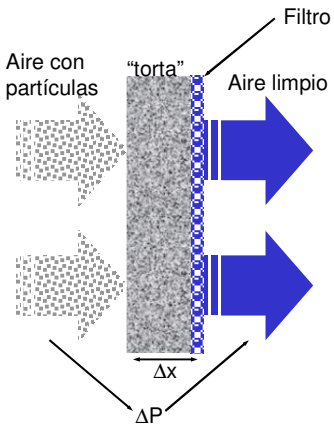
10.1.2 Colectores por división

Filtros de superficie (tamices)

Filtros de profundidad

Lavadores de partículas (scrubbers)

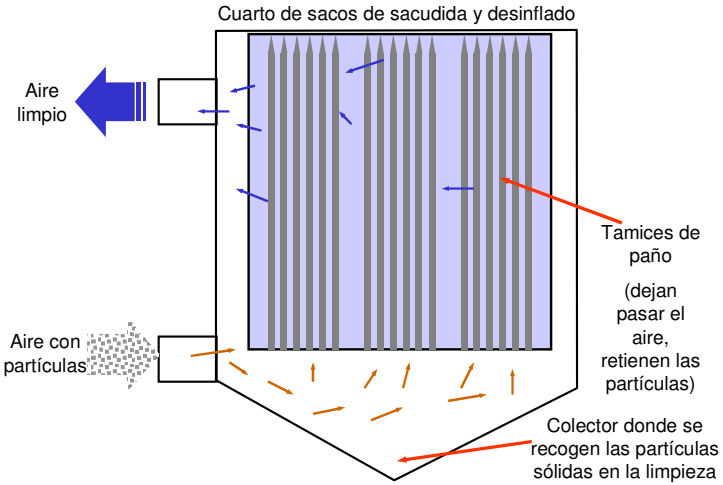


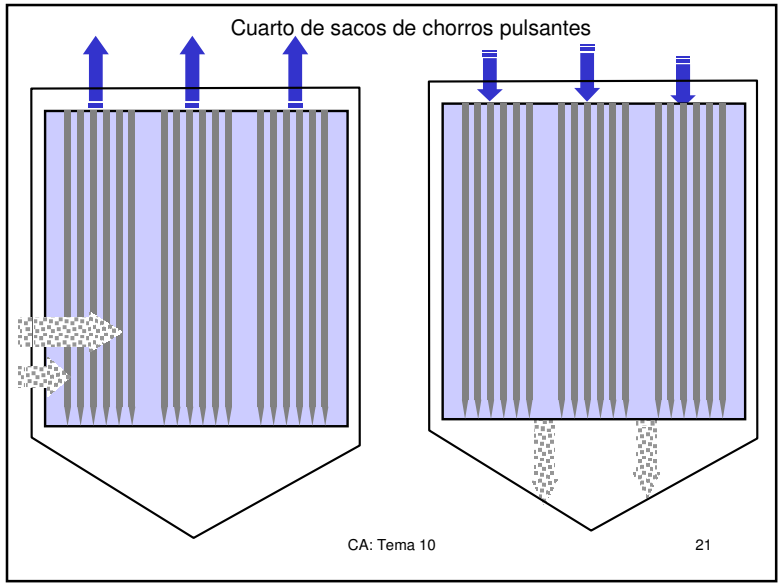


Relación entre velocidad de flujo, V_f, y caída de presión, ΔP

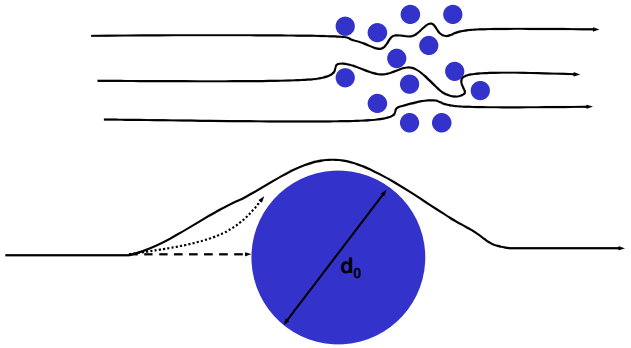
$$V_f = Q/A = -\Delta P/\eta/[(\Delta x/k)_{torta}+(\Delta x/k)_{filtro}]$$

Permeabilidad, normalmente $(\Delta x/k)_{filtro}$ es constante = α



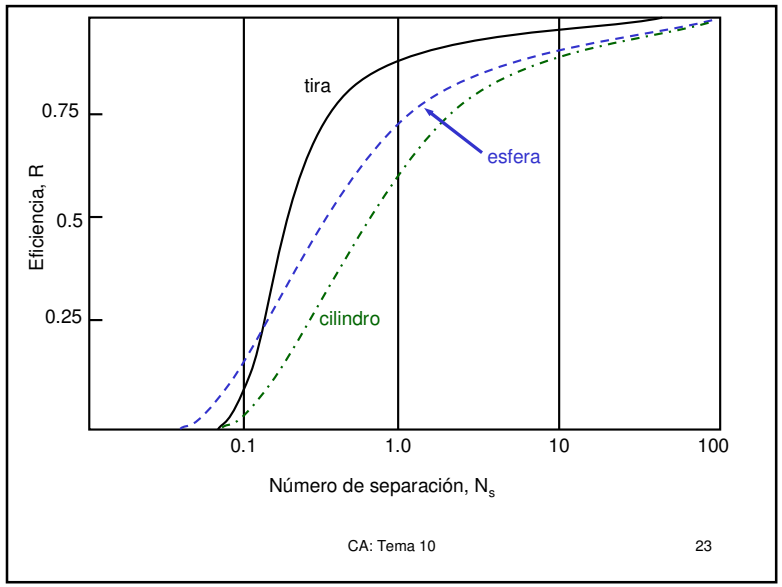


Filtros de profundidad



$N_s = (d^2 \rho v) / (18 \eta d_0) = x_s/d_0$

Ejemplo cotidiano: filtros en los cigarrillos de boquilla

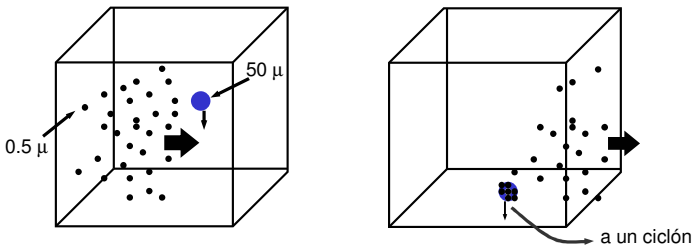


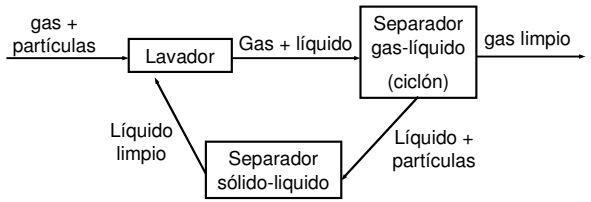
Ejemplo 10.7: Una fibra cilíndrica de 10 μm de diámetro se coloca perpendicular a una corriente gaseosa que se mueve a v = 1 m/s. El gas contiene partículas de d = 1 μm y con concentración 1 mg/m^3. Calcular la velocidad de captura de partículas en la fibra.

Ejemplo 10.8: Un filtro consiste en una fila de fibras paralelas como las del ejemplo anterior, colocadas perpendicularmente al flujo. El espacio entre fibras es igual a cinco veces el diámetro de la fibra. Calcular la eficiencia del filtro (suponer que el espacio entre fibras es suficiente como para que el flujo por cada una de ellas no se vea afectado por los otras)

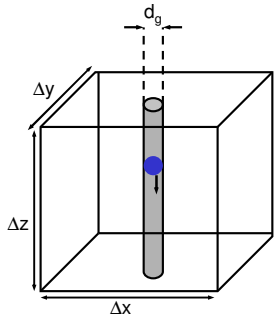
Ejemplo 10.9: Un filtro consiste en 100 filas de fibras como las del ejemplo anterior, colocadas en serie. Estas filas están lo suficientemente alejadas entre ellas como para que el flujo sea uniforme entre ellas. Calcular la eficiencia del filtro.

Lavadores de partículas (scrubbers)





Captura de partículas en una lluvia



Concentración de partículas: c, ($M\ L^{-3}$)

Número de gotas por unidad de tiempo: N_g

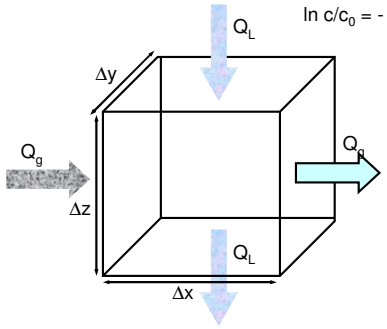
Volumen de líquido por unidad de tiempo y de área, $Q_L/A = (N_g\ d_g^3\ \pi)/ (6\ \Delta x\ \Delta y)$

$\ln c/c_0 = - (1.5\ R\ Q_L\ \Delta t) / (d_g\ A)$

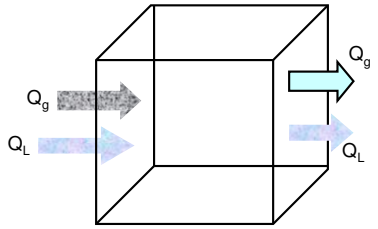
Eficiencia de captura de partículas de una esfera que se mueve contra un flujo de gas. Depende de N_s

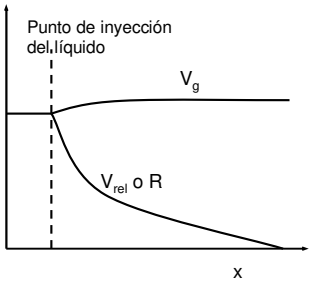
Lavador de flujo cruzado

$\ln c/c_0 = - (1.5\ R\ Q_L\ \Delta z) / (d_g\ Q_g)$



Lavador de flujo coordinado





$dc/c = -(1.5\ R\ Q_L) / (d_g\ Q_G)\ V_{rel}/(V_g - V_{rel})\ dx$