

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



Selección de Equipo para Eliminación de Polvos

328

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

Enrique Arturo Sarmiento López

CD. UNIVERSITARIA, D. F. 1974.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TRSA
1974

McC- [redacted] 303

300

nt 303



QUIMICA

JURADO ASIGNADO
ORIGINALMENTE
SEGUN EL TEMA.

PRESIDENTE: Rudi P. Stivalet Corral
VOCAL: Francisco Barnés de Castro
SECRETARIO: Enrico Martínez Saenz
1er SUPLENTE: Juan Fritz Corona
2do. SUPLENTE: Jesus Gracia Padrique.

SITIO DONDE SE DESARROLLO
EL TEMA

FACULTAD DE QUIMICA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTO
NOMA DE MEXICO.

SUSTENTANTE: ENRIQUE ARTURO SARMIENTO LOPEZ.
DIRECTOR DE TESIS: DR. FRANCISCO BARNES DE CASTRO.

1974.

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS
RAFAEL, ROSARIO,
FERNANDO, ROCIO
Y CLAUDIA.

A CARMEN.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Francisco Barnes de Castro por su
colaboracion y dirección indispensables-
para la realización del presente trabajo.

Gracias .

"Si el volumen o el tono de la obra pueden llevar a creer que el autor intentó una suma, apresurarse a señalarle que está ante la tentativa contraria, la de una resta implacable".

Julio Cortazar.- Rayuela.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I	DINAMICA SEPARACION Y DISTRIBUCION DE PARTICULAS	3
1.0	Objetivos	3
1.1	Dinámica de las partículas	3
1.1.2	Suposiciones Básicas para la Velocidad de Sedimentación	5
1.1.3	Relaciones entre Cd y Re	8
1.2	Separación de Partículas en Fracciones	13
1.3	Distribución de Partículas	17
CAPITULO II	CAMARAS DE SEDIMENTACION	18
2.1	Cámaras de Sedimentación	18
2.2	Cámara de Sedimentación de Howard	19
2.3	Consideraciones de Diseño	21
CAPITULO III	COLECTORES CENTRIFUGOS	22
3.0	Colectores Centrífugos	22
3.1	Ciclones	22
3.2	Colectores Tipo Tablilla	28
3.3	Separador de Polvos Tipo Espiral	28
3.4	Colectores con Boquilla Inversa de Choque	29
3.5	Cámaras de Mamparas	29
3.6	Precipitadores Dinámicos Secos	29
CAPITULO IV	FILTRACION	30
4.1	Filtración	30
4.2	Filtros de Tela	30

4.3 Operación de los Filtros Bolsa	32
4.4 Tamaño del Filtro Bolsa	34
4.5 Conceptos Básicos en Filtración por Telas	36
CAPITULO V PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS	42
5.1 Precipitadores Electrostáticos	42
5.2 Consideraciones Especiales de Diseño	43
5.3 Operación de los Precipitadores Electrostáticos	51
CAPITULO VI COLECTORES HUMEDOS	53
6.1 Colectores Húmedos	53
6.2 Torre de Atomizado por Gravedad	57
6.3 Lavadores de Vénturi	57
6.4 Colectores con Atomizado Autoinducido	58
6.5 Torre Lavadora Empacada	58
6.6 Colectores Centrífugos Húmedos	59
6.7 Precipitadores Dinámicos Húmedos	60
6.8 Lavadores Desintegradores	61
CAPITULO VII CONCLUSIONES	62
7.1 Aspectos Esenciales	62
7.2 Costo del Equipo	62
7.3 Criterio de Selección	65
7.4 Tabla de Características de los Equipos	66
7.5 Carta de Sylvan	71
APENDICE 1 Fuentes Contaminadoras	74
APENDICE 2 Parámetros para Selección de Colectores	76
BIBLIOGRAFIA	78
BIBLIOGRAFIA SUGERIDA COMO CONSULTA AL LECTOR	79

INTRODUCCION.

Desde los últimos lustros, el hombre ha adquirido una conciencia cada vez mayor de los problemas que ocasionan todo tipo de materiales extraños para la vida. Esta conciencia ha tenido que ser reforzada con el desarrollo de la tecnología y el constante incremento industrial.

Diferentes gobiernos han legislado acerca del abatimiento ó eliminación de los contaminantes. Cabe hacer mención que el gobierno de México a través de sus diferentes Secretarías, se ha dado a la tarea de resolver los problemas de la contaminación, aunque éstas solo están empezando su difícil pero importante misión.

A través de la Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente se han efectuado campañas para despertar "conciencia" procurando de esta forma suavizar el problema.

Se publicó la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, la cuál establece y define la forma de abatir la contaminación. Asimismo funcionan, desde hace varios años y cada vez en mayor número, estaciones que miden la composición del aire en las diferentes zonas de la Ciudad de México, habiéndose encontrado serios problemas de contaminación en algunas de ellas. En zonas rurales existen centros de medición análogos.

Las diferentes secretarías, por medio de sus dependencias especializadas, controlan las industrias tratando de asegurar la desaparición del problema. La Secretaría de Recursos Hidráulicos-

CAPITULO I

DINAMICA SEPARACION Y DISTRIBUCION DE PARTICULAS.

1.0 Objetivos

Para poder conocer el comportamiento de las partículas de polvo, siendo esto indispensable para diseñar los colectores de polvo, es necesario plantear los conceptos básicos que se han deducido de las leyes de Newton. Stoke por medio de estos conceptos básicos llega a la deducción de la velocidad de sedimentación. Posteriormente se plantean modificaciones para casos no ideales donde la ley de Stoke tiene que ser rearmada.

1.1 Dinámica de las Partículas

Las ecuaciones fundamentales para describir la dinámica de las partículas están basadas en las leyes de Newton.

1.1.1.1 Peso de Partícula

El peso de la partícula P, se describe:

$$P = V_p \rho_p g$$

1.1

V_p Volumen de la partícula
 ρ_p Densidad de la partícula
 g Aceleración de la gravedad

1.1.1.2 Fuerza Boyante

La fuerza boyante F_b como:

$$F_b = V_p \rho_f g \quad 1.2$$

ρ_f Densidad del fluido desplazado

1.1.1.3 Fuerza de Momento

La fuerza de momento conocida también como fuerza de fricción es descrita por la Ley de momento de Newton.

$$F_p = \frac{C_d}{2} \rho_f A u^2 \quad 1.3$$

u Velocidad de sedimentación terminal

A Area seccional proyectada de la partícula

C_d representa la relación de la energía disipada por fricción a la energía cinética de la partícula. La energía disipada por unidad de volumen, R' , es igual a la fuerza de fricción ejercida por unidad de área de partícula proyectada en un plano perpendicular a la dirección de movimiento, por lo tanto:

$$C_d = \frac{R'}{\frac{1}{2} \rho u^2} \quad 1.4$$

1.1.1.4 Fuerzas en equilibrio

Igualando las fuerzas

$$P = F_b + F_f \quad 1.5$$

$$V_p \rho_p g = V_p \rho_f g + \frac{C_d A \rho_f v^2}{2} \quad 1.6$$

Y despejando la velocidad terminal de sedimentación

$$v^2 = \frac{2 V_p g (\rho_p - \rho_f)}{C_d A \rho_f} \quad 1.7$$

1.1.2.1 Suposiciones Básicas para la Velocidad de Sedimentación

a) La sedimentación es libre, esto es, no se ve afectada por la presencia de otras partículas en el fluido. Cuando la concentración de partículas es lo suficientemente grande para causar choques de partículas dando como resultado una mayor transferencia de momento, la velocidad de sedimentación disminuirá.

Robinson (Chemical Engineering, Coulsen & Richardson, 1967).

Propone una modificación a la ley de Stoke, usando la viscosidad μ_c , y la densidad, ρ_c , de la suspensión en lugar de las propiedades del fluido, siendo μ_c la velocidad de sedimentación - corregida cuando existe una gran transferencia de momento.

$$\mu_c = \frac{K' d_p^2 (\rho_p - \rho_c) g}{\mu_c} \quad 1.8$$

K' = constante.

Para las propiedades antes mencionadas, (Vand, Steinour y también Hawkslay, Chemical Engineering, Coulson & Richardson, 1967) propusieron ecuaciones para encontrar los valores de dichos parámetros.

b) Las fronteras a las que está sujeta el fluido no ejercen un efecto apreciable. Para el caso en que esta suposición no sea válida, Landenburg, (Chemical Engineering, Coulson & Richardson, 1967) presenta las correcciones necesarias. La velocidad de caída en un recipiente de diámetro, D , debe ser multiplicada por $(1 + 2.4 \frac{d_p}{D})$ para dar la velocidad en un medio infinito, donde d_p es el diámetro de la partícula. Esta ecuación es aproximada para valores, $\frac{d_p}{D}$, cercanos a la unidad. También introduce otro factor $(1 + 1.7 \frac{d_p}{L'})$ para el caso en que la partícula se encuentre a una distancia reducida, L' , del fondo del recipiente.

$$\mu = \mu_0 \left(1 + 2.4 \frac{d_p}{D}\right) \left(1 + 1.7 \frac{d_p}{L'}\right) \quad 1.9$$

c) El fluido puede considerarse como un medio continuo, es decir, que la partícula es grande comparada con la trayectoria libre media de las moléculas del fluido. La ecuación 1.7 sólo es aplicable para partículas mayores de 1μ .

Cuando las partículas son muy pequeñas, estas pueden "deslizarse" entre las moléculas. Cunningham (Proc. Roy. Soc. A83, p.357-1910) propuso multiplicar la velocidad terminal por un factor K_m igual a $(1 + \frac{1}{2} \frac{\lambda}{d_p})$ siendo trayectoria libre media y Davies (Proc. Phys. Soc. 57, 259 1945), propone para J , la siguiente ecuación:

$$J = 1.764 + 0.562 e^{-0.785 d_p / \lambda} \quad 1.10$$

Para diámetros más pequeños el movimiento se vuelve Browniano.

d) Las partículas son esféricas.

Considerando partículas esféricas

$$A = \frac{\pi d_p^2}{4} \quad 1.11$$

$$V_p = \frac{\pi d_p^3}{6} \quad 1.12$$

En general las partículas no son esféricas en cuyo caso se utilizan diámetros equivalentes:

δ (diámetro por volumen)

Δ (diámetro por superficie)

D_d (diámetro por fricción)

Para colectores centrífugos, sedimentación y elutriación, donde es aplicable la ley de Stoke, el tamaño efectivo de partícula será:

$$d_p = \sqrt{\frac{\delta^3}{D_d}} \quad 1.13$$

y para precipitadores electrostáticos

$$d_p = \frac{\Delta^2}{D_d} \quad 1.14$$

No siendo necesaria para la 1.14 una relación con la ley de Stoke.

De aquí que la ecuación 1.7 queda:

$$\eta^2 = \frac{4 d_p g (p_p - p_f)}{3 C_d} \quad 1.15$$

1.1.3.1. Relaciones entre Cd y Re Desconocidos

Si los valores del número de Reynolds son conocidos, puede ser -
facilmente encontrado el valor C_d , pero si no es así, o sea
son dependientes de una función desconocida de μ se utiliza el
grupo $Re^2 C_d$ que no involucra la velocidad de sedimentación. -
Una dificultad análoga se encuentra para calcular el tamaño de
una esfera para una velocidad terminal dada ya que el Re y el -
grupo $R'/\rho\mu^2$, son función del diámetro de la partícula, por lo
que se usan $Re^{-1}C_d$ que es independiente del diámetro de la partí
cula.

En el primer caso el grupo $R'/\rho\mu^2$ es multiplicado por Re^2 ó
sea:

$$\frac{R'}{\rho\mu^2} \frac{\mu^2 d_p^3 \rho^2}{\mu^2} = \frac{2 d_p^3 g (\rho_s - \rho)}{3 \mu^2} \quad 1.16$$

Donde se ve claramente que la velocidad desaparece de la ecuación.

$$\frac{R'}{\rho\mu^2} Re^{-1} = \frac{2 \mu g}{2 \rho \mu^3} (\rho_s - \rho) \quad 1.17$$

Desapareciendo el diámetro en la 2a. ecuación.

1.1.3.2 Relaciones entre Re y Cd con el Diámetro de Partícula

a) Si $10^{-1} < Re < 0.2$

$$C_d = \frac{24}{Re}$$

1.18



Figura 1-1

Re contra grupo R'/ρ_2 para partículas esféricas.

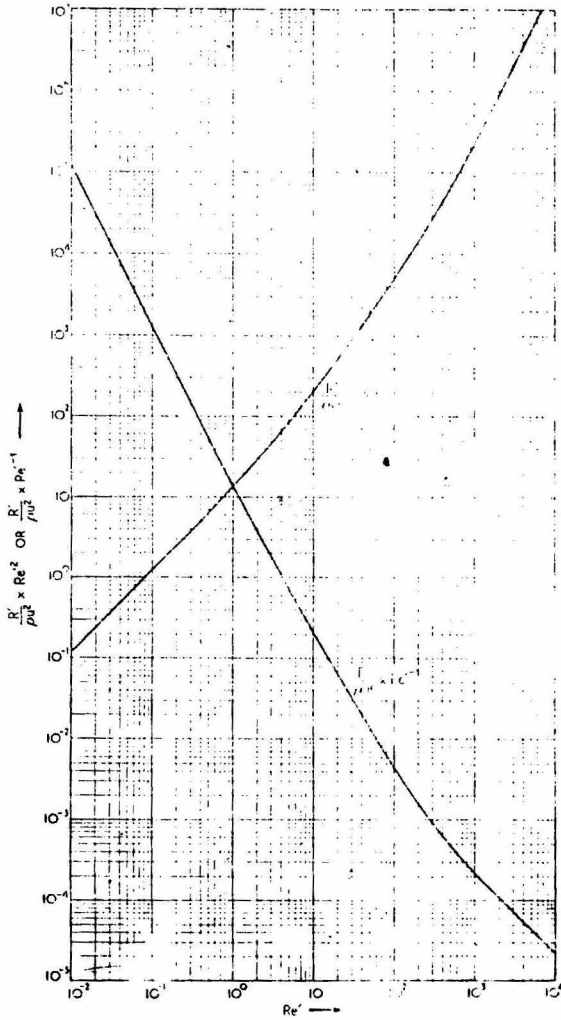


Figura 1.2

R_e contra $\frac{R^2}{\rho \mu^2} Re^2$ y $\frac{R^2}{\rho \mu^2} Re^{-1}$ contra R_e
 para partículas esféricas.

$$u^2 = \frac{d_p^2 g (\rho_p - \rho_f)}{\mu_f} \quad 1.19$$

b) Si $0.2 < Re < 500 - 1000$

(Schiller & Naumann, Coulson & Richardson, 1967)

$$C_d = \frac{24}{Re} (1 + 0.15 Re^{.687}) \quad 1.20$$

quedando

$$u = \frac{d_p^2 g (\rho_p - \rho_f)}{\mu_f} (1 + 0.15 Re^{.687}) \quad 1.21$$

c) Si $500 - 1000 < Re < 2 \times 10^5$

$$C_d = .44$$

Por lo que:

$$u^2 = \frac{3 d_p g (\rho_p - \rho_f)}{\rho_f} \quad 1.22$$

1.1.3.3 Relación entre C_d y Re para Fluidos Discontinuos

Aplicando la corrección de Cunningham descrita anteriormente para el caso en que el fluido se vuelve discontinuo:

$$C_d = \frac{24}{k_m Re} \quad 1.23$$

dando para la ley de Stoke

$$u = \frac{d_p^2 g (\rho_p - \rho_f) k_m}{\mu} \quad 1.24$$

Siendo K_m el factor de corrección, cuyos valores para aire a presión atmosférica están dados en la tabla 1.1

Factor de corrección de Cunningham (K_m).

$\frac{D_p}{M}$	70°F	212°F	500°F
0.1	2.88	3.61	5.14
0.25	1.682	1.952	2,528
0.5	1.325	1.446	1.711
1.0	1.160	1.217	1.338
2.5	1.064	1.087	1.133
5.0	1.032	1.043	1.067
10.0	1.016	1.022	1.033

Tabla 1.1

La tabla 1.1 muestra los efectos de temperatura y diámetro de la partícula en el factor Cunningham.

1.2 Separación de Partículas en Fracciones

1.2.1 Métodos Rápidos

Tienen por objeto dividir las muestras en fracciones determinadas, seguidas de la determinación de peso y tamaño en cada fracción.

Los procesos usados son:

Tamizado

Y basados en el movimiento de las partículas:

Sedimentación

Elutriación

1.2.2 Tamizado Las partículas son pesadas a través de una serie de mallas vibratorias, las cuáles dividen las partículas en diferentes tamaños.

En general las partículas se encuentran en el rango de 1 a $10^5 \mu$ (micrones).

Existen 2 escalas para medir el tamaño de las partículas.

La U.S. estandar

La escala de Tyler.

Cuando las partículas atraviesan las mallas de un valor dado, se dividen en: mayores que la abertura de la malla y menores que ésta. Este proceso se lleva a cabo con diferentes mallas, lográndose la medición del tamaño de las partículas.

Las siguientes tablas muestran el tipo de malla, el ancho de los orificios en pulgadas y micrones y el diámetro del alambre con que están hechas. Tablas 1.2 y 1.3

Número de malla	Abertura Nominal pulgadas	M	Ancho del alambre pulgadas.
400	0.0015	37	0.0010
325	0.0017	44	0.0014
270	0.0021	53	0.0016
230	0.0024	62	0.0018
200	0.0029	74	0.0021
170	0.0035	88	0.0025
140	0.0041	105	0.0029
120	0.0049	125	0.0034
100	0.0059	149	0.0040
80	0.0070	177	0.0047
70	0.0083	210	0.0055
60	0.0098	250	0.0064
50	0.0117	297	0.0074
45	0.0138	350	0.0087
40	0.0165	420	0.0098
35	0.0197	500	0.0114
30	0.0232	590	0.0130
25	0.0280	710	0.0146
20	0.0331	840	0.0165
18	0.0394	1,000	0.0189
16	0.0469	1,190	0.0213
14	0.0555	1,410	0.0240
12	0.0661	1,680	0.0272
10	0.0787	2,000	0.0299
8	0.0937	2,380	0.0331
7	0.111	2,830	0.036
6	0.132	3,360	0.040
5	0.157	4,000	0.044
4	0.187	4,760	0.050

Tabla 1.2

Escala U.S. estandar.

Número de Malla.	Abertura Nominal Pulgadas	<i>M</i>	Ancho del alambre Pulgadas.
400	0.0015	37	0.0010
325	0.0017	43	0.0014
270	0.0021	53	0.0016
250	0.0024	61	0.0016
200	0.0029	74	0.0021
170	0.0035	88	0.0024
150	0.0041	104	0.0026
115	0.0049	124	0.0038
100	0.0058	147	0.0042
80	0.0069	175	0.0056
65	0.0082	208	0.0072
60	0.0097	246	0.0070
48	0.0116	295	0.0092
42	0.0138	351	0.0100
35	0.0164	417	0.0122
32	0.0195	495	0.0118
28	0.0232	589	0.0125
24	0.0276	701	0.0141
20	0.0328	833	0.0172
16	0.0390	991	0.0235
14	0.046	1,168	0.025
12	0.055	1,397	0.028
10	0.065	1,651	0.035
9	0.078	1,981	0.033
8	0.093	2,362	0.032
7	0.110	2,794	0.0328
6	0.131	3,327	0.036
5	0.156	3,962	0.044
4	0.185	4,699	0.065

Tabla 1.3

Escala de Tyler.

1.2.3 Sedimentación

Es el proceso de separar partículas en fracciones de acuerdo a su velocidad de caída en una columna de líquido en reposo. Para describirla se aplican directamente las ecuaciones ya descritas.

1.2.4 Elutriación

Es el proceso de separar partículas variando la velocidad ascendente de una corriente gaseosa. Si la velocidad del gas es igual ó menor a la de sedimentación las partículas permanecen en reposo, las partículas son fluidizadas cuando la velocidad del gas es mayor a la de sedimentación. La velocidad relativa entre el gas y la partícula es igual a la velocidad de sedimentación. Estas velocidades están dadas por la ley de Stoke, ecuación 1.19 para $10^{-4} < Re < .2$

1.3 Distribución de Partículas

1.3.1 Importancia de la Distribución de Partículas

No solamente es importante haber determinado el tamaño de las partículas, sino también el peso de éstas para un mismo tamaño ya que los polvos en general consisten de corpúsculos de muy diversas dimensiones. Al diseñarse un equipo colector, debe tenerse muy presente la cantidad y el tamaño de los polvos a colectarse, lo que permite tener el tamaño promedio de partícula y la eficiencia requerida.

1.3.2 Representación de la Distribución

La distribución de partículas se representa graficando ya sea una curva de frecuencia de distribución y/o una curva acumulativa de distribución.

Las curvas representadas pueden tener diferentes formas, las más frecuentes son las de probabilidad de distribución normal, aunque también suelen estar recorridos o demostrar que hay tamaños preferenciales.

En las abscisas se grafica el tamaño de partícula en micrones contra el porcentaje de peso en cada rango o contra la frecuencia.

Estas curvas se construyen en papel de coordenadas regulares.

En papel logarítmico se pueden trazar curvas de distribución-acumulativa para predicciones de tamaños de distribución para una muestra de partículas.

También se hacen curvas de probabilidad en papel logarítmico.

CAPITULO II.

CAMARAS DE SEDIMENTACION

2.1 Cámaras de Sedimentación

Son compartimentos cerrados, dentro de los cuáles, la velocidad de una corriente gaseosa (con contaminantes) es reducida de tal forma que permite a las partículas de la corriente de gas asentarse debido a la fuerza de gravedad.

Si una partícula entra a la cámara a una distancia vertical h sobre el nivel más bajo del ducto de salida, la partícula debe recorrer esta distancia h , atraída por la fuerza de gravedad antes de atravesar la distancia L ; para ser colectada por la cámara.

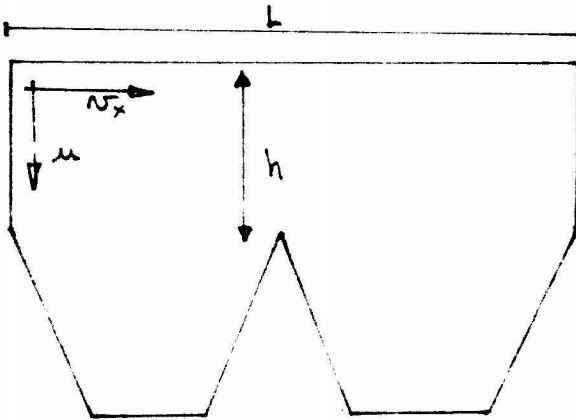


Figura 2.1

Cámara de Sedimentación Simple.

2.2.1 Cámara de Sedimentación de Howard

En este tipo de sedimentador se tienen una serie de platos horizontales paralelos al flujo de la corriente portadora de gas en los que se sedimentan las partículas. La distancia entre estos compartimientos puede ser de una pulgada, por lo que esta distancia de sedimentación es muy pequeña dando como resultado una mayor eficiencia. Tiene problemas para la recolección de los polvos y el proceso es intermitente.

2.2.2. Parámetros de Diseño de los Sedimentadores

Suponiendo que la velocidad de la partícula N_x es la misma que la de la corriente de gas y que se tiene un perfil de velocidades - uniformes, el tiempo de residencia θ para las partículas dentro de la cámara es:

$$\theta = \frac{L}{N_x} \quad 2.1$$

Una partícula con diámetro D_p , se sedimentará una distancia vertical h_θ en un tiempo θ . Si $h_\theta > h$, todas las partículas serán colectadas teniéndose 100% de eficiencia. Si no es así, la eficiencia E_p obtenida con una distribución uniforme será:

$$E_p = \frac{h_\theta}{h} \quad 2.2$$

Para un tamaño dado de partícula sobre la distancia h_θ la partícula se sedimentará dependiendo de la velocidad μ , siguiendo la ley de Stoke dada por la ecuación 1.19

$$h_\theta = \mu \theta \quad 2.3$$

y la eficiencia

$$E_p = \frac{\mu L}{N_x h} \quad 2.4$$

Velocidades de sedimentación de partículas esféricas en aire, con densidad unitaria a 20°C y 1 atmósfera de presión.

Tabla 2.1

$\frac{d_p}{\mu}$	Experimental cm/seg.	Calculada ec. 1.19 cm/seg.
0.1	8.7×10^{-5}	8.71×10^{-5}
0.2	2.3×10^{-4}	2.27×10^{-4}
0.4	6.8×10^{-4}	6.85×10^{-4}
1.0	3.5×10^{-3}	3.49×10^{-3}
2	1.19×10^{-2}	1.19×10^{-2}
4	5.0×10^{-2}	5.00×10^{-2}
10	3.06×10^{-1}	3.06×10^{-1}
20	1.2	1.2
40	4.8	5
100	24.6	25
400	157	483
1000	382	3050

W. Strauss "Industrial Gas Cleaning" Pergamon Press, Oxford 1966
pg 144-159.

La velocidad V_x se puede reescribir en términos del flujo volumétrico de aire Q y las dimensiones de la cámara.

$$N_x = \frac{Q}{hB} \quad 2.5$$

Siendo B la anchura de la cámara.

La máxima distancia de sedimentación en una cámara de Howard será h dividido por el número de charolas $n + 1$

La ecuación de eficiencia está dada por:

$$E_p = \frac{K_g d_p^2 (\rho_p - \rho) LBN}{\mu Q} \quad 2.6$$

Siendo M el número de cámaras en paralelo y K factor empírico

al cuál se le asigna frecuentemente un valor de 0.5

2.3 Consideraciones de Diseño

La velocidad del gas está limitada, ya que si se producen turbulencias, la velocidad de sedimentación de los polvos disminuye.

Es importante que no existan partículas reingresando a la cámara.

Las velocidades recomendables fluctúan entre 1 y 10 pies por segundo.

Si se toman en cuenta las limitaciones de tamaño, solo partículas mayores a 40μ pueden ser separadas económicamente. En varias ocasiones las cámaras de sedimentación son usadas como prelimpiadores antes de que las partículas sean sometidas a colectores mucho más eficientes.

Las cámaras de sedimentación son de diseño simple, construyéndose casi con cualquier material, pero sus aplicaciones son pocas debido a que requieren de gran espacio y tienen una eficiencia relativamente baja.

CAPITULO III

COLECTORES CENTRIFUGOS

3.0 Colectores Centrífugos

Son equipos en los cuales se reemplaza la acción sedimentadora de la gravedad, por una fuerza centrífuga de mayor intensidad. Teniendo buena eficiencia si se compara con su costo y diseño.

3.1 Ciclones

En su forma más simple están formados por un cilindro vertical con el fondo cónico, una entrada tangencial cerca de la parte superior, una tolva en la parte inferior para la recolección de los polvos y un tubo axial para la salida del gas limpio. La entrada es generalmente rectangular. La conducción de salida se prolonga dentro del cilindro para impedir que se forme corto circuitos entre el aire de entrada y de salida.

El aire cargado de polvo recibe un movimiento rotacional al entrar en el cilindro. El vórtice así formado desarrolla una fuerza centrífuga que actúa arrojando radialmente las partículas hacia la pared del ciclón. Desde un punto de vista teórico, un ciclón es un aparato de sedimentación en el que se utiliza una fuerza centrífuga radial elevada que es mucho mayor a la fuerza de gravedad que actúa verticalmente. La fuerza centrífuga en un ciclón varía de 5 a 2,500 veces respecto a la de gravedad. El recorrido del aire en un ciclón sigue un vórtice hacia abajo, o espiral, adyacente a la pared y que llega al fondo del cono. La corriente de aire se mueve entonces hacia arriba en otra espiral más estrecha, concéntrica con la primera, y sale girando a través de la conducción de salida. Ambas espirales giran en la misma dirección.

Las partículas que por la fuerza centrífuga alcanzan las paredes del ciclón, resbalan hasta la tolva de recolección.

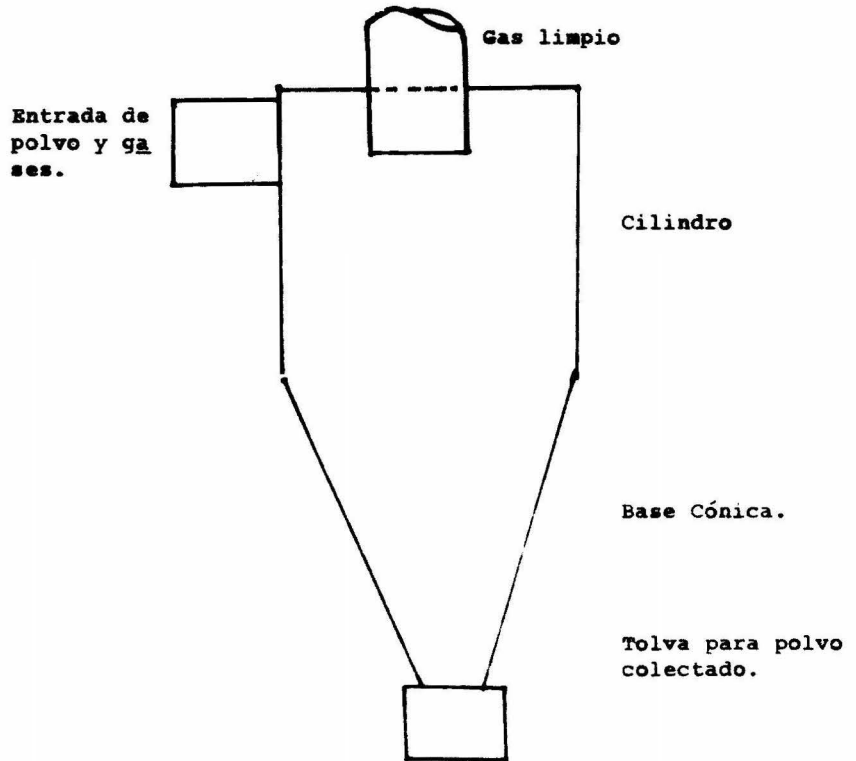


Figura 3.1

Ciclón Simple.

3.1.2 Consideraciones de Diseño

Aunque no exista un método completamente satisfactorio para calcular la caída de presión en un ciclón, un método bastante razonable que dá resultados aceptables es el de medir la caída de presión en un prototipo geométrico similar. La caída de presión varía con el cuadrado de la velocidad de flujo. Los datos de caída de presión de este prototipo pueden ser extrapolados para un tamaño mayor y para cualquier condición de flujo.

3.1.2.1 Tamaño de Partícula

La distribución de tamaños de partículas es la propiedad más importante que afecta la eficiencia de colección en un ciclón. El tamaño crítico de partícula, d_p mín, es el más pequeño que se puede separar con 100% de eficiencia. Todas las partículas mayores a la crítica alcanzan las paredes del ciclón, la separación de partículas más pequeñas depende de su posición inicial con respecto a la pared al entrar al ciclón.

Las curvas de eficiencia de tamaño de partícula para ciclones operando a flujo estable se obtienen mediante pruebas prácticas con la misma concentración de polvo y la misma distribución de tamaño de las partículas. Se hacen estas pruebas fijando alimentación, caída de presión, temperatura iguales a las utilizadas en la última operación; deben ser exactamente reproducibles.

3.1.2.2 Ecuaciones de Diseño

Se debe suponer que las partículas en un ciclón alcanzan rápidamente a sus velocidades terminales

Para partículas esféricas y siguiendo la ley de Stoke:

$$\frac{\pi d_p^3}{6} r \omega^2 (\rho_p - \rho) = 3\pi d_p \mu v_r \quad 3.1$$

Siendo v_r la velocidad radial de la partícula ω la velocidad angular de la partícula y r el radio o distancia en que se encuentra la partícula dentro del ciclón.

Però

$$r \omega^2 = \frac{v_{tan}^2}{r} \quad 3.2$$

donde v_{tan} es la velocidad tangencial de la partícula

$$\frac{\pi d_p^3 v_{tan}^2}{6 r} (\rho_p - \rho) = 3 \pi d_p \mu v_r \quad 3.3$$

Por lo que

$$v_r = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho)}{4 \mu} \frac{v_{tan}^2}{r} \quad 3.4$$

y recordando que la ley de Stoke para la velocidad terminal μ , ec. 1.19, y sustituyéndola en la ec. 3.4

$$v_r = \frac{\mu v_{tan}^2}{g r} \quad 3.5$$

Esta ecuación muestra la diferencia entre una cámara de sedimentación y un ciclón. La velocidad de una cámara de sedimentación se ve aumentada por el factor multiplicativo $\frac{v_{tan}^2}{g r}$ para el caso de un ciclón

La eficiencia de una partícula con un diámetro menor al mínimo queda:

$$E_{dp} = \frac{\pi \rho_p v_r \mu d_p^2 \theta}{4 \mu} \quad 3.6$$

Siendo U_0 la velocidad de entrada del gas, θ el tiempo de una partícula dentro del ciclón y h la abertura de la entrada al ciclón.

3.1.2.3 Eficiencia del Ciclón

Usando una distribución de partículas apropiada y suponiendo que estas siguen la ley de Stoke, la eficiencia total E_t puede expresarse como:

$$E_t = 1 + \int_0^{d_{p\text{min}}} (E_{dp} - 1) f(d_p) \delta d_p \quad 3.7$$

Siendo $f(d_p)$ la distribución de las partículas.

3.1.2.4 Dimensiones de los ciclones

Debido a que trabajan por la fuerza centrífuga entre mayor sea ésta la colección será mayor, por lo que ciclones relativamente angostos serán más eficientes como se puede apreciar en la ecuación 3.5, aumentando a este la reducción de la distancia de migración. Por otra parte, si el ciclón es poco largo, los corto circuitos entre las corrientes de aire son más frecuentes, - por lo que los ciclones deben ser relativamente largos.

3.1.2.5 Arreglos en los Ciclones

Los ciclones largos pueden ser usados para obtener eficiencias bajas o medianas, pero unidades de menor capacidad en paralelo - son superiores en eficiencia que uno simple para una misma alimentación y con la misma caída de presión y consumo de energía.

Estas unidades son conocidas como multiciclones, y sólo tienen

como desventajas que debe asegurarse un flujo de gas uniforme dentro de estos equipos y que en algunas ocasiones presentan problemas de obstrucción y de abrasión para altas velocidades. En numerosas ocasiones los ciclones simples son usados como precolectores de un multiciclón.

3.2 Colectores Tipo Tablillas

3.2.1 Mecanismo de Eliminación de Partículas

Contiene una serie de tablillas dispuestas en ángulo al flujo de la corriente de aire.

A través de estas tablillas pasa un 90% del volumen del aire el cuál es forzado a regresar en una rápida corriente inversa. Las partículas que viajan en la corriente de aire chocan contra las tablillas cayendo en la porción de aire que no pasa por ellas 10%.

La eficiencia de este tipo de mecanismo se basa en la separación de las tablillas; entre más cerca estén éstas habrá más eficiencia.

Si el diseño es adecuado se pueden coleccionar partículas de 10 a 20 μ . En ocasiones es usado como prelimpiador.

3.2.2 Ventajas y Desventajas del Colector Tipo Tablillas

Tiene las siguientes ventajas: sencillez, bajo costo de construcción, poca caída de presión. Y la temperatura y presión solo están limitadas a los materiales de construcción.

Las desventajas que presenta el colector tipo tablillas son: obstrucción entre las tablillas por acumulación de partículas, abrasión, no poder manejar materiales pegajosos.

3.3 Separador de Polvos Tipo Espiral

Es basado en la separación de partículas por medio de un ventilador, se requieren colectores secundarios, ya que solamente se parará partículas grandes.

3.4 Colectores con Boquilla Inversa de Choque

Se pueden usar a cualquier temperatura. Con partículas pegajosas se utiliza una película de agua y es utilizado para remover partículas de 10 a 20 μ

3.5 Cámaras de Mamparas

Emplean baffles fijos los cuáles provocan que la corriente de aire cambie de dirección con lo cuál se proyectan las partículas a un espacio estacionario donde caen por gravedad.

La eficiencia es buena para partículas mayores a 50 μ . También son usados como precolectores.

3.6 Precipitadores Dinámicos Secos

Consisten en separadores movidos por un motor en los cuáles el polvo se precipita por una fuerza dinámica la cuál se genera mediante ventiladores. El polvo precipitado se deposita en las hélices y posteriormente se descarga en una tolva de acumulación de polvo. Es sumamente eficaz para remover polvos industriales comunes de aproximadamente 10 - 20 μ

Como las unidades son compactas, no requieren de espacios grandes para su instalación pero no maneja materiales pegajosos o fibrosos. Es usado hasta para 20,000 pies cúbicos por minuto con una temperatura del gas hasta 750°F.

CAPITULO IV.
FILTRACION

4.1 Filtración

Es un proceso en el cuál un fluido pasa a través de una membrana porosa donde las partículas que lleva son atrapadas.

Para evitar fuertes caídas de presión la mayoría de los equipos industriales reducen la resistencia al flujo haciendo el área filtrante lo más grande posible.

4.1.1 Parametros Importantes

Viscosidad del fluido, densidad, actividad química.

Tamaño de partícula, distribución de tamaños, forma, floculación, deformabilidad.

Concentración de la alimentación.

Cantidad de material.

Eficiencia de colección.

Costos de operación, capital y potencia requerida.

4.2 Filtros de Tela

En su forma más sencilla los filtros de tela pueden ser tejidos o de fieltro; para los primeros se forma una capa del polvo la cual actúa como sedazo, pero para los fieltros la capa de polvo es mínima y en ocasiones no existe. Es importante en filtración la combinación de las fuerzas inerciales y electrostáticas así como también las de choque y difusión.

Los filtros deben ser limpiados continuamente para reducir la caída de presión y para recolectar los polvos.

Por la gran variedad de aplicaciones existe una gama bastante am

plia de diseños para filtros que depende de:

- a) Tipo de Tela
- b) Mecanismo de Limpieza
- c) Geometría de Equipo
- d) Forma de Operación

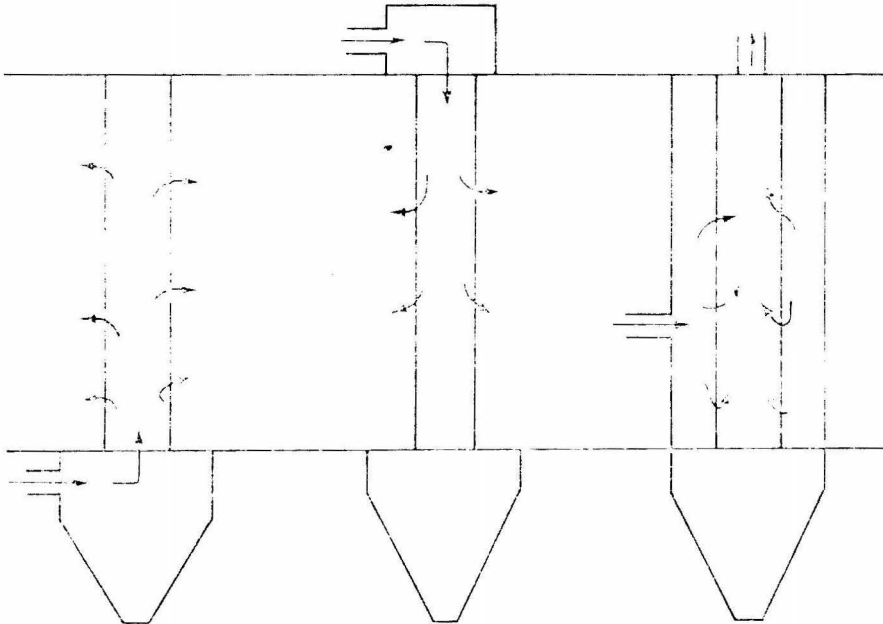


Figura 4.1 Posibles sistemas de filtración.

La primera unidad de la figura 4.1 corresponde a un filtro con alimentación por la parte inferior; la corriente del gas contaminado entra por la tolva del filtro bolsa de donde pasa al tubo de filtración. Parte del polvo se queda en la tolva.

En la segunda unidad, alimentada por la parte superior, el gas -

contaminado entra por arriba de los tubos de filtración.

La alimentación por uno de los costados pertenece a la tercera figura. En este arreglo la tela puede estar en forma tubular o de envoltura.

4.3.1 Operación de los Filtros Bolsa

4.3.1.1 Filtros Intermitentes Están basados en unidades discontinuas e intermitentes. Para estos filtros, el área colectora depende del tiempo de colección. Al finalizar el proceso, la unidad filtrante, es removida para su limpieza.

4.3.1.2 Filtros Continuos Para la mayoría de las instalaciones industriales anticontaminantes donde se manejan grandes cantidades de polvos, se utilizan las unidades filtrantes continuas, lo que se logra acomodando las áreas de filtración en un sistema de flujo en paralelo. La limpieza de las unidades es hecha alternativamente. En los filtros bolsa hay varios compartimientos y cada uno trabaja como unidad discontinua.

En los filtros bolsa de flujo inverso el filtro básico es una envoltura o filtro bolsa, mientras que en los filtros bolsa de chorro - inverso, el filtro básico es una porción del tubo de filtración.

4.3.2 Limpieza de los Filtros

La clave de cualquier colector de tela es la técnica para la recolección de polvo. Basicamente hay dos formas de limpieza, por flexión de la tela y por limpieza inversa con aire.

4.3.2.1 Limpieza por Flexión

Se efectúa por:

- a) Vibración y golpeteo mecánico
- b) Limpieza por vibraciones sónicas
- c) Por diferencia de presión del aire, provoca desprendimiento de la capa de polvo
- d) Presión de chorro e pulso chorro. Se inyecta una burbuja de aire comprimido que viaja por el interior del tubo y provoca desprendimiento de la capa de polvo. (Ver figura 4.2)
- e) Chorro inverso, emplea aire con poco volumen a altas velocidades pasando por el reverso de las telas. Aquí la presión tiende a ser constante en limpieza continua.
- f) Flujo de limpieza inverso con corriente de aire de mayor volumen que el anterior y baja presión.

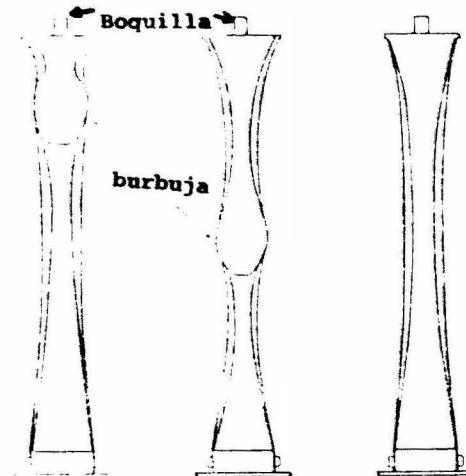


Figura 4.2 Limpieza para filtros de presión de chorro.

4.4.1 Tamaño del Filtro Bolsa

Son relativamente grandes en comparación a los demás equipos - de colección de polvos, lo que constituye un factor económico importante. Generalmente están hechos de fieltro. Para los constructores de equipo la velocidad nominal en los filtros es un factor determinante para el tamaño del equipo, siendo importantes también las limitaciones de altura, de espacio para las bolsas, longitud y diámetro de las bolsas tubulares.

En la tabla 4.1 se muestran los rangos de tamaño para varios tipos de filtros de tela con velocidad nominal de un pie por minuto; velocidad normal en estos colectores.

Tabla 4.1

COLECTOR	W/seg	VOLUMEN 30m ³ /min.	* m/seg.	VOLUMEN 30m ³ /min.
Chorro Inverso	0.3	35	3	3.5
Presión de Chorro	0.3	18	3	1.8
Bolsa Tubular	0.3	6.10	1	2.6
Flujo Mecánico Inverso	0.3	16	.6	8
Sobre	0.3	6.9	.6	3.5

* Valores comunes de velocidad de filtrado.

4.4.2 Telas

Para los filtros bolsa se utilizan las telas de fieltro. Los tejidos se subdividen en: filamento continuo (sintéticas) texturizadas y de pequeños filamentos (naturales).

Tabla 4.2 Propiedades de telas de filtración W.W. Criswell Co.

Temperatura °C Tela	Descompo sición.	Temperatura °C Máxima de opera ción.	Resistencia a los ácidos	Resistencia a las bases.	Abrasión
Algodón	150	82	pobre	muy buena	muy buena
Nylon 6	248	93	regular	excelente	excelente
Dacrón	250	135	buena	buena	muy buena
Orlón	250	126	buena	buena	buena
Polipro pileno	167	93	excelente	excelente	excelente
Teflón	399	230	Inerte	Inerte	pobre
Lana	300	93	muy buena	pobre	buena

Además de las mencionadas en la tabla 4.2 existe una gran variedad de fibras sintéticas como:

Fibras acrílicas, las cuales tienen una estructura molecular que puede ser cristalina. La más usada es el acronitrilo. Se usan con gases hasta 275°F.

Poliamidas, son un tipo de Nylon que tienen gran resistencia a la abrasión.

Fluorocarburos, son practicamente inertes a los ataques químicos. En la tabla 4.2 los representa el teflón.

4.4.3 Propiedades de las Telas

Se deben tomar en cuenta las limitaciones por: temperatura, - estabilidad química, permeabilidad al aire, resistencia al encogimiento y a la abrasión para seleccionar el tipo adecuado de tela.

4.5 Conceptos Básicos en Filtración por Telas

$$\mu = \frac{Q}{A_f}$$

4.1

μ_f Velocidad de filtrado

Q Flujo volumétrico

A_f Area de Filtración

4.5.1 Suposiciones

En filtración se supone que:

- a) El flujo a través del medio filtrante y de la capa de polvo es laminar.
- b) Las propiedades aerodinámicas del medio filtrante y la capa de polvo, permanecen constantes durante el período de filtración.
- c) El peso de polvo filtrado por unidad de tiempo es constante.

d) Para un flujo laminar fijo, existe una proporción directa entre la caída de presión y la velocidad de filtrado.

$$\frac{\Delta P_1}{\mu_f} = \frac{\Delta P_2}{\mu_f} = \dots = \frac{\Delta P_m}{\mu_{fm}} \quad 4.2$$

$$S = \frac{\Delta P}{\mu_f} \quad 4.3$$

Σ Fricción del filtro.

El gasto de polvo filtrado puede ser calculado mediante:

$$\frac{W}{t} = C_p \frac{Q}{A_f} = C_p \mu_f \quad 4.4$$

Siendo W la masa de polvo filtrado y

$$(C_p \mu_f)_{av.} = cte. \quad 4.5$$

C_p es la concentración de las partículas

4.5.2 Propiedades de la Capa de Polvo

Propiedades intrínsecas de la capa de polvo. Chilton Colburn, Fair Hatch, Hatch, Koseny y otros proponen ecuaciones para flujo laminar a través de una cama empacada, teniendo todas una forma similar, que resultan de una premisa de D'Arcy's.

$$\Delta S = \Delta \left(\frac{\Delta P}{\mu_f} \right) = \frac{1}{k} \Delta L \quad 4.6$$

El cambio de la longitud de la capa de polvo es proporcional al cambio de peso del polvo colectado.

$$\Delta S = \frac{1}{k} (\Delta W) \quad 4.7$$

de donde:

$$K = \frac{\Delta W}{\Delta S}$$

4.8

K= Permeabilidad del polvo.

K depende del tamaño de la partícula, de la distribución, forma, características superficiales y deformación de la capa de polvo y de la viscosidad del gas.

Generalmente cuando el valor de la permeabilidad es alto, el proceso de filtrado es sencillo, mientras que para valores bajos se presentan problemas de caída de presión, tiempo de filtrado y velocidad de filtración.

Si la tela es de algodón la influencia en la fricción se notará al cabo de cierto tiempo. Como se puede esperar, el polvo forma puentes entre los poros de la tela y posteriormente va llevando irregularidades de la superficie con lo cuál aumenta la fricción. Se ha observado que durante la fase inicial del filtrado existen diferentes propiedades ya que el polvo se va acumulando en forma lenta al principio. Una vez formada la capa, la eficiencia aumenta.

La permeabilidad del polvo $\frac{\Delta W}{\Delta S}$ en el momento de formarse la capa de polvo se vuelve constante, hasta llegar a un punto donde debe ser limpiada la tela, repitiéndose la operación.

De la ecuación (4.8) se puede obtener:

$$\Sigma_T = \Sigma_0 + \frac{\Delta W}{K} \quad 4.9$$

ó

$$\Sigma_T = \Sigma_R^K + \frac{\mu_f C_p t}{K} \quad 4.10$$

Donde S^* es la intersección con las ordenadas, siguiendo la pendiente constante

4.5.3 Sistemas de Flujo en Paralelo

Se puede hacer una analogía entre un circuito eléctrico y un sistema de filtración. En un circuito eléctrico.

$$I = \frac{E}{R_e} \quad 4.11$$

donde:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_m} \quad 4.12$$

Por analogía

$$S_e = \frac{\Delta P}{\mu_{f,av.}} \quad 4.13$$

$$\frac{M}{S_e} = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \dots + \frac{1}{S_m} \quad 4.14$$

Siendo M el número de las bolsas en paralelo y teniendo

$$\frac{dS_1}{dt} = \frac{1}{K} C_p \mu_{f_1} \quad 4.15$$

$$\frac{dS_2}{dt} = \frac{1}{K} C_p \mu_{f_2} \quad 4.16$$

$$\Delta P = \mu_{f_1} S_1 = \mu_{f_2} S_2 = \dots = \mu_{f_m} S_m \quad 4.17$$

Combinando

$$\frac{dS_1}{dt} \frac{k}{C_p} S_1 = \frac{dS_2}{dt} \frac{k}{C_p} S_2 = \dots = \frac{dS_m}{dt} \frac{k}{C_p} S_m \quad 4.18$$

$$S_1 \frac{dS_1}{dt} = S_2 \frac{dS_2}{dt} = \dots = \frac{S_m dS_m}{dt} \quad 4.19$$

Integrando entre $t=0$ hasta $t=t$

$$S_1^2 - s_1^2 = S_2^2 - s_2^2 = \dots = S_m^2 - s_m^2 \quad 4.20$$

Siendo s los valores de la fricción a tiempo 0.

Si el flujo volumétrico Q y el área por bolsa es A_f

$$Q = A_f (u_{f1} + u_{f2} + \dots + u_{fm}) \quad 4.21$$

Y Combinamos:

$$Q = \frac{k A_f}{C_p} \left(\frac{dS_1}{dt} + \frac{dS_2}{dt} + \dots + \frac{dS_m}{dt} \right) \quad 4.22$$

o

$$\frac{Q C_p t}{k A_f} = \frac{dS_1}{dt} + \frac{dS_2}{dt} + \dots + \frac{dS_m}{dt} \quad 4.23$$

Integrando entre los mismos límites

$$\frac{Q C_p t}{k A_f} = \sum_{m=1}^{M=M} S_m - \sum_{m=1}^{M=M} s_m \quad 4.24$$

Esta ecuación dice que el total de los cambios de fricción puede

ser calculado por las condiciones de entrada $\frac{Q C_p}{k A_f}$ y el tiempo trans

currido t.

Si $s = S_R$ y $S_R^* = S_R$ todos los valores de fricción serán S_T

Consecuentemente

$$\frac{QC_{pt}}{kA_f} = m(S_T) - m(S_R) \quad 4.25$$

$$S_T - S_R = \frac{QC_{pt}}{kA_f} = \frac{M_f(Law) C_p t}{k} \quad 4.26$$

$$S_T = S_R + \frac{\Delta W}{k} \quad 4.27$$

Con lo que llegamos a una identidad, comprobándose la ec-4.9

4.5.4 Operaciones Continuas

Se requiere de una serie de compartimientos, ya que mientras que unos son limpiados, los otros siguen en funcionamiento. El número total de compartimientos es $N+1$ con N compartimientos siempre en servicio. Se hace también una analogía eléctrica. El procedimiento resulta mucho más complejo, y por tanto no será tratado en este trabajo. (Control of Particulate Emissions, Mathematic of Bag Filter Operation).

Ecuación aproximada de diseño.

$$S_{eT} = S_R + m \frac{\Delta W}{k} \quad 4.28$$

CAPITULO V

PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

5.1 Precipitadores Electrostáticos

Los precipitadores electrostáticos se usan cuando se desea una mayor eficiencia de colección de polvos ya que son efectivos en el rango de las partículas submicrónicas. El polvo puede ser recogido en base seca o húmeda y la potencia requerida es menor que en otro tipo de colectores, aunque el costo del equipo es mayor.

En general los precipitadores electrostáticos consisten de una etapa de precipitación donde se lleva a cabo tanto el proceso de carga de las partículas como el de recolección de las mismas. El número de campos en serie o de secciones en paralelo varía con el tamaño del precipitador.

Por la forma de operación se pueden clasificar en húmedos y secos; de acuerdo con la superficie de colección en tubular o de platos; y por la dirección de la alimentación en flujo de gas horizontal o precipitadores de flujo de gas vertical. La combinación más usada es la de un precipitador seco, de plato y con flujo de gas horizontal.

Los precipitadores electrostáticos constan de un electrodo negativo de descarga con área seccional pequeña, y un electrodo positivo de colección y de gran potencia con área mucho mayor.

La potencialidad de los campos varía de 10 a 70,000 volts. en corriente directa. Existe un voltaje crítico conocido como voltaje de rompimiento, en el cuál las moléculas del aire se disocian -

cerca de la superficie de descarga negativa o sobre ella.

Al moverse los iones se unen a las partículas de polvo neutras llevándolas consigo al electrodo apropiado. La mayoría de las partículas de polvo se unen a iones negativos, debiéndose - esto a que los iones negativos que se mueven hacia el electrodo positivo de colección tienen una mayor distancia de recorrido - que las partículas positivas ya que estas se forman cerca del electrodo negativo. Al llegar a los electrodos las partículas - cargadas pasan a neutras, después de lo cual es más simple su recolección por golpeado, lavado o flujo gravitacional.

5.1.1 Secuencia en la Precipitación Electroestática

Existen cuatro pasos involucrados en la precipitación electrostática:

- a) Carga electrostática de las partículas por ionización.
- b) Transporte de las partículas cargadas a la superficie de colección por la fuerza que ejerce sobre ellas el campo eléctrico.
- c) Neutralización de las partículas cargadas precipitadas sobre la superficie de colección.
- d) Eliminación de las partículas precipitadas en la superficie de colección por medio de un recipiente externo al precipitador.

5.2 Consideraciones Especiales de Diseño

Para lograr lo anterior, los precipitadores electrostáticos requieren básicamente de:

- 1) Un sistema de descarga con alto voltage de energización.
- 2) Superficies de colección apropiadas.

3) Sistema de golpeteo de descarga para los electrodos de colección.

4) Adecuado envase para recibir el polvo.

5.2.1 Electrodos de Descarga

Deben ser diseñados para cada aplicación específica. Con un arreglo de púas adecuado y del largo exacto se puede producir una descarga de corona de gran intensidad, aumentando la eficiencia del precipitador.

5.2.2 Electrodos de Colección

Para máxima eficiencia se deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) Superficie uniformemente electrificada para obtener un alto rompimiento de voltage.
- b) Una buena eficiencia de colección mecánica para prevenir depósitos de polvo de reingreso sobre el flujo de gas durante operaciones - continuas.
- c) Capacidad alta de absorción para prevenir reingreso de polvo durante o inmediatamente después del golpeteo.

5.2.3 Carga de las Partículas

Si existe una fuente suficiente de iones el número de cargas - provenientes de una partícula esférica dieléctrica que se pueden obtener es:

$$M_{se} = E_0 r^2 \left[1 + 2 \left(\frac{k-1}{k+2} \right) \right]$$

5.1

M_s Número de saturación de cargas sobre una partícula.

E_0 Intensidad del campo eléctrico.

r Radio de partícula.

e Carga electrónica $= 4.8 \times 10^{-10}$ esu

K Constante dieléctrica, para minerales.

$b > k > 1$ Mientras que para agua $K = 80$

En general hay de 10^3 a 10^5 partículas suspendidas por centímetro cúbico y el número de moléculas es de 10^{19} por cm^3 , el número de cargas que puede llevar una partícula depende del potencial del campo y del tamaño de la partícula. Un precipitador puede crear entre 10^8 y 10^9 iones/ cm^3 por lo que las partículas son ionizadas totalmente en menos de una décima de segundo. Las partículas se mueven con velocidades entre 2 y 50 cm/seg.

El flujo depende de la densidad de iones, de la movilidad de los iones y del tiempo (solo para partículas menores de un micrón). La fuerza electrostática sobre las partículas de 10 micrones es aproximadamente 300 veces la fuerza gravitacional. La existencia de estas fuerzas relativamente grandes es lo que permite lograr efectividades elevadas para separar partículas finas de los gases en los precipitadores electrostáticos.

5.2.4 Transporte de las Partículas

La fuerza directriz F_3

$$F_3 = m_s e E_p$$

$m_s e$ carga total de partícula.

5.2

E_p Intensidad de campo de colección.

Esta fuerza está contrarrestada por una fuerza de resistencia F_d que para la ley de Stoke es igual a:

$$F_d = 6\pi r \mu u \quad 5.3$$

r Radio de partícula

μ Viscosidad del gas

u Velocidad de migración.

Las partículas se aceleran por la fuerza generada por el campo eléctrico hasta que la fuerza resistiva del gas se iguala con la fuerza directriz

$$F_s = F_d \quad 5.4$$

Sustituyendo

$$m s e E_p = 6\pi r \mu u \quad 5.5$$

El polvo viaja esencialmente a velocidad constante a la superficie de colección. De la ecuación 5.5

$$u = \frac{m s e E_p}{6\pi r \mu} \quad 5.6$$

Para partículas mayores de 1 micrón.

La carga total está dada por la ecuación 5.1

$$m s e = D E_o r^2 \quad 5.7$$

donde

$$D = 1 + 2 \left(\frac{k-1}{k+2} \right) \quad 5.8$$

La intensidad del campo eléctrico E_0 , es dependiente de la corriente de descarga sucediéndole lo mismo a la velocidad de migración y a la intensidad de campo de colección E_p , ya que las partículas serán atraídas por la superficie de colección, teniendo como limitación el voltaje de rompimiento del gas, por lo que el voltaje usado será menor a este límite.

Los valores obtenidos experimentalmente de la velocidad de migración en general son menores a la mitad de los teóricos ya que no se consideran los efectos de rearrastré. Para diseños comerciales los valores de la velocidad de migración deben ser determinados experimentalmente y/o usando datos de precipitadores en funcionamiento.

5.2.5 Influencia de la Forma en un Precipitador Electrostático

La eficiencia de colección, E , sigue una función exponencial:

$$E = 1 - e^{-\frac{A}{Q} \mu}$$

5.10

A Superficie de colección

Q Gasto volumétrico del gas.

La superficie específica de colección, f , es:

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

5.11

Como se ve se puede incrementar si la superficie de colección aumenta y Q permanezca constante o disminuya.

Si consideramos un precipitador simple de dos platos de longitud L , altura H , espacio entre platos d , y una velocidad del gas v . El gasto volumétrico del gas es

$$Q = H d v$$

5.11'

Por lo que la eficiencia de colección puede escribirse, de la ecuación 5.10

$$E = 1 - e^{-\left(\frac{2LH\mu}{Hd\nu}\right)} \quad 5.12$$

quedando

$$E = 1 - e^{-\left(\frac{2L\mu}{d\nu}\right)} \quad 5.13$$

Si se va a incrementar la eficiencia de un precipitador, esta debe de ir acompañada por una reducción del espacio entre platos d , un aumento de L , una reducción de la velocidad del gas ν , o bién un incremento de μ . Teniéndose además en cuenta las cualidades físicas de los platos: rigidez, poco peso, capacidad de retención de los polvos y de absorción de los mismos. Consideraciones económicas son las que determinan los valores óptimos de estos parámetros.

La velocidad del gas puede escribirse

$$\nu = \frac{L}{\theta} \quad 5.14$$

Y la eficiencia queda

$$E = 1 - e^{-\left(\frac{2\theta\mu}{d}\right)} \quad 5.15$$

De acuerdo a consideraciones prácticas, es preferible diseñar un precipitador tan pequeño como sea posible siendo consistentes - con la forma del precipitador. Las dimensiones físicas pueden reducirse solo si la velocidad del gas puede aproximarse a valores teóricos.

5.2.6 Análisis de las Partículas

Como en todos los colectores, el análisis del tamaño de las partículas y la concentración de los polvos es muy importante.

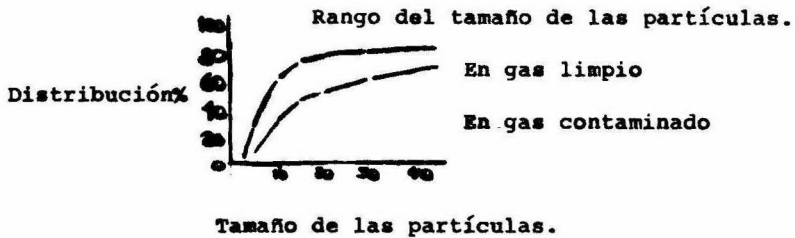


Figura 5.1 Distribución del tamaño de las partículas.

La velocidad de migración efectiva para un dado tamaño de partícula puede ser calculada

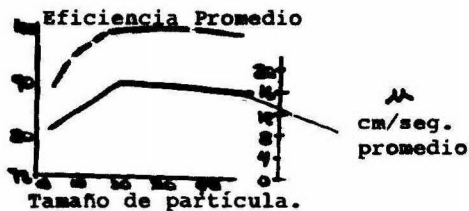


Figura 5.2 Curvas del grado de eficiencia y velocidad de migración.

La relación empírica de la figura 5.2 es función del contenido de polvo; si este es bajo, la velocidad de migración debe ser reducida, mientras que si es muy grande el flujo de corriente entre los electrodos se verá disminuído y por lo tanto la densidad de corriente, - la cual requiere una baja velocidad de migración. Este efecto de campo se incrementará tanto con la concentración de polvo como con el tamaño de partícula.

5.2.7 Velocidad del Gas

Dependiendo del diseño de la superficie de colección todos los procesos secos tienen una mecánica natural inercial y gravitacional

La eficiencia de colección se incrementará con la velocidad del gas hasta un máximo y entonces decrece. De aquí que cada plato colector tiene un punto óptimo para la velocidad del gas.

5.2.8 Viento Eléctrico

Es bien conocido que el viento eléctrico es un fenómeno acompañado con una descarga de corona. El punto de brillo en el alambre o en el filo del electrodo de descarga puede verse como una pequeña boquilla en la cuál las moléculas de gas son aceleradas a considerables velocidades debido a la gran fuerza del campo, haciendo que las zonas de alta presión se formen frente al punto de brillo y las zonas de baja presión atrás.

5.2.9 Resistividad de los Polvos

Los precipitadores industriales operan en un rango de temperaturas entre 90°C y 200°C con una menor eficiencia cerca del límite superior; el voltage de rompimiento decrece y la viscosidad del gas aumenta. Entre 90°C y 150°C la resistividad es mayor.

La resistividad específica de los polvos varía entre 10^{-3} y 10^4 ohm-cm y pueden ser divididas en

- resistividades abajo de 10^4 ohm-cm
- resistividades entre 10^4 y 2×10^{10} ohm-cm
- resistividades sobre 2×10^{10} ohm-cm

Con resistividades entre 10^4 y 2×10^{10} ohm-cm no hay problemas en la precipitación. Resistividades mayores causan la acumulación de polvo en la superficie de colección el cual actúa como aislante. Practica

mente todos los polvos tienen ciertas características de semiconductores.

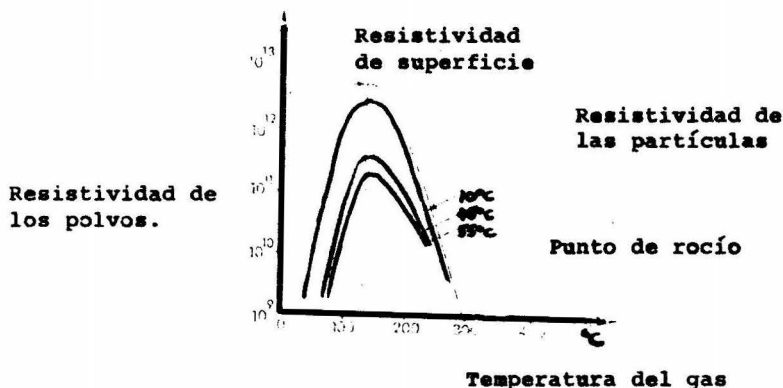


Figura 5.3 Efecto de la temperatura y la humedad en la Resistividad de los polvos.

La humedad causa un aumento en la resistividad de los polvos al incrementarse la temperatura. Con un mayor aumento en la temperatura la conductividad de la partícula de polvo crece causando que la resistividad vuelva a disminuir.

Si el polvo seco es enfriado en una atmósfera seca la resistividad de los polvos tenderá a un máximo como lo muestra la línea punteada de la figura 5.3.

La presencia de SO_3 en el gas de acarreo favorece la precipitación electrostática ya que disminuye en gran parte la resistividad. El SO_3 se usa en cantidades muy pequeñas, habiéndose llegado a determinar que con un contenido de 22 p.p.m. de SO_3 la velocidad de migración se duplica.

5.3 Operación de los Precipitadores Electrostáticos

Una vez que ha sido construido un precipitador electrostático -

su diseño y dimensiones solamente pueden ser cambiados con gastos considerables. Esto nos lleva a determinar las condiciones óptimas para mantenimiento y operación. Los pasos a seguir son:

- a) Instalación de un sistema de acondicionamiento del gas y polvo.
- b) Distribución efectiva del gas antes de entrar al precipitador.
- c) Establecer un ciclo óptimo de golpeteo en la recolección para los electrodos de descarga.
- d) Sistema adecuado de control eléctrico.

Existen además precipitadores electrostáticos de 2 etapas. Estos han sido utilizados para limpiar aire en lugares cerrados como oficinas y hospitales. Se debe tener cuidado para asegurar que el ozono generado por la corriente que descarga no sea muy elevado.

CAPITULO VI

COLECTORES HUMEDOS.

6.1.1- Colectores Húmedos

Son unidades de colección que utilizan un líquido, generalmente agua, para remover partículas sólidas o líquidas.

A pesar de ser muy usados tienen una serie de limitaciones: requieren de gran cantidad de agua, aún cuando ésta puede ser recirculada en parte; No se pueden usar en caso de que los polvos deban ser colectados en forma seca; Si el producto arrastrado es valioso se requiere de un proceso adicional; humedecen el gas de acarreo, lo cuál puede ser un problema como cuando el gas es corrosivo estando húmedo, en cuyo caso los materiales de construcción deben ser seleccionados especialmente.

Tienen, por el contrario, muchas ventajas: los lavadores son más compactos que otros colectores y requieren menos espacio para un flujo determinado; pueden coleccionar partículas del orden de los submicrones; la eficiencia necesaria para la colección se ajusta variando la potencia del lavador; el mantenimiento es sencillo; no hay limitaciones de temperatura y humedad del gas de entrada. Por todas estas razones requieren de un capital menor que los filtros de tela y los precipitadores electrostáticos.

6.1.2 Incrementos en la Colección

Se puede incrementar la colección por dos mecanismos:

- a) Evitando el rearrastrado de las partículas colectadas atrapando a estas en una película líquida.
- b) Las partículas más finas con "acondicionadas" por lo que su tamaño efectivo es mayor, lo que permite que puedan ser colectadas más

eficientemente. Este incremento de tamaño o acondicionamiento se logra forzando la precipitación de las partículas en un líquido descendente o promoviendo la condensación sobre las partículas finas.

La colisión entre las partículas sólidas y la corriente líquida descendente es inelástica. Los aglomeradores resisten la re dispersión debido a las fuerzas de Vander Walls, por lo que la adición de agentes humectantes no significan un incremento en la eficiencia, como tampoco en la solubilidad, con excepción del caso de nieblas concentradas o densas como en el caso del ácido sulfúrico.

Si un líquido pulverizado hace que el gas pase por su punto de rocío, la condensación toma lugar sobre la superficie de las partículas, actuando estas como núcleos, lográndose un incremento en su tamaño. Este mecanismo es importante para gases calientes que contienen una baja concentración de polvos.

6.1.3 Problemas de Operación

Corrosión. Todos los lavadores que usan agua presentan este fenómeno. Aunque se trabaja con elementos químicamente no corrosivos, el CO_2 presente al ser disuelto actúa como tal.

Cuando algún agente corrosivo está contenido en la corriente del gas, como CO_2 , compuestos halogenados, ácido nítrico, etc, la corrosión ocurre en las superficies húmedas metálicas.

Erosión. Se presenta cuando se trabaja con materiales abrasi-

vos insalubres, sobre todo con elevada velocidad o acción centrífuga.

Problemas de Secado.

Eliminación de nieblas. Prevención de acarreo de pequeñas gotas.

Manejo de lodos.

6.1.4 Colección de Partículas sobre Obstáculos Cilíndricos y Esféricos

Cuando las partículas son transportadas por un gas a través de fibras cilíndricas o granos esféricos tienden a precipitarse sobre la superficie de dichos obstáculos. Las partículas se adhieren debido a las fuerzas eléctricas y de Van der Waals, siendo colectadas de esta manera.

Los principales mecanismos de contacto con las partículas son: intercepción, gravitación, difusión, choque, electrostáticos, térmicos.

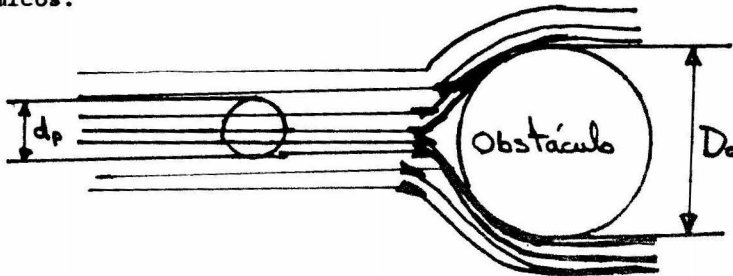


Figura 6.1

Colisión sobre obstáculo esférico.

La relación $\frac{d_p}{D_o}$ se conoce como eficiencia de colisión y se simboliza por M_I . Es función de la velocidad relativa de la partícula y el obstáculo, de la velocidad de sedimentación y del diámetro del obstáculo, de acuerdo a la ecuación 6.1

Siendo v_{r0} la velocidad relativa de la partícula y el obstáculo

$$M_I = \frac{D_0 g}{N_{p0} \mu} \quad 6.1$$

La eficiencia difusional η_D

$$\eta_D = \sqrt{\frac{8k}{N_{p0} D_0}} \quad 6.2$$

k una constante dependiente de la temperatura, la viscosidad y el diámetro de la partícula.

$$k = 1.45(10)^{-7} \frac{T}{\mu d_p} \quad 6.3$$

Para aire abajo de 100°C

$$\eta_D = \frac{2.45}{\sqrt{v_{r0} d_p D_0}} \quad 6.4$$

La ecuación general de eficiencia de recolección, E , es la usada, ya que las partículas chocan con más de un obstáculo hasta la salida del lavador.

$$E = 1 - e^{-\eta S_0} \quad 6.5$$

η Eficiencia del obstáculo

S_0 Número de choques

6.1.5 Materiales de Construcción

Los materiales de construcción de todos los colectores húmedos dependen de la temperatura y la corrosividad. Cuando estos -

factores no son importantes, los equipos se fabrican en general de acero al carbón. Para sulfuros se emplea algún tipo de acero inoxidable; aleación con grado medio de níquel, de alto grado de níquel; con titanio, zirconio ó tántalo, y materiales no metálicos como plásticos de polivinilo, resinas fenólicas, polipropileno, fibra de vidrio, teflón y otras.

6.2 Torre de Atomizado por Gravedad

En una torre de este tipo los obstáculos son las gotas atomizadas de agua que caen dentro de la torre a contracorriente con respecto al gas que va a ser limpiado.

Puede manejar grandes volúmenes de gas y al mismo tiempo ser usado como preenfriador. Una porción del agua que usa puede ser recirculada hasta que llega a contener una alta concentración de partículas de polvo. La caída de presión es muy baja.

Son comunes las torres de atomizado en el siguiente rango de operación:

Flujo de gas	_____	sobre 2,000 m ³ /min.
Temperatura del gas	_____	entre 135°C y 1,100°C
Velocidad del gas	_____	1 a 15 m/seg.
Tiempo de residencia	_____	20 a 30 seg
Caída de presión	_____	2.5cms. de agua
No es eficiente para partículas menores a un micrón.		

6.3 Lavadores de Vénturi

Para lograr una alta eficiencia de colección por colisión de las partículas finas debe haber pequeños obstáculos y altas veloci

dades relativas $\frac{v_p}{v_o}$. La separación aumenta en caso de haber condensación cuando el gas llega saturado a la región de presión reducida del venturi, ya que las partículas sirven de núcleos para la condensación en la sección de recuperación de presión.

La operación se lleva a cabo con velocidades entre 50 y 200.

A la entrada de la restricción, se atomiza la corriente de agua formando gotas de 50μ , aproximadamente; en este punto la eficiencia es máxima; Las gotas se aceleran y se efectúa un número grande de colisiones con las partículas de polvo arrastradas por el gas, hasta que finalmente alcanzan la misma velocidad, teniendo $\frac{v_p}{v_o}$ a cero. La caída de presión es significativa.

Eficiencia del 100% para	Partículas de 1.5μ
Flujo de gas	5 a 4,000 $M^3/min.$
Caída de presión	60 a 75cm de agua
Temperatura del gas	Sin límite
Velocidad del gas	60 a 180 $M/seg.$

6.4 Colectores con Atomizado Autoinducido

La zona de colección es una cortina atomizada la cuál es inducida por el flujo del gas. La velocidad del gas es del orden de - 15 $M/seg.$ creando gotas de 320μ aproximadamente.

Por sus características especiales se usa para materiales como magnesio y polvos explosivos. Tienen una eficiencia de colección del 100% para partículas mayores de doce micrones.

6.5 Torre Lavadora Empacada

Existen 2 tipos de torres lavadoras empacadas: las que emplean placas como obstáculos y las que emplean camas de obstáculos esféricos.

En el primer tipo se forman gotas de 100μ aproximadamente obteniéndose una eficiencia total para partículas de 8μ . La caída de presión se produce en cada plato siendo de 1cms. de agua para cada uno de ellos.

Para el segundo tipo de equipo el gas pasa por una cama de esferas donde las partículas incrementan su velocidad, aumentando así el número de colisión y la eficiencia. La eficiencia de colección es total para partículas de 2μ y aún menores.

La capacidad varía entre 15 y $1,200\text{ m}^3/\text{min.}$ teniendo una caída de presión entre 2 y 3 cms. de agua.

Este segundo tipo de torre lavadora empacada tiene desventajas para el manejo de sólidos ya que éstos tienden a tapar los empaques.

6.6 Colectores Centrífugos Húmedos

Existen también 2 tipos de colectores centrífugos húmedos: - el tipo de irrigación y el tipo de cámaras de atomización.

6.6.1 Tipo de Irrigación

En el tipo de irrigación se efectúa la colección de las partículas por acción centrífuga sobre las áreas de colección húmedas, como las paredes mojadas o los platos.

La eficiencia de recolección es incrementada, por la irrigación, de las paredes del colector, siendo eficientes para partículas entre 1μ y 5μ . La temperatura permitida del gas no presenta problemas con flujos de agua de 30 a 50 litros por cada $100\text{ m}^3/\text{min}$ de gas tratado.

6.6.2 Ciclón de Cámara de Atomizado

En los ciclones de cámara de atomización el gas de arrastre entra tangencialmente por el fondo y asciende en espiral a través de una corriente de agua finamente pulverizada de alta velocidad. Las partículas de polvo son colectadas por estas gotas y son desviadas hacia las paredes de la cámara por acción centrífuga. Las gotas colectoras deben alcanzar las paredes de la cámara antes de la salida de la corriente de aire.

La eficiencia del polvo colectado E está dada por

$$E = 1 - e^{-\frac{3\eta r W H}{2D_0 Q}}$$

6.6

- r Radio del ciclón
- W Volumen de líquido
- Q Volumen del gas de acarreo
- H Altura de la torre
- η Eficiencia individual de las gotas.

El flujo varía entre 15 y 700 m³/min.

Velocidad del gas en el ciclón	60 m/seg.
Eficiencia	97% partículas submicrónicas.
Temperatura	Limitaciones por evaporación de las gotas.
Potencia	0.4 a 10 H.P. por cada - 100m ³ /min de gas.

6.7 Precipitadores Dinámicos Húmedos

Combinan las fuerzas dinámicas de un ventilador con numerosas hojas en forma de cuchillos en donde se mantiene una película de agua mediante atomizadores.

La caída de presión es una función de la eficiencia mecánica; tienen gran eficiencia con partículas de $1 - 2\mu$, con un consumo

de energía entre 7 y 15 H.P. por cada 100m³/min de gas.

6.8 Lavadores Desintegradores

Los mecanismos de colección de partículas en este tipo de equipo son pequeños obstáculos para alta eficiencia de colección y también alta velocidad relativa v_p/o . Estos equipos consisten en una envolvente conteniendo hileras de barras móviles y fijas que se alternan.

La velocidad relativa entre barras adyacentes fluctúa entre 60 y 90 m/seg.

El agua es inyectada axialmente y es atomizada en gotas de 25 μ por la rápida acción rotativa de las barras. El gas de acarreo también entra axialmente y pasa a través de una zona densa de atomización donde las partículas están sujetas a un intenso bombardeo de gotas de agua.

A partir de 7.5 μ la eficiencia es total. Se deben usar grandes cantidades de energía; entre 50 y 65 H.P. por 100m³ de aire limpio.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

7.1 Aspectos Esenciales

Hay dos preguntas esenciales que surgen cuando se decide - resolver algún problema de contaminación.

Cuál es la mejor forma de solucionar el problema y cuál sería el costo.

Con las descripciones, mecanismos, principios etc, ya vistos, es posible tener una idea más o menos clara, de cual es el equipo a escoger, pero faltan los problemas de costo. Es un problema grande, ya que solamente en muy pocas ocasiones se recupera la inversión en productos reutilizables.

No es fácil generalizar los costos de los equipos pues entre las industrias los problemas son de muy diversa índole.

7.2.1 Costo del Equipo

Costo corregido= (Costo en EE.UU.) (Cambio) (Variación en costo por año) (Factor Nacional de Precio).

El Factor Nacional de Precio varía entre 1.15 y 1.25.

Variación en costo por año:

1969.- 119

1970.-

1971.- 132.2

1972.-

1973.-

1974 (Julio).- 149.5

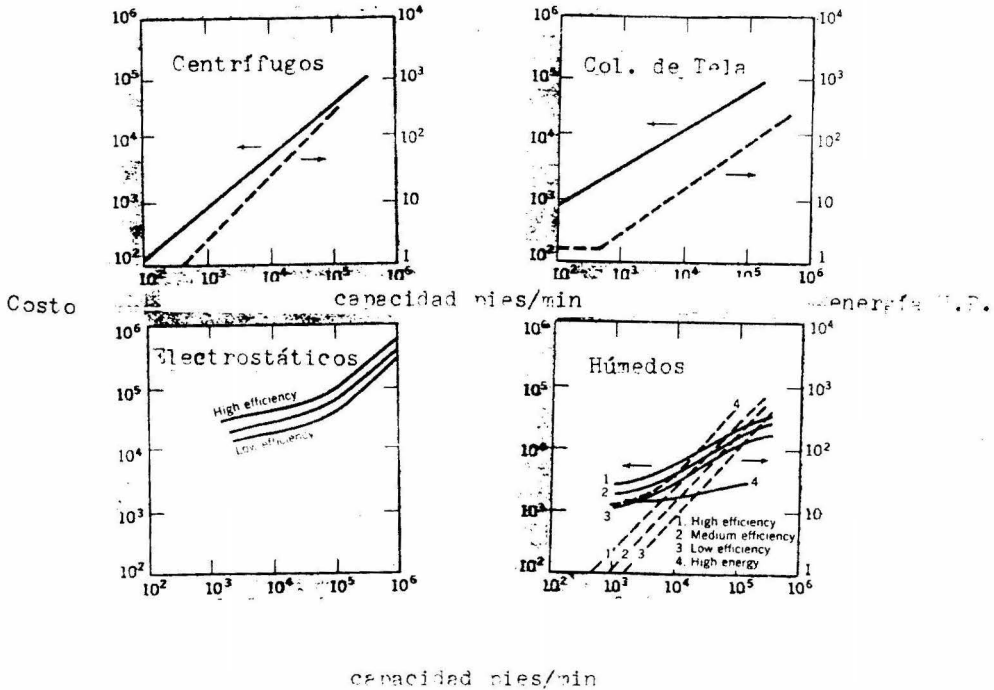


Figura 7.1

Correlación de costo del equipo y energía contra la capacidad de los diferentes colectores.

Los costos están en dólares LAB EE.UU en diciembre de 1971-dan una idea del costo real de dichos equipos.

(Estimatives the Cost of Gas Cleaning Plants, Alonso diciembre de 1971, Chemical Engineering).

7.2.2 Costo de la Eficiencia

En la figura 7.2 se puede apreciar el costo de la eficiencia.

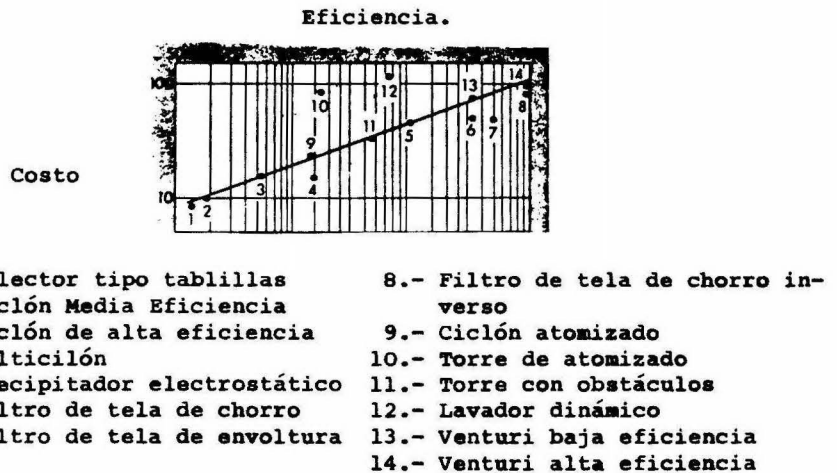


Figura 7.2

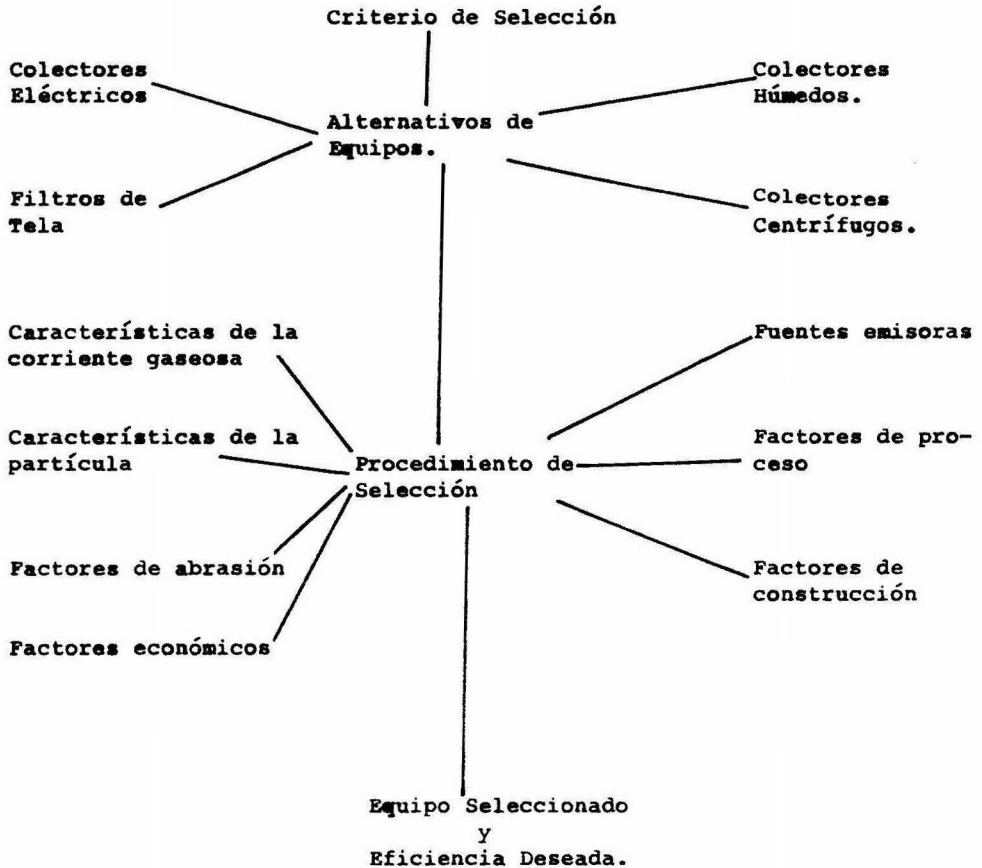
(Dust Collection Equipment, Sargent, Chem. Eng. Enero, 1969.

En las siguientes páginas se resumen los factores importantes para la selección de un equipo colector.

7.3 Criterio de Selección

En el siguiente esquema se puede observar el camino a seguir - en la selección de un equipo colector de partículas contaminantes.

Las alternativas óptimas para los equipos colectores se obtienen mediante procedimientos a selección condicionados a los diferentes factores mencionados en el esquema.



7.4 Tabla de Características de los Equipos

Colector Inerciales Secos	Tamaño de Partícula μ	Concentración granos/pie ³	Eficiencia %
Cámara de Sedimentación	50	5	50
Ciclón	10	1	85
Multi Ciclón	5	1	97
Tipo tablillas	20	1	80
Tipo espiral	20	1	70
Boquilla	10	1	90
Mamparas	20	1	90
Dinámicos	10	1	90
Filtros de tela	0.2	70.1	99
Precipitadores Electrostáticos	1	0.1	99
Colectores Húmedos			
Torre de atomizado	1	1	90
Lavadores Venturi	1.5	0.1	99
Atomizado Autoinducido	12	40	99
Torre con placas	7	40	99
Torre con obstáculos	2	1	99
Centrífugo de Irrigación	1	1	99
Ciclón de atomizado	1	1	97
Dinámicos	1	1	99
Desintegradores	7	1	99

$$1 \mu = \frac{1}{1000} \text{ mm.}$$

$$1 \text{ grano/pie} = 2.288 \times 10^6 \text{ gr/m}^3$$

Colector	AP cms-H ₂ O	Velocidad del gas.	Espacio Reque- rido.
Inerciales secos			
Cámara de Sedimentación	.5	0.1 a 2	muy grande
Ciclón	1 a 7	10 a 20	medio
Multi ciclón	5 a 15	10 a 20	pequeño
Tipo tablillas	1 a 5	10 a 20	medio
Tipo espiral	2	10 a 20	pequeño
Boquilla	2.5 a 5	13 a 26	pequeño
Mamparas	1	5 a 10	medio
Dinámicos	2	-----	pequeño
Filtros de tela	5 a 15	0.5 a 3	grande
Precipitadores Electrostatí- cos.	0.5 a 2	0.5 a 4	grande
Colectores Húmedos.			
Torre de atomizado	2	1 a 1.5	medio
Lavadores Venturi	60 a 75	50 a 200	pequeño
Atomizado autoinducido	10 a 15	15	medio
Torre con placas	1	30	medio
Torre con obstáculos	10 a 15	60-150	medio
Centrífugo de Irrigación	5 a 15	60	medio
Ciclón de atomizado	5 a 15	60	medio
Dinámicos	2	-----	pequeño
Desintegradores	2.5	60-90	medio

Colector Inerciales Secos	Capacidad m ³ /min	Consumo de agua gal/pie ³	Consumo de ener- gía.
Cámara de Sedimentación	----	-----	.5
Ciclón	----	-----	2
Multi ciclón	----	-----	3
Tipo tablillas	----	-----	2
Tipo espiral	----	-----	2
Boquilla	----	-----	2
Mamparas	----	-----	1 a 2
Dinámicos	600	-----	2
Filtros de tela	----	-----	2
Precipitadores Electrostáti- cos.	----	-----	baja
Colectores Humedos			
Torre de atomizado	2,000	18	3
Lavadores Venturi	5 a 4,000	5 a 7	2
Atomizado autoinducido	-----	10 a 40	4
Torre con placas	-----	1	2
Torre con obstáculos	15 a 1,200	1/4	3
Centrífugo de Irrigación	-----	10 a 15 litros	3
Ciclón de atomizado	15 a 700	3 a 10	.1 a 3
Dinámicos	-----	.5 a 1	2 a 4
Desintegradores	-----	10	16 a 20

Colector	Corrosión	Erosión	Humedad	Temperatura °C
Inerciales Secos.				
Cámara de Sedimentación.	no	no	si	sin límite
Ciclón	no	si	si	sin límite
Multi ciclón	no	si	si	sin límite
Tipo tablillas	no	si	si	sin límite
Tipo Espiral	no	si	si	sin límite
Boquilla	no	--	si	sin límite
Mamparas	no	no	si	sin límite
Dinámicos	no	no	si	350
Filtros de tela	no	si	si	limitaciones
Precipitadores Electrostáticos.	no	no	si	-10 a 400
Colectores Húmedos				
Torre de atomizado	si	si	no	135 a 1,100
Lavadores Venturi	si	si	no	sin límite
Atomizado autoinducido	si	si	no	-----
Torre con placas	si	si	no	-----
Torre con obstáculos	si	si	no	-----
Centrífugo de Irrigación	si	si	no	sin límite
Ciclón de atomizado	si	si	no	limitaciones
Dinámicos	si	si	no	limitaciones
Desintegradores	si	si	no	-----

Existen ventajas de los colectores secos sobre los húmedos cuando el polvo colectado es reutilizable.

Colector Inerciales Secos.	Costo del equipo.	Costo de manutención.	Otros.
Cámara de sedimentación	bajo	bajo	precolector
Ciclón	bajo	bajo	precolector
Multi ciclón	medio	bajo	se debe tener flujo-
tipo tablillas	medio	bajo	----- uniforme.
Tipo espiral	medio	bajo	No material pegajoso
Boquilla	medio	bajo	-----
Mamparas	medio	bajo	precolector
Dinámicos	medio	bajo	No fibras ni material pegajoso.
Filtros de tela			
Precipitadores Electrostáticos.	muy alto	bajo	-----
Colectores Húmedos			
Torre de atomizado	alto	medio	-----
Lavadores venturi	alto	alto	-----
Atomizado autoinducido	alto	medio	Maneja Mg. y explosivos.
Torre con placas	medio	alto	No maneja sólidos
Torre con obstáculos	medio	alto	-----
Centrífugo de irrigación	alto	medio	-----
Ciclón de atomizado	alto	medio	-----
Dinámicos	alto	muy alto	-----
Desintegradores	alto	medio	-----

7.5 Carta de Sylvan

Esta tabla delinea muchos problemas de control de polvos en base a dos variables. Concentración y tamaño de las partículas. La tabla es un método ideal para reportar variaciones de las condiciones del polvo.

Los datos proveen una guía para la selección de equipos colectores, una aproximación de su eficiencia y la masa de la partícula promedio del material en proceso. La predicción del tamaño de la partícula promedio, se basa en la distribución (pendiente) del tamaño de partícula, para colectores que operan por impacto: colectores centrífugos, colectores húmedos, y de tela.

Para los colectores electrostáticos la desviación de la inclinación pendiente difiere de la presente tabla, por lo que no puede ser usada para calcular el tamaño de partícula promedio de la corriente contaminada.

Como es sabido, los polvos en la práctica no son de un tamaño definido, por lo que hay que especificar las cantidades de cada tamaño. Se han computado en esta tabla las desviaciones para polvos industriales.

Ejemplo. Para un horno de cal.

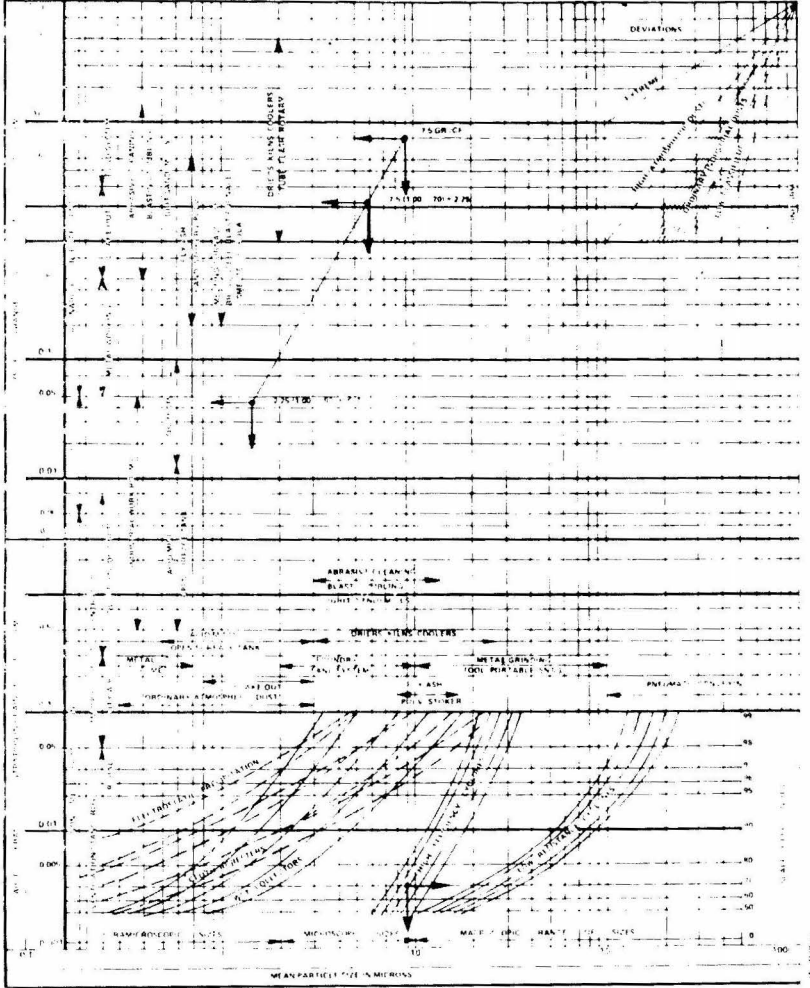
De acuerdo con la tabla la concentración y tamaño de la partícula promedio del material que desprende el horno varía entre 3 y 10 granos/pie³ y entre 5 y 10 μ el tamaño de la partícula. Determinados por una gráfica logarítmica de distribución y frecuencia acumulativa. Se asume una concentración a la entrada de 7.5 granos/pie³

y el tamaño de partícula a la entrada de 9μ .

La proyección de este punto hacia la parte de la tabla que establece la eficiencia de colección, indicará que un ciclón de baja resistencia tendrá una eficiencia menor del 50%; un ciclón de alta capacidad variará entre 60% y 80% de eficiencia; un colector húmedo de tela o electrostático tendrá una eficiencia aproximada de 97% o más. Si usamos un centrífugo de alta eficiencia obtendremos un 70%. La concentración será de $7.5 (1.00-.7) = 2.25$ granos/pie³.

Se traza una línea desde el punto inicial con una inclinación paralela a las líneas marcadas como polvos industriales. Cuando no se conozca la desviación, el promedio de este grupo de líneas será lo suficientemente preciso para predecir el tamaño de la partícula media en la corriente del colector. En la intersección de estas líneas con la línea horizontal marcada 2.25 granos/pie³, una línea vertical trazada desde este punto indicará el tamaño de la partícula media: 6μ .

Si se sigue en la misma vertical, se verá que un segundo colector centrífugo de alta capacidad tendrá una eficiencia menor de 50%, un colector húmedo, de tela o electrostático será mayor de 93%. La selección de un buen colector húmedo nos da un 98%. La corriente que deja este colector tendrá una concentración de $2.25 (1.00-.98) = .045$ granos/pie³. Utilizando la primera línea trazada hasta la línea de $.045$ granos/pie³, se indicará que la partícula promedio es de 1.6 .



CARTA DE SYLVAN

APENDICE 1

Fuentes Contaminadoras

Categoría	Ejemplo	Contaminante
Trituración, Pulverización, Cribado. Demoliciones.	Plantas de Mezcla do. Remodelación Urbana.	Partículas minerales.
Molido.	Elevadores de granos.	
Quemado de Combustible.	Calefacción Plantas de Energía	Oxidos de Azufre Oxidos de Nitrógeno CO ₂ humo.
Motores de vehículos	Autos y camiones	Vapores orgánicos partículas de óxidos de metales.
Incineradores	Casas, Departamen tos y depósitos de basura al aire li bre.	Cenizas y fetidez.
Plantas Metalúrgicas.	Fundidoras, Refine rías de aluminio.	Humos metálicos (con, As, Zn) Fluoruros y óxidos de Azufre.
Plantas Químicas	Refinerías, Fábric as de pulpa, fertili zantes superfosfata dos y cementos.	Acidogulfhídrico óxidos de sulfuros fluoruros, vapores y partículas. organicas.

Recuperación de materiales	Scrap de metales, quemado de auto- partes Planta de chatarra	humo, vapores orgánicos, tizne olores.
Fumigadores	Control de plagas	Fosfatados orgánicos hidrocarburos deriva dos, arsénico.
Quema de campos	Quema de rastrojo y materiales.	humo, cenizas hollín.
Control para las heladas	Crisol de horno.	
Pinturas espreadas	Armado de autos apa riencia al acabado.	Hidrocarburos y o- tros vapores orgáni- cos.
Tintas	Fotogravado e impre- siones.	
Limpieza por solventes	Tintorería y quita - manchas.	
Preparación de Minerales	Triturado, pulveriza ción, cribado.	Berilio
Fabricación de Combustible	Difusión de gases	Fluoruros
Fisión Nuclear, reprocesa- miento de Combustible	Reactores nucleares Separaciones quimi- cas.	Argon 41. Iodo 131 Desechos radioactivos St-90 C _g -137, C-14
Pruebas atómicas	Explosiones atmosféri cas.	

APENDICE 2

Parámetros para selección de Colectores

En la corriente gaseosa:

Volumen
Temperatura
Presión
Viscosidad
Humedad
Corrosividad
Combustibilidad
Toxicidad
Propiedades eléctricas
y densidad

Características de la partícula:

Distribución de tamaños
Granulidad
Densidad y forma
Propiedades eléctricas
Salubilidad
Toxicidad
Abrasividad
Combustibilidad
Actividad
Propiedades de aglomeración
Propiedades de flujo

Planta:

Tipo
Costo
Tiempo
Tamaño
Tratamiento para el desperdicio
Restricciones de espacio
Recuperación de productos
Disponibilidad de agua
Recuperación de calor

Factores de operación:

Energía
Disponibilidad de operación
Condicionamiento del gas
Mantenimiento

Factores de construcción:

Terreno
Condicionamiento de terreno
Tipo de construcción
Instalación
Equipo auxiliar
Ingeniería
Arranque
Materiales de construcción

Selección de Equipo:

Tipo
Tamaño
Caída de presión
Energía
Personal
Espacio
Eficiencia requerida
Legislaciones

Factores económicos:

Costo de energía
Deshecho de basuras
Desperdicio utilizable
Costo de personal
Seguros
Capital
Condicionamiento de los gases
Impuestos

BIBLIOGRAFIA.

- Coulson, Richarson Chemical Engineering, Vol II, Pergamon Press, 1967.
- Foust, Wenzel y otros Principal Unit Operation. Ed Willey, 1960
- Hall, Farral, Rippen Encyclopedia of Food Engineering. The Avi Publishing. Co. New York, 1971.
- Mc Cabe and Smith Unit Operation of Chemical. Engineering, Mc Graw Hill, 1968
- Perry, John Chemical Engineerinis Hand Book. 4th edition, Mc. Graw Hill.
- Sargent, G. Dust Collection Equipment, Chemical Engineering, Jan, 1969
- Stone Charles Techniques for Separating Particulate Air Pollutant Control Equipment. University of Illinois, Illinois.
- Strauss, W Air Pollution Control. part I, Ed Willey - Interscience, New York, 1971.
- Varios Autores La Empresa Nacional ante la Contaminación, Ed. por la S.S.A., México 1974.
- Air Clean Up can Start Water Pollution Problems. Water and Wastes Engineering. Vol 10 No. 9,73
- Dust Collectors. Chemical Engineering, Jan 1969
- Air Pollution Control. Chemical Engineering Vol 70 No. 10, Environment Engineering, pg. 93
- Air Pollution Control, Chemical Engineering Oct, 1968
- Control of Particulate Emission, Institute of Air Pollution, North Carolina
- Visible Emissions Evaluation, Institute for Air Pollution, North Carolina.

BIBLIOGRAFIA SUGERIDA COMO CONSULTA PARA EL LECTOR

CAPITULO I

Cadle, R.D. Particle Size Determination. Interscience, New York, 1959

Hameon, Haines, Pon-
tereri. Rating Of Dust Collectors According to -
Dust Settling Velocities. Paper 60-45 APCA
Ohio, 1960

Particle size analysis, Bolletin No. G402 R
Western Precipitation Co., Calif.

Rosen, H.N. Irregularity Shaped, in sieving size analy-
sis of particles. Chem. Eng. Vol 9, 1972

CAPITULO II

Lapple, C.E. Fluid and Particle Mechanics, University of
Delaware, 1956

Strauss, W Industrial gas Cleaning, Pergamon Press, Ox
ford 1966, pp 144, 159

Removal os Particles Matter From. Gaseous -
wastes; gravity, inertial, sonic and ther-
mal collectors. Am. Petr. Inst., New York -
1959.

Double Two Stage Dust Collector, Industrial
Engineering, Vol. 6, No. 5 1974.

CAPITULO III

Continuos Bulk Filtration Centrifugals, Che-
mical Engineering Progres Vol 63, No. 10
p 115 1967

Industrial Dust Control, Boletin 109-A, the
W.W. Sly Manufacturing Co. Ohio.

Handling Solid Wastes Whith Centrifuges Chem
Eng. Prog. Sep, 1972, p 99-57

CAPITULO IV

What's New Unicaqe Filter Collector. Chem
Eng. Prog. Vol 63 No. 9 p 107, 1967.

Dahlstrom D.A. Plastics III Continuos Filtration Equip
Chem. Eng. Prog. Vol 65, No. 10, 1969



Image Analyzer for Filter Efficiency Studies.
Chem. Eng. Prog. Vol 68, No. 9, 76, 85, 1972

Walling, J

Ins and Outs of Gas Filter Bags. Chem. Eng.
Oct. 1970

Peters, J

Predicting Efficiency of Fine Particles Col-
lectors. Chem. Eng. April, 16, 1973

CAPITULO V

Castle, G.S.P.

Dielectric Collection Media in Electrostatic
Precipitation. Engineering Journal Oct, 1971

Castle, Incutel,
Bourqness

Ozone Generation in Positive Corona Electrostatic Precipitators. I.E.E.E., 1969

Henrich and Anderson.

Electro Precipitation. A Method for the
Recovery of Process Fumes and Dusts.
British Chem. Eng. pp 418-423.

Profile of a Field-Free Spin Resonance fine
of Powders in Precense of an External Elec-
tric Field. Journal of Cromatograpy, Vol. 91
1974.

CAPITULO VI

Semran, K.T.

Influence of Power Inputon Efficiency of
Dust Scrubber. Industrial and Engineering
Chemistry No. 11, 1958.

Stainmand, C.J.

Removal of Grift, Dust and Fume from Exhaust
Gases. Chem. Eng. Process, Dec. 1965

Sakol, S.L.

Constrution Materials for Wet Scrubbers. Chem
Eng. Prog. Vol 68, No. 11, 1972.

Design and Aplication of Jet Venturi Fume
Scrubbers, Croll-Reynolds Co., Inc. New Jer-
sey. Boletin F 571.

Design of Venturi Wet Scrubbers. Chem. Eng.
Prog. Vol 68, No. 11, 1972

Dust Collection Study. The W.W. Sly Manufac-
tury Co. Ohio.

CAPITULO VII

Alonso, J.R.

Estimating the Costs of Gas Cleaning Plants

- Chem. Eng. Dec. 1971, p 86
- Barber, J.C. The Cost of Pollution Control. Chem. Ing. Prog. Vol 64, No. 9, 1968 p 28
- Forbes, M.C. Cost Accounting for Pollution Control. Hydrocarbon Proc. Oct. 1969, p 145
- Celenza, G.J. Designing Air Pollution Control Systems. Chem Eng. Prog., Vol 66, No. 11, pp 31-40
- Peters, J Ibid.
- Shah, I.S. Pulp Plant Pollution Control. Chem. Eng. Prog. Vol 64, No. 9, p 66, 1968.
- Stern, A.C. Air Pollution Abstrac, Academic. Press, 1968
- Estimating Operation Cost for Pollution Control Equipment. Chem. Eng. Prog. vol 68, - No. 9, 1972 pp 78-85.
- How to do Post-Installation Appraisals. Hydrocarbon Proc. Vol. 52, No. 4, 1973, pp -- 203-211
- Preliminary Cost Estimating. Hydrocarbon - Proc. vol 52 No. 4, 1973, pp167-69.
- Control Techniques for Particulate Air Pollutants. National Air Pollution Central - Admin. Pub No. AP-51, U.S. 1969.
- Environmental Engineering. Desk book Issue, - Chem. Eng. Oct 14, 1968.