

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
ESCUELA DE POST GRADO**

**PROGRAMA DE MAESTRIA EN INGENIERIA DE
PROTECCIÓN AMBIENTAL**

ASIGNATURA IP 102 :

CONTAMINACION ATMOSFERICA

TRABAJO ENCARGADO:

**"SEPARADORES MECANICO DE PARTICULAS
EN GASES"**

DOCENTE : DR. JOSE RODRÍGUEZ LICHTENHELDT

GRUPO DE TRABAJO :

**Ing° ANGEL APARICIO DIAZ
Arq. RODOLFO ARBULU CHEREQUE
Ing° JOSE ARBULU RAMOS**

**LAMBAYEQUE
JULIO - 2000**

“SEPARADORES MECÁNICOS DE PARTICULAS EN GASES”

INDICE

1.0 GENERALIDADES

- 1.1 Control de Partículas**
- 1.2 Tipos de Contaminantes**
- 1.3 Técnicas de Control**

2.0 METODOS PARA ELIMINAR LOS CONTAMINANTES EN FORMA DE PARTICULAS

- 2.1 Factores de Elección del Método**
- 2.2 Métodos**

3.0 SEPARACION EN CAMARAS DE DECANTADORES POR GRAVEDAD

- 3.1 Cámaras de Sedimentación**
- 3.2 Velocidad de Caída de las partículas sólidas suspendidas en el gas.**
- 3.3 Ventajas**
- 3.4 Desventajas**

4.0 SEPARACION POR INERCIA

- 4.1 Los Colectores de Inercia**

5.0 SEPARACION DE FUERZA CENTRÍFUGA O CICLONES

- 5.1 Ciclones**
- 5.2 Campo de Aplicación**
- 5.3 Factores para el Diseño o Proyecto de Ciclones**
- 5.4 Diseño del Separador Ciclonico**
- 5.5 Ventajas**
- 5.6 Desventajas**

6.0 BIBLIOGRAFIA

“SEPARADORES MECANICOS DE PARTICULAS EN GASES”

1.0 GENERALIDADES

1.1 Control de Partículas

La primera forma ampliamente reconocida de contaminación del aire fue el humo, partículas finas de carbono que se originan de la ignición incompleta de combustibles, y ceniza inorgánica que procede de la materia no combustible que se encuentra dentro del combustible.

La eliminación de partículas de los gases que son liberadas a la atmósfera es de suma importancia en el control de la contaminación.

1.2 Tipos de Contaminantes

En lo que respecta a los procesos de combustión, por ejemplo, podemos identificar tres tipos de contaminantes:

- 1.- Los productos resultantes de una combustión incompleta, tales como los hidrocarburos, el CO y las partículas combustibles.
- 2.- Los contaminantes originados a partir de las impurezas contenidas en los carburantes, tales como los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno.
- 3.- Los óxidos del nitrógeno resultantes de las reacciones a alta temperatura entre N_2 y O_2 .

1.3 Técnicas de Control

Para limitar la formación y la emisión de contaminantes desde una fuente, existen tres clases de **técnicas de control**:

- 1.- Modificación del proceso básico con el objeto de conseguir un funcionamiento más limpio.
- 2.- Sustitución de los carburantes utilizados en los procesos de combustión por otros más limpios.

3.- Lavado de gases efluentes antes de su emisión a la atmósfera.

La técnica elegida en cada caso dependerá del contaminante considerado, del proceso responsable de la formación de este contaminante y del nivel de control exigido.

La realización de diversas modificaciones del proceso original, tales como las encaminadas a conseguir una combustión más eficaz, y a modificar la evolución de la relación tiempo - temperatura de la mezcla, pueden desempeñar un papel clave cuando se trata de eliminar las emisiones de tipo 1 y 3.

La sustitución de carburantes por otros más limpios constituye la principal estrategia de lucha contra los contaminantes del tipo 2. El lavado de los gases efluentes es una estrategia básica aplicable en principio a los tres tipos de contaminantes que hemos mencionado.

De las tres técnicas de lucha, las técnicas de lavado de gases han sido probablemente las más estudiadas.

El tipo de método de lavado de gases adoptado en cada caso depende del o de los contaminantes específicos que deben eliminarse.

2.0 MÉTODOS PARA ELIMINAR LOS CONTAMINANTES EN FORMA DE PARTÍCULAS

2.1 Factores de Elección del Método

El tipo de material suspendido en el gas puede ser sólido y líquido, las características que deben tenerse en cuenta para escoger el mejor sistema de eliminación son las siguientes:

El método elegido depende de varios factores:

- La naturaleza de la operación de la planta, si la emisión es cíclica o continua, y si es posible que varíe a diferentes horas del día.
- Naturaleza de las partículas , sus dimensiones, forma, densidad, estado
- Propiedades abrasivas de los sólidos.
- Composición Química.
- Conductividad eléctrica.
- Propiedades del gas (Viscosidad)

2.2 Métodos

La tecnología moderna ofrece varios métodos para retener partículas y eliminar gases. Dentro de los equipos para el control de partículas se encuentran los siguientes:

- Separación en cámaras decantadoras por gravedad
- Separación por Inercia
- Separación en cámaras ciclónicas (ciclones)
- Separadores húmedos (scrubbers)
- Precipitadores electrostáticos
- Separación por filtros de tejido (filtros de mangas)

La eficiencia en la captación de partículas es mínima en las cámaras de sedimentación y máxima en los filtros de tejidos, pudiendo llegar estos últimos a unos rendimientos de captación del 99.9%

3.- SEPARACIÓN EN CÁMARAS DECANTADORAS POR GRAVEDAD

3.1 Cámaras de Sedimentación

Los aparatos de gravedad o cámaras de sedimentación, son los equipos más simples que utilizan para separar el polvo la única fuerza del peso de las partículas, en un flujo gaseoso de débil velocidad.

En la figura podemos ver en alzado y en planta una cámara de sedimentación.

Estas cámaras dispuestas horizontalmente en el trayecto del gas, están generalmente constituidas por un simple ensanchamiento del conducto, de manera que provoca la reducción de la velocidad del efluente y de esta forma, el depósito de las partículas.

El rendimiento de estos equipos es importante para las partículas gruesas superiores a 50 μm , disminuye rápidamente cuando la velocidad del flujo aumenta. Estos aparatos están actualmente, abandonados.

Estos equipos se utilizan por lo general, como pre recolectores de un equipo de eficiencia alta.

3.1 Velocidad de Caída de las partículas sólidas o líquidas suspendidas en el gas.

Según **La Ley de STOKES** para partículas y gotas pequeñas:

$$W = \phi^2 (\delta_p - \delta_g) / \eta$$

Donde:

W = velocidad de Caída libre fina.

ϕ = diámetro de la partícula.

δ_p = densidad de la partícula.

δ_g = densidad del gas acarreador.

η = viscosidad del gas acarreador.

Para una partícula de 100 μm de diámetro con densidad de 1 000 Kg / m^3 caerá a una velocidad de 0.25 m/s y las partículas de 10 μm de diámetro a una velocidad de 0.003 m/s.

En la práctica, esto significa que el método sólo es útil para remover partículas más grandes que 100 μm de diámetro, las partículas más pequeñas constituyen la vasta mayoría de las partículas problema debido a su capacidad de mantenerse flotando en el aire, por ello se deben utilizar otros métodos para su remoción.

El gas se expande uniformemente para llenar la altura H de la cámara que tiene una longitud L .

$$L = HV / W$$

Por debajo de la cámara de sedimentación se hallan las tolvas en que cae el polvo cuando abandona la corriente gaseosa, en éstas tolvas no existe flujo y, por lo tanto, tras haber caído el polvo por debajo del nivel de las mismas queda retenido en la cámara de sedimentación.

Para fines prácticos, este método está limitado a la recogida de partículas mayores de 100 micras.

3.3 Ventajas

- Costo de instalación bajo.
- Costo de energía bajo.
- Excelente seguridad.
- Puede fabricarse de casi cualquier material.

3.4 Desventajas

- Ocupa mucho espacio.
- Eficiencia de recolección muy baja.

4.0 SEPARACIÓN POR INERCIA

4.1 Los Colectores de Inercia

Los colectores de inercia se basan en el cambio repentino de la dirección del flujo de gas, entonces la partícula tiende a continuar durante un tiempo corto en la dirección original del flujo de gas y pasa a un espacio muerto donde puede sedimentar, consiguiéndose mayor eficacia de separación que en el caso anterior.

Estos aparatos provocan la separación del polvo bien por efecto simple de la inercia. Ver figura, o conjugando el efecto de la inercia con el impacto del efluente a depurar sobre un blanco placas perforadas, celosías etc., ver figura.

5.0 SEPARACIÓN DE FUERZA CENTRIFUGA O CICLONES

El presente trabajo abarca el estudio y diseño de uno de los separadores mas utilizados en la industria, para la separación de partículas sólidas: El Separador Ciclónico.

5.1 Ciclones

Los ciclones separan partículas de una corriente de gas, al transformar la velocidad de la corriente de entrada de un vórtice exterior descendente y un vórtice interior ascendente, al girar de este gas, genera una fuerza centrífuga que separa las partículas sólidas o líquidas de él, y el gas limpio sale por la parte superior del ciclón a través del vórtice interior ascendente.

Los dos tipos principales de ciclones son los de aspas y el de espiral. La única diferencia entre los dos, es el método de alimentación del gas en la cubierta cilíndrica, para impartir el movimiento giratorio suficiente.

La eficiencia de un ciclón (porcentaje de partículas recogidas en peso) es una función de la velocidad radial V_r que puede ser expresada por la fórmula siguiente:

$$V_r = 2 V_t^2 (\delta_p - \delta_g) a^2 / 9 \eta r_a$$

Siendo :

$$V_t = K_t [\Delta P / \delta_g]^{0.5} \quad y$$

$$\delta_g = f [WP / T]$$

En estas expresiones:

- V_r = Velocidad radial de las partículas
- V_t = Velocidad tangencial de las partículas
- η = Viscosidad del gas portador
- r = Radio medio de rotación
- δ_p = Densidad de las partículas
- δ_g = Densidad del gas portador
- a = Radio medio de las partículas
- K_t = Constante dependiente del ciclón
- P = Presión del gas portador
- T = Temperatura absoluta del gas portador
- W = Peso molecular del gas

La eficacia del ciclón aumenta pues proporcionalmente a la velocidad tangencial y en razón inversa del radio de curvatura de la trayectoria. Se tiene pues interés en aumentar la velocidad del fluido y en reducir el diámetro del aparato.

Es por lo que, se utiliza más a menudo los multiciclones constituidos por un conjunto de ciclones de pequeñas dimensiones, trabajando en paralelo de manera que aseguran un tratamiento suficiente.

Los ciclones están destinados a la depuración de gases que transporta partículas de polvo de 10 μm y de un mayor tamaño.

Los ciclones convencionales pocas veces remueven partículas con una eficiencia mayor del 90%, excepto si el tamaño de las partículas es de 25 μm o mayor.

Un ciclón es en esencia una cámara de sedimentación en la que la aceleración debida a la gravedad es reemplazada por una aceleración centrífuga. En las condiciones de trabajo comúnmente empleadas en la practica la fuerza separadora centrífuga o aceleración varía de cinco veces de la gravedad en los ciclones de diámetro muy grande y baja resistencia, hasta 2 500 veces la gravedad en los muy pequeños y resistencia elevada.

5.2. Campos de aplicación

Los separadores de ciclón ofrecen uno de los procedimientos menos costosos para separar polvos o nieblas desde los puntos de vista de su funcionamiento y de la inversión. Los ciclones se han empleado para separar sólidos y líquidos de gases y sólidos de líquidos y pueden trabajar a temperaturas tan altas como 1000°C. Y presiones tan grande como 500 atm. Los ciclones para separar sólidos o líquidos de gases se aplican por lo general cuando se trata de partículas de un diámetro superior a 5 μm . A menos que se empleen ciclones muy pequeños, el rendimiento es bajo sí la mayor parte del material suspendido es de diámetro inferior a 5 μm . para separar partículas de un diámetro superior a 200 μm . pueden emplearse ciclones, pero las cámaras de sedimentación por gravedad suelen dar un resultado satisfactorio y sufren menos por efecto de la abrasión. En casos especiales, en que el polvo muestre un grado elevado de aglomeración, o cuando se trate de concentración de polvo muy grande (más de 228 g/m³), los ciclones separan polvos de partículas de mucho menor tamaño. En ciertos casos se han obtenido rendimientos de hasta 98 por ciento con polvos que tenían un tamaño final de partícula de 0.1 a 2.0 μm . debido al efecto predominante de aglomeración

5.3. Factores para el diseño o proyecto de Ciclones

Los ciclones se proyectan por lo general para que cumplan con determinadas limitaciones concretas de caída de presión. Para las instalaciones ordinarias, trabajando aproximadamente a la presión atmosférica, las limitaciones impuestas por

los ventiladores fijan una caída de presión máxima admisible que corresponda a una velocidad de entrada en el ciclón comprendida entre 6 y 21 m/seg. En consecuencia, los ciclones suelen diseñarse para una velocidad de entrada de 15m/seg., Aunque no es necesario atenerse rigurosamente a esta cifra.

El factor primordial que puede utilizarse en el diseño para regular el rendimiento de separación es el diámetro del ciclón; trabajando con una caída de presión fija, los equipos de diámetro menor tienen el rendimiento más alto. Sin embargo, los ciclones de pequeños diámetros exigen varios aparatos en paralelo para la capacidad específica. En esos casos, los diferentes ciclones pueden descargar el polvo en una tolva receptora común. Se acostumbra a proyectar un solo ciclón para una capacidad dada, recurriendo a varios en paralelo solamente si el rendimiento de separación previsto es inadecuado para un sólo aparato. Los ciclones en serie no están por lo general justificados.

La reducción del diámetro del conducto de salida de los gases aumenta el rendimiento de separación y la caída de presión. Aumentando la longitud de un ciclón se admite por lo general que aumenta el rendimiento de separación, aunque no existen datos seguros a este respecto.

Un ciclón funcionara igualmente bien en el lado de aspiración o en el de impulsión de un ventilador si el receptor de polvo es hermético. Probablemente, la causa más importante del mal resultado de los ciclones en algunos casos es, sin embargo, las infiltraciones de aire en la salida de polvo del ciclón. Para la extracción continua del polvo separado, puede emplearse una válvula rotativa en estrella, una de doble cierre o un transportador de tornillos sin fin, este ultimo solamente con polvos finos; para los colectores de niebla o de liquido pulverizado se usa por lo general un tubo de cierre liquido a manera de un tubo barométrico. Sea como fuere, en esencial que la capacidad de descarga y recepción sea suficiente para impedir que el material separado se acumule en el cono del ciclón.

Caída de Presión

La caída de presión en un ciclón y las perdidas por razonamiento conviene expresarlas en función de la carga de velocidad basada en el área inmediata a la entrada del ciclón.

La carga de velocidad en la entrada, expresada en centímetros de agua, está relacionada con la velocidad media de entrada en los gases y su densidad por la ecuación:

$$H_{vi} = 0.00512 \rho V^2_c$$

La pérdida por razonamientos en el ciclón es una medida directa de la presión estática y de la potencia que debe desarrollar el ventilador y está relacionada con la caída de presión por la ecuación.

$$F_{cv} = \Delta p_{cv} + 1 - \left(\frac{4 A_c}{\pi D_e} \right)^2$$

Aunque se han hecho algunas tentativas para calcular la pérdida por razonamiento o la caída de presión partiendo de consideraciones fundamentales, ninguna ha dado resultados muy satisfactorio, ya que las hipótesis aceptadas no consideran la compresión en la entrada, el rozamiento en las paredes y la contracción en la salida, todas las cuales ejercen un efecto considerable.

Las pérdidas por rozamiento en los ciclones encontrados en la práctica pueden variar entre 1 y 20 cargas de velocidad en la entrada, según las proporciones geométricas. Sin embargo, para un ciclón de proporciones geométricas concretas, F_{cv} y ΔP_{cv} son prácticamente constantes, independientemente de las dimensiones reales del ciclón.

RENDIMIENTO DE SEPARACION

La siguiente ecuación para el diámetro mínimo de partícula que será completamente separable de la corriente gaseosa en un ciclón:

$$D_{p.min.} = \sqrt{\frac{9 \mu B c}{\pi N t V c (P_s - P)}}$$

Las partículas más pequeñas se separan en un grado proporcional a sus distancias iniciales a la pared. Su deducción se basa en la ley Stokes, suponiendo que la corriente gaseosa de un número fijo de vueltas con una velocidad constante en espiral sin ninguna acción de mezcla o turbulencia. Las correlaciones de Rosin, Rammler e Intelman pueden presentarse en la forma indicada en la figura 1, que da el probable rendimiento de separación para un tamaño de partícula dado, expresado por una relación al tamaño del corte, definiéndose por la ecuación.

$$D_{pc} = \sqrt{\frac{9 \mu Bc}{2\pi NcVc(Pc - P)}}$$

Este tipo de gráfica es en esencia una forma generalizada del gráfico del rendimiento fraccional encontrado frecuentemente en la literatura comercial.

5.4 Diseño del separador Ciclónico

Función: Permite la separación de sólidos suspendidos en gases ó líquidos.

Diseño:

Diámetro de partícula: 100 – 1000 μ

Humedad del aire: 70%

Velocidad de entrada del aire: 50 pie/s

Densidad del fluido: 1,29 Kg./m³

Velocidad del sólido: 58,36 m/s

$$Q = A \chi V Q$$

$$Q = m / s$$

$$m = 3090,17 \text{ kg} / h$$

$$Q = \frac{3090,17}{1,29} = 2395,48 \text{ m}^3 / h$$

$$Ac = \frac{0,665 \text{ m} / s}{15,24 \text{ m} / s} = 0,0044 \text{ m}$$

Diámetro del ciclón

$$D_c = \frac{4A}{\pi}$$

$$D_c = \sqrt{\frac{4(0,044)}{3,1416}}$$

$$D_c = 0,2367 \text{ m}$$

Ancho de entrada de ciclón

$$B_c = \frac{D_c}{4}$$

$$B_c = \frac{0,2367 \text{ m}}{4} = 0,06 \text{ m}$$

$$D_c = \frac{D_c}{2}$$

$$D_e = \frac{0,2367 \text{ m}}{2} = 0,12$$

Cuerpo recto del ciclón, altura o longitud del ciclón

$$L_c = 2D_c$$

$$L_c = 2(0,2367 \text{ m}) = 0,473 \text{ m}$$

$$S_c = \frac{D_c}{8}$$

$$S_c = \frac{0,2367 \text{ m}}{8} = 0,0295 \text{ m}$$

Longitud del cono del ciclón

$$Z_c = 2 D_c$$

$$Z_c = 2(0,2367 \text{ m}) = 0,473 \text{ m}$$

Diámetro de la carga del ciclón

$$J_c = \frac{D_c}{4}$$

$$J_c = \frac{0,2367}{4} = 0,06 \text{ m.}$$

Caída de presión del ciclón

$$P_c = K \left(\frac{D_c}{D_e} \right)$$

$$K = 3,2$$

$$P_c = 3,2 \left(\frac{0,235}{0,12} \right) = 12,27 \text{ pulg } H O$$

$$P_c = 0,44 \text{ lb / pulg}$$

5.5 Ventajas

- Son aparatos poco costosos.
- Los gastos de funcionamiento y de mantenimiento son mínimos.
- Simple y reproducible debido a la ausencia de partes en movimiento.
- Sus interiores lisos impiden la acumulación de polvo.

- Muy confiable para condiciones rudas de operación (cargas grandes, polvos abrasivos, temperaturas altas, períodos largos de operación)

5.6 Desventajas

- Para una eficiencia alta, se requiere un tamaño grande, o una caída de presión muy alta.

6.0 BIBLIOGRAFIA

- 1.- BROWN GEORG GRANGER. “Operaciones Básicas de la Ingeniería Química”, España, 1965, Pág. 127 - 129.
- 2.- WARREN L. McCABE - JURIAN C. SEMITH. “Operaciones Básicas de Ingeniería Química” , Editorial Mc Graw–Hill, Cuarta Edición, 1991. Pág. 1040 - 1042.
- 3.- JAMES P. CASEY. “Pulpa y Papel. Química y Tecnología Química”, Volumen 2, Editorial Limusa, Primera Edición, Mexico 1991. Pág. 608 – 611.
- 4.- ULRICH GAEL. “Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química”. McGraw-Hill, Primera Edición, México 1992. Pág. 242 – 243.
- 5.- J.HECTOR GUTIERREZ. “Contaminación del Aire : Riesgos para la Salud” . México,D.F.
- 6.- W.STRAUSS. “Contaminación del Aire : Causas, efectos y Soluciones “ México.
- 7.- RAMON SANS FONFRIA. “Ingeniería Ambiental : Contaminación y Tratamiento ”. España.