



FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

TITULO:

"Desarrollo del Diseño Fluidodinámico de un Filtro de Mangas (Tipo Pulse - Jet) para Partículas Minerales de Origen Industrial"

AUTORES:

Germán Peralta Castillo¹, Alfredo Barriga²

- ¹Ingeniero Mecánico 2001
- ²Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1974, PhD WSU, 1979, Profesor de ESPOL desde 1971

GUAYAQUIL - ECUADOR

RESUMEN:

El presente trabajo desarrolla el diseño fluidodinámico de un filtro de mangas para partículas minerales de origen industrial con su utilización en el control de la contaminación industrial del aire y como medio de recuperación de materia prima o de producto terminado, tratando de ajustar este diseño a las condiciones locales y a las necesidades de nuestro país.

La primera parte versa sobre los fundamentos teóricos de la dinámica de partículas y del mecanismo de filtrado necesarios para determinar la forma y el método de captación del material particulado.

Para desarrollar la evaluación de los criterios de diseño se realizarán las mediciones de las variables de entrada necesarias tales como caída de presión, temperatura, caudal, concentración de partículas, masa, eficiencia de filtrado, etc. Y así obtener el mejor diseño posible que cumpla con las expectativas de utilización. Finalmente los resultados obtenidos en esta división del diseño serán aplicados al desarrollo del diseño mecánico determinando las geometrías reales del mismo.

INTRODUCCIÓN:

Este trabajo se limita al control de contaminación del aire debido a fuentes estacionarias, particularmente por la industria del cemento. Durante el proceso de transporte (por métodos mecánicos ó a través de aire), almacenamiento (silos), descarga de gases de combustión (por chimenea) y distribución del cemento (máquinas envasadoras), se producen escapes de material mineral particulado hacia la atmósfera, estableciendo estos puntos como fuentes de emisión puntuales que determinan la baja calidad del aire ocasionando trastornos graves en el sistema respiratorio de las personas y además esta alta concentración determina pérdidas de materiales o materia prima que se desea recupera para su reciclaje al proceso, obteniendo una mayor optimización de los minerales necesarios para su fabricación. Por consiguiente se tiene los siguientes problemas puntuales.

- Alta concentración de partículas minerales en atmósferas industriales
- Pérdida de producto o materia prima debido al transporte de material

OBJETIVOS:

Considerando los efectos nocivos de la mala calidad del aire generada en atmósferas industriales por fugas de polvos y la perdida de este considerada como materia prima se plantean los siguientes objetivos:

- Controlar la contaminación industrial del aire
- Recuperación de materia prima o de producto terminado durante el proceso

TEORIA DE PARTICULAS

El comportamiento de las partículas con diámetro característico alrededor de $11\ \mu\text{m}$ en un fluido es el de una esfera sumergida, el cual experimenta fuerzas de corte y de presión que producen la fuerza neta debido a la acción del fluido; esta fuerza se la separa en una fuerza

paralela al movimiento (fuerza de arrastre) y en otra perpendicular (fuerza de sustentación o buoyantes), pero debido que la densidad de la partícula es mucho mayor que la densidad del aire esta fuerza es ignorada en el análisis de fuerzas.

La separación del fluido (aire) por la presencia de un gradiente de presión adverso prohíbe la determinación analítica de la fuerza que actúa sobre el cuerpo, por lo que hay que apelar a coeficientes medidos experimentalmente para la obtención del arrastre. Para reynolds menores a 1 no hay separación de flujo, la estela es laminar y el arrastre es predominantemente de fricción produciendo un estancamiento de las partículas para su mejor captación, en esta zona se aplica:

- Ley de Stokes: flujo laminar
- Diámetro aerodinámico: diámetro de una esfera con densidad de 1 g/cm^3 que cae libremente en un flujo laminar a la misma velocidad terminal que la partícula no esférica.

Una vez descrito el comportamiento de partículas muy pequeñas en el aire es necesario seleccionar el equipo de control adecuado para su captación considerando los requerimientos de alta eficiencia, funcionamiento continuo y poco espacio disponible. Evaluando estas variables de diseño se selecciona la filtración por tejido con el método para la captación de polvo y el sistema de limpieza Pulse - Jet para la recuperación de materia prima; por consiguiente el *Filtro de Mangas con limpieza Pulse - Jet* es el equipo adecuado para la reducción de concentración de polvo y recuperación de este como materia prima en el sitio donde se produce el exceso de fugas.

PROCESO DE FILTRACIÓN

La captación del polvo en las mangas se produce por tres mecanismos; el primero es la *impactación por inercia* asociada a partículas relativamente grandes que mantienen el recorrido del gas y chocan directamente a pesar que las partículas pequeñas tienden a desviarse; el segundo mecanismo es la *intersección directa* que es para partículas más pequeñas las cuales tienden a seguir las líneas de flujo laminar que convergen hacia abajo, sin embargo se quedan alrededor del elemento interceptor; el último es la *difusión* en partículas muy pequeñas, menores a una micra dándose la colección por el movimiento browniano debido al choque con las moléculas del aire.

En una unidad de filtro de mangas el paso de gas con concentración de partículas a lo largo de la superficie de la tela se produce radialmente, causando que la materia particulada sea recolectada en la cara de contacto de la tela y el flujo de gas limpio salga a la atmósfera; las mangas de tela se encuentran dispuestas en forma de cilindros, con un número de unidades individuales de casilladas en grupos. Generalmente a los filtros de mangas son llamados casas de bolsas (baghouse) ya que la tela está configurada en forma de bolsas.

El filtro opera cíclicamente y alterna entre las fases de filtrado (duraciones relativamente larga) y de limpieza (duraciones cortas), con cada ciclo de limpieza se remueve al menos parte de la capa de polvo atrapada en la bolsa durante la filtración y se aflojan algunas partículas que permanecen en la tela. Cuando se reinicia la filtración, la capacidad de filtrado es disminuida porque se pierde parte de la capa de polvo; por consiguiente las partículas sueltas son forzadas a ingresar a través del filtro por el flujo de gas que ingresa provocando

una leve fuga de estas; a medida que se capturan más partículas la eficiencia de filtración aumenta hasta el siguiente ciclo de limpieza, la capa de polvo o pastel de polvo (cake) que se forma en la bolsa es principalmente responsable para obtener altas eficiencias tales como de 99 a 99.9% para telas nuevas la descripción del proceso de filtración se ilustra en la Figura 1.

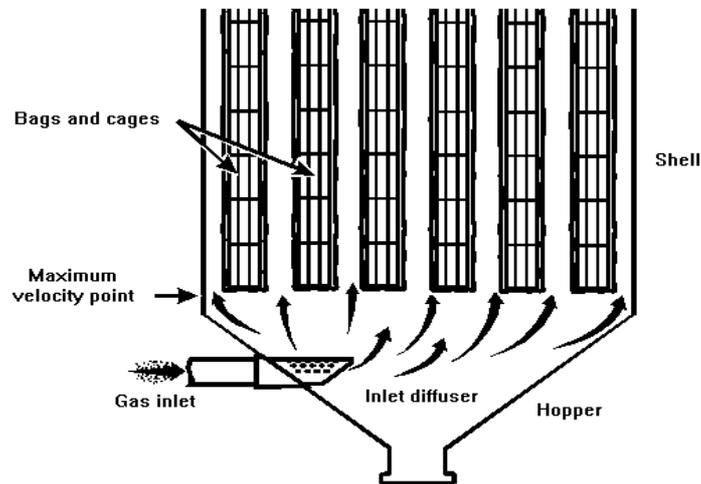


Fig. 1 Proceso de Filtración

La concentración de partículas a la salida del filtro es casi constante mientras que es más probable que la eficiencia global varíe con la carga de partículas; por esta razón, las casas de bolsas pueden considerarse como equipos con concentración constante a la salida y no como equipos de eficiencia constante.

La mayor parte de la energía usada para la operación del sistema aparece como caída de presión a través de las bolsas, estructura asociada y ductos; la aplicación práctica de los filtros de mangas requiere el uso de una gran superficie de tela para evitar una caída de presión inaceptable a través de las bolsas; el aumento de la caída de presión total se la expresa a través del arrastre por medio de la ecuación experimental que se la obtiene del *modelo lineal de filtración* y además describe la formación del pastel en las mangas:

$$S = K_e + K_s W \quad \text{Ec. 1}$$

donde :
 K_e = valor extrapolado del filtro limpio
 K_s = la pendiente, constante de las partículas de polvo, gas y tejido implicados .
 W = densidad de área del pastel de polvo

El tamaño de la casa de bolsas para una unidad en particular se determina por el cálculo o selección de la relación del flujo volumétrico de aire a la superficie del tejido llamada "velocidad de filtración" (relación aire a tela) que depende de la carga (concentración), características de la materia particulada y del método de limpieza utilizado. El funcionamiento de las casas de bolsas está determinado entre otros factores, por la tela seleccionada, frecuencia de limpieza, eficiencia de colección y eficiencia de recuperación.

METODO DE LIMPIEZA PULSE - JET

Este método de limpieza usa aire comprimido que pasa por el interior de cada manga a través de un venturi o tobera creando un aire secundario para generar una onda de choque que provoque el sacudimiento violento de la tela y desprender la capa de polvo formada. Los impulsos de aire comprimido son procedentes de un tubo inyector situado por encima de las mangas; este tubo está sujeto y cerrado por un extremo y abierto en la parte contraria que sale al extremo de la cámara de aire limpio para conectarse a la válvula solenoide o electroválvula, y esta a su vez conectadas al controlador de tiempo "timer", el cual regula el intervalo entre disparos y duración de los mismos.

La masa de partículas desprendidas de las mangas es recolectada en la tolva de recolección, pudiendo ser reciclado al proceso por un mecanismo de transporte como un tornillo sinfí o por un sistema neumático, etc.

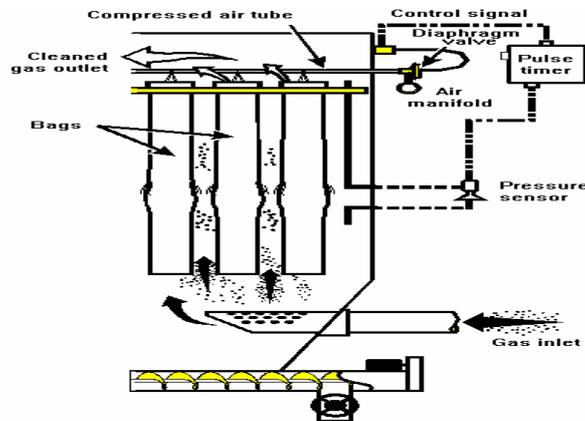


Fig 2 Funcionamiento del Filtro Pulse - Jet

En el proceso de limpieza no se necesita cortar el ingreso de gas al filtro ya que el pulso de aire se aplica durante unos pocos instantes y no afecta el libre paso de gas, dándose un *ciclo de filtración continua*. La filtración en los filtro pulse - jet llamada de "polvo-filtro" se da al inicio del proceso de filtración en una filtración profunda, es decir, la formación del pastel de polvo es mucho mas rápida, luego cambia a filtración de pastel que inevitablemente es el resultado de la recolección del polvo en el filtro.

Durante la operación de limpieza continua de las mangas, sólo un fragmento pequeño del polvo removido de la bolsa cae en la tolva de colección, el resto del polvo desalojado será redepositado en la bolsa por el flujo de gas que sigue ingresando al filtro. La capa de polvo redepositada tiene diferentes características de caída de presión que la del polvo últimamente depositado que son descritas a través de la ecuación empírica:

$$\Delta P = (PE)_{\delta_w} + K_S W V_f \quad \text{Ec. 2}$$

donde: $\Delta P =$ la caída de presión (pulg. H₂O)
 $V_f =$ la velocidad de la filtración (ft/min)

$$(PE)_{\delta w} = [S_e + (K_2)_c W_c] V_f$$

Una ventaja de este sistema es la reducción de tamaño de la casa de bolsas (baghouse) permitiendo usar menos tejido debido a su alta relación gas - tela y no teniendo que construir un compartimento extra para la limpieza fuera de operación; sin embargo, esta alta relación causa caídas de presión elevadas que aumentan los costos de operación, pero son compensados con la reducción de costo en el tamaño y en la aplicación requerida de ciclo continuo.

DISEÑO DEL FILTRO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Para poder realizar el diseño del filtro pulse – jet es necesario conocer las condiciones de entrada del flujo de aire que se va a filtrar, como son: su caudal, la concentración de partículas en dicho caudal, su temperatura a la que se encuentra, el diámetro de partículas representativo y el tipo de partículas que se va a coleccionar; estas condiciones están en función del lugar donde va a operar dicho filtro. De acuerdo a dicho lugar seleccionado para su utilización, estas condiciones son las siguientes:

- Caudal requerido = 3221 ft³/min
- Concentración = 0.5 gr/ft³
- Temperatura del gas = 140 °F
- Diámetro de partícula = 11µm
- Tipo de polvo = cemento

Sin embargo, para poder desarrollar la caída de presión real en el filtro diseñado es necesario obtener las constantes experimentales K_e y K_s a través de la prueba de filtración que se la realiza en un prototipo construido manteniendo la similitud geométrica con el filtro real y adicionando un sistema de control de lazo abierto para controlar los tiempo de filtración y limpieza. El gráfico de dicha prueba describe la formación del pastel de polvo en las mangas del cual se obtienen las constantes anteriores:

COMPORTAMIENTO DE FILTRO SIN LIMPIEZA

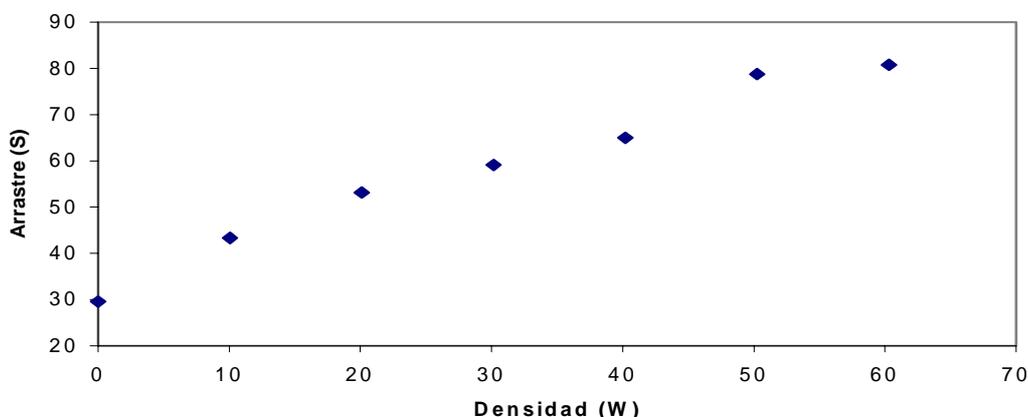


Fig. 3 Formación del Pastel

De la extrapolación se obtiene el valor de Ke: **Ke = 35 Pa-min / m**

De la pendiente de la curva linealizada se obtiene Ks:

$$K_s = \frac{(59.11 - 43.35)}{(30.15 - 10.05)} = 0.784 \quad \mathbf{Ks = 0.784 Pa-min-m / g}$$

Por consiguiente los resultados del filtro diseñado son:

Tabla I

CARACTERISTICAS DE DISEÑO	RESULTADOS
Velocidad de Filtración	8.11 ft /min
Area Neta de Filtración	397.2 ft ²
Tipo de Tela	Polyester de 16 onzas
Dimensión Manga - Canastilla	φ = 4.5 plg.; L = 60 plg.
Area de Cada Manga	5.89 ft ²
Número de Mangas	68
Numero de Válvulas Solenoides	7
Tipo de Válvula	VXF2160 / 2V250-25AC110V
Caída de Presión Total	3 plg. H2O
Potencia del Ventilador	2.5 Hp

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

1. A través del desarrollo experimental se llega a constatar que la eficiencia de operación del filtro es del 93 % indicando una excelente colección de partículas minerales dentro del mismo que determina por tanto un control adecuado de emisión de partículas hacia la atmósfera.
2. Se tiene además una eficiencia promedio de recolección en la tolva del 69.22 % quien indica una muy buena recuperación de materia prima que puede ser redepositado al proceso; siendo muy atractiva su utilización como parte de este en la industria. En síntesis, el equipo diseñado controla las emisiones de partículas en un 93 % y recupera materia o producto terminado en un 69.22 % con 3 plg de H2O de caída de presión de gasto que determinan un buen funcionamiento y un consumo adecuado de energía reflejado en los 2.5 Hp de potencia del ventilador seleccionado.
3. Considerando las eficiencia obtenidas y el gasto de energía, se recomienda el uso de este tipo de equipo de control durante el proceso de producción como medio de recuperación y control para cualquier tipo de industria productora de polvos como por ejemplo: producción de cemento, de harinas, arenas (canteras), etc. y en otras empresas que no producen polvos pero que generan partículas como las acerías (partículas metálicas), papeleras, etc. en las cuales el uso del filtro es recomendado para el control de emisión de dichas partículas.

REFERENCIAS:

a) Tesis

1. PERALTA GERMÁN, "Cálculo y Diseño Fluidodinámico de un Filtro de Mangas (Tipo Pulse - Jet) para Partículas Minerales de Origen Industrial" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, ESPOL, 2001).

b) Libro

2. COOPER AND ALLEY, Air Pollution Control, Waveland Press Inc., Second Edition, 1994.

c) Capítulo de Libro

3. EPA, Diseño de Equipos de Control de Contaminación, Capítulo Cinco, Filtros de Tejido, 1998.