

**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA MECANICA**  
**CON MENCIÓN EN “DISEÑO DE MAQUINA”**

**Tesis previa a la obtención del**  
**Título de Ingeniería Mecánica con**  
**Mención en “Diseño De Maquinas”**

**“Diseño de un sistema de extracción de material particulado de una**  
**planta de arena (Trituración y Clasificación de polvo.)”**

**AUTOR:**

**Orrala Reyes Alex Guiseppe**

**DIRECTORA:**

**Ingeniera Olena Neira Rodas**

**Cuenca, Mayo del 2010**

## **DECLARACIÓN**

Yo Orrala Reyes Alex Guisseppe, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación personal; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen dentro de este documento escrito.

A través de la presente declaración cedo mi derecho de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

-----  
**Orrala Reyes Alex Guisseppe**

## **CERTIFICACIÓN:**

Certifico que bajo mi dirección el señor **Orrala Reyes Alex Guisseppe** desarrolló el proyecto titulado: **“Diseño de un sistema de extracción de material particulado de una planta de arena (Trituración y Clasificación de polvo) para la empresa”**

-----  
**Ingeniera Olena Neira Rodas**  
**DIRECTORA**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la empresa “MEGAESTRUCTURAS” y al Ingeniero Armando Villavicencio Cabezas por permitir realizar mi trabajo de titulación profesional dentro de su prestigiosa empresa, brindándome todo el apoyo necesario para el mismo.

Agradezco la Ingeniera Olena Neira, tutora del presente proyecto, por brindarnos su apoyo, conocimientos, consejos y guía para poder culminar de la mejor manera el presente trabajo.

Agradezco a las autoridades y profesores de la Universidad Politécnica Salesiana, por brindarnos la oportunidad de cursar nuestros estudios en su prestigiosa institución educativa y ofrecernos la mejor educación tanto humana como técnica.

Y agradezco de manera especial a Dios y a todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de esta tesis.

## **DEDICATORIA**

Dedico mi título a mis Padres por darme la vida, a mis Hermanos por darme su apoyo incondicional, a mi sobrinito Keiner Rafael que nos bendice desde los cielos, a mis compañeros, amigos y a todas las personas que creyeron en mí.

*Alex Orrala R.*

## INDICE

<b>DECLARACIÓN .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

### CAPITULO 1

<b>1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.1. Antecedentes. ....	¡Error! Marcador no definido.
1.2. Objetivo general. ....	¡Error! Marcador no definido.
1.3. Objetivos específicos.....	¡Error! Marcador no definido.
1.4. Justificación del proyecto.....	¡Error! Marcador no definido.
1.5. Marco legal ambiental. ....	¡Error! Marcador no definido.
1.5.1. Marco legal aplicable al proyecto .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>

### CAPITULO 2

<b>2. CONDICIONES ACTUALES.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.1. Antecedentes de la empresa.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1. Misión.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.2. Visión. ....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.3. Empresa. ....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.3.1. Ubicación geográfica de la Empresa....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.1.3.2. Proceso de producción general .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
2.2. Obtención de materia prima.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3. Trituración de materia prima. ....	¡Error! Marcador no definido.

- 2.4. Clasificación de polvo..... ¡Error! Marcador no definido.
- 2.5. Ensacado..... ¡Error! Marcador no definido.

### **CAPITULO 3**

#### **3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DESEMPOLVADO EN PLANTAS DE ARENAS. .... ¡Error! Marcador no definido.**

- 3.1. Importancia de un sistema de desempolvado. .... ¡Error! Marcador no definido.
- 3.2. Tipos de colectores de polvo. .... ¡Error! Marcador no definido.
  - 3.2.1. *Por su principio de operación..... ¡Error! Marcador no definido.*
  - 3.2.2. *Por su principio aplicación..... ¡Error! Marcador no definido.*
  - 3.2.3. *Por su diseño de filtración..... ¡Error! Marcador no definido.*
  - 3.2.4. *Por la presión en el sistema..... ¡Error! Marcador no definido.*
- 3.3. Tipos de filtros de mangas..... ¡Error! Marcador no definido.
  - 3.3.1. *Por la presión en el sistema..... ¡Error! Marcador no definido.*
  - 3.3.2. *Por su secuencia de limpieza..... ¡Error! Marcador no definido.*
- 3.4. Componentes de un sistema colector de mangas. .... ¡Error! Marcador no definido.

### **CAPITULO 4**

#### **4. DISEÑO DE UN SISTEMA COLECTOR EN BASE A LAS CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA. .... ¡Error! Marcador no definido.**

- 4.1. Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a desempolvar. .... ¡Error! Marcador no definido.
- 4.2. Campana de captura. .... ¡Error! Marcador no definido.
- 4.3. Diseños de ductos. .... ¡Error! Marcador no definido.

- 4.4. Colector de polvo. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.1. Velocidad de Filtración (Relación aire-tela)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.2. Criterio de selección para la tela de filtrado..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.3. Dimensionamiento de mangas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.4. Número de mangas por columna ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.5. Canastillas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.6. Fijación de las mangas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.7. Venturis ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.8. Tolva de descarga ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.9. Transportador de Gusano sin fin ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.10. Válvulas a la salida..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.11. Cámara limpia ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.4.12. Perdidas en el filtro de mangas. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.5. Selección del ventilador. .... **¡Error! Marcador no definido.**

## **CAPITULO 5**

### **5. SIMULACIÓN DEL SISTEMA COLECTOR IMPLEMENTADO...¡Error! Marcador no definido.**

- 5.1. Selección del software. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- 5.2. Bases teóricas. .... **¡Error! Marcador no definido.**
- 5.2.1. CFX-Pre Proceso..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 5.2.2. CFX-Solver Proceso ..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 5.3. Análisis y resultados..... **¡Error! Marcador no definido.1**
- 5.3.1. CFX-Post Proceso ..... **¡Error! Marcador no definido.1**
- 5.3.1.1. Análisis en la entrada del Filtro .. **¡Error! Marcador no definido.3**

- 5.3.1.2. *Análisis en la salida de la Tolva. ..* **¡Error! Marcador no definido.4**
- 5.3.1.3. *Análisis en la salida de las mangas. ....* **¡Error! Marcador no definido.5**

## **CAPITULO 6**

### **6. ANÁLISIS ECONÓMICO..... ¡Error! Marcador no definido.19**

#### **6.1. Análisis con la producción actual de la empresa. ... ¡Error! Marcador no definido.19**

##### **6.1.1. Análisis de costo actual de la planta de trituración. ... ¡Error! Marcador no definido.0**

##### **6.1.2. Costo Invertido en la planta de trituración. .... ¡Error! Marcador no definido.0**

###### *6.1.2.1. Costo Civil..... ¡Error! Marcador no definido.0*

###### *6.1.2.2. Costo Mecánico. .... ¡Error! Marcador no definido.1*

###### *6.1.2.3. Costo Estructural. .... ¡Error! Marcador no definido.2*

###### *6.1.2.4. Eléctrico y electrónico..... ¡Error! Marcador no definido.3*

###### *6.1.2.5. Neumático..... ¡Error! Marcador no definido.4*

###### *6.1.2.6. Sistema de Control. .... ¡Error! Marcador no definido.4*

#### **6.2. Análisis con la producción con el sistema implementado. .... ¡Error! Marcador no definido.6**

##### **6.2.1. Costo de Elaboración del Proyecto .... ¡Error! Marcador no definido.6**

##### **6.2.2. Costo de Implementación del Proyecto ..... ¡Error! Marcador no definido.7**

##### **6.2.3. Presupuesto Referencial para la Implementación del Proyecto ... ¡Error! Marcador no definido.7**

##### **6.2.4. Análisis Dentro Del Punto De Vista Económico . ¡Error! Marcador no definido.0**

6.2.5. Análisis Dentro Del Punto De Vista Ambiental Y Condiciones De Trabajo. .... ¡Error! Marcador no definido.34

## **CAPITULO 7**

### **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. .... ¡Error! Marcador no definido.**

6.1. Conclusiones. .... ¡Error! Marcador no definido.

6.2. Recomendaciones. .... ¡Error! Marcador no definido.

**BIBLIOGRAFÍA. .... ¡Error! Marcador no definido.40**

**ANEXOS. .... ¡Error! Marcador no definido.43**

# **CAPÍTULO 1**

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

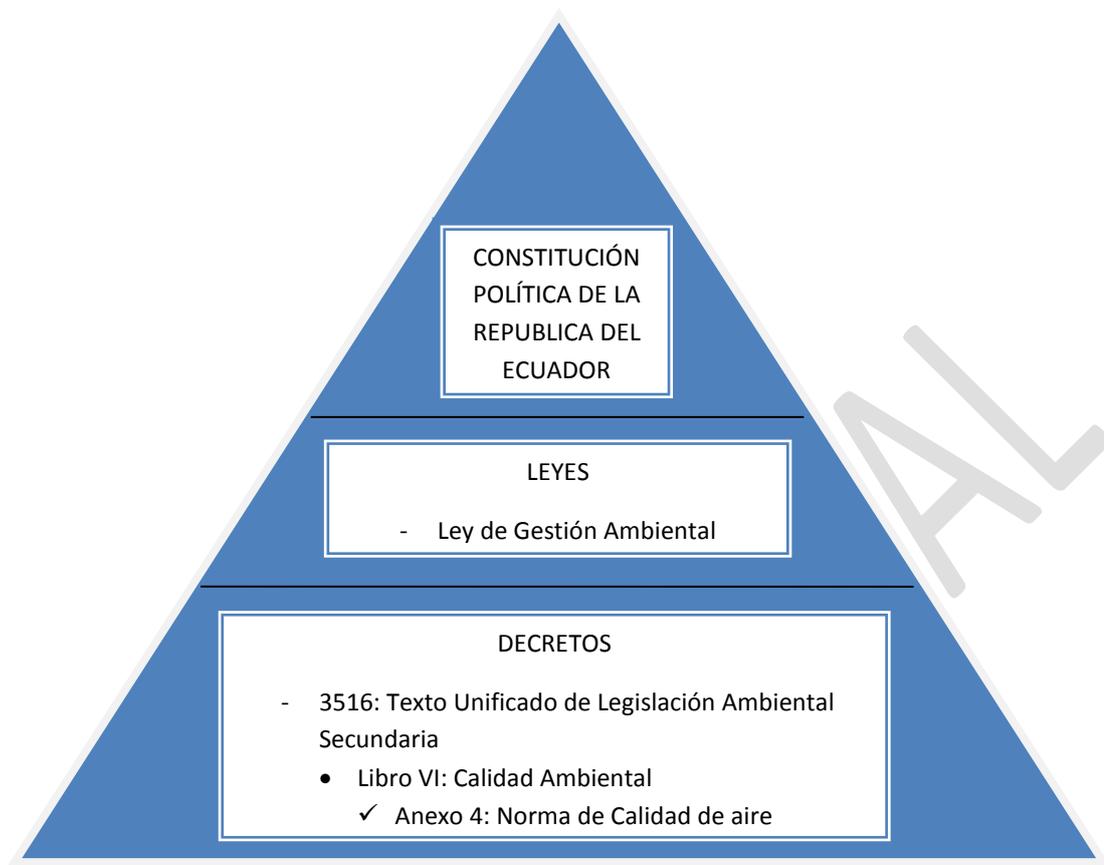
CONFIDENCIAL

### **1.5. Marco legal ambiental.**

La preocupación por el cuidado y protección del medio ambiente ha generado un cambio de actitud en las actividades desarrolladas de las empresas con el propósito de cumplir las normas y reglamentación vigente.

En este sentido, la implementación de nuevos proyectos compromete a las empresas conocer el marco legal que aplica y deben cumplir para evitar ó minimizar los impactos ambientales que puedan ocasionar contaminación, de esta manera proteger el medio ambiente.

A continuación se describirán los lineamientos dentro de los cuales estará enmarcado el proyecto “Diseño de un sistema de extracción de material particulado de una planta de arena (trituración y clasificación de polvo)” desarrollado por la empresa MEGAESTRUCTURAS. Para efecto del mismo, se ha considerado los documentos tales como lo detalla la figura 1.1.



**FIGURA 1.1. Esquema de los lineamientos en que se rige el proyecto.<sup>1</sup>**

### ***1.5.1. MARCO LEGAL APLICABLE AL PROYECTO***

De acuerdo al Constitución Política de la República del Ecuador<sup>2</sup> estamos obligados a garantizar el derecho a vivir en un ambiente sano libre de contaminación, rigiéndonos en los artículos de las leyes y los decretos para precautelar la vida humana, la flora, la fauna y los recursos naturales, estableciendo límites máximos permisibles de contaminantes en el aire a nivel del suelo.

<sup>1</sup> **FUENTE:** El Autor

<sup>2</sup> **FUENTE:** LEY DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Anexo 1.

Para el proyecto en mención aplica la contaminación del aire ambiente por material particulado debido al polvo que se generará en el sistema de extracción como se detalla en la tabla 1.1.

**TABLA 1.1. Concentraciones de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire<sup>3</sup>**

Parámetros	Unidad	Límites máximos permisibles $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		1 año	1 hora	8 horas	24 horas
Material Particulado $\text{PM}_{2.5}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	15	(b)	(b)	65
Material Particulado $\text{PM}_{10}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	(b)	(b)	150

Medidos en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  microgramos de contaminante por  $\text{m}^3$  de aire a 760mm Hg y 25°C.

(b) No existen límites permisibles para este tiempo de medición.

**Material particulado menor a 2.5 micrones ( $\text{PM}_{2.5}$ ).**- Se ha establecido que el promedio aritmético de la concentración de  $\text{PM}_{2.5}$  de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder sesenta y cinco microgramos por metro cúbico ( $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces al año.

**Material particulado menor a 10 micrones ( $\text{PM}_{10}$ ).**- El promedio aritmético de la concentración de  $\text{PM}_{10}$  de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces al año.

<sup>3</sup> Norma de Calidad del Aire Libro VI Anexo 4, Pág. 648-349 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Anexo 1.

## **CAPÍTULO 2**

CONFIDENCIAL

# CAPÍTULO 3

## 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DESEMPOLVADO EN PLANTAS DE ARENAS.

### *3.1. Importancia de un sistema de desempolvado.*

La primera aplicación de un equipo para controlar la contaminación de aire fue a mediados del siglo pasado. El propósito no era controlar la contaminación ambiental, sino la necesidad de mantener limpio el lugar de trabajo, evitando que sea afectada la eficiencia de los trabajadores. El motivo de mantener el medio ambiente limpio era secundario. El primer colector de polvo era una simple estructura de ladrillo usando filtros de tela, y funcionaba similar a una aspiradora doméstica. La forma actual ha sido usada a lo largo de los últimos 50 años con los mejoramientos principales en las áreas de los mecanismos de limpieza y en la tecnología en los materiales de los filtros.

En el Ecuador existe la norma técnica dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental (Anexo 1) y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, impuesta por el Ministerio del Ambiente, y que está basada en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América, siendo dicha norma la que utiliza la empresa dentro del proceso. Cualquier proceso de producción que libere partículas al aire ambiente utilice algún tipo de equipo de control de contaminación de aire.

El control de las emisiones en la actualidad forma parte fundamental de cualquier proceso dentro de la fabricación de morteros, en donde existen varios puntos a considerar tales como la extracción, el transporte, almacenamiento y procesamiento de grandes cantidades de material es su mayor parte seco, siendo esto una obvia fuente de polvo fugitivo y material derramado.

En cuanto al rendimiento de los equipos, debemos decir que cada tonelada de material que se escapa del proceso es una pérdida, mientras los equipos siguen trabajando normalmente consumiendo energía. Las toneladas por hora se reducen, haciendo que el consumo específico de los equipos sea mayor, presentándolos como menos eficientes y con bajos rendimientos.

Esta idea surge porque no se aprovecha todo el material que ingresa a la línea de producción, porque existen puntos por donde se escapa; es cierto que luego gran parte de este material se recupera, pero eso genera costos de alquiler de equipos, y horas que pudieran ser innecesarias de trabajo adicional para el personal, por eso es importante un mantenimiento preventivo de los equipos para evitar pérdidas, de esta manera aumentaría la eficiencia, funcionando de manera efectiva el sistema de despolvado.

### 3.2. Tipos de colectores de polvo.

Los colectores de polvo se pueden clasificar en 4 grupos que se definen a continuación:

#### 3.2.1. Por su principio de operación.

**Ciclones:** Los ciclones son colectores centrífugos donde la entrada de partículas es tangencial al cuerpo del cono, forzando el material hacia la parte externa lo que disminuye la velocidad del aire y propicia el desprendimiento de partículas. El aire limpio sale por la parte superior del ciclón como se observa en la figura 3.1. Muchas veces los ciclones se instalan en zonas donde se mueven o descargan grandes cantidades de partículas, para reducir la cantidad de material que va al filtro de mangas.

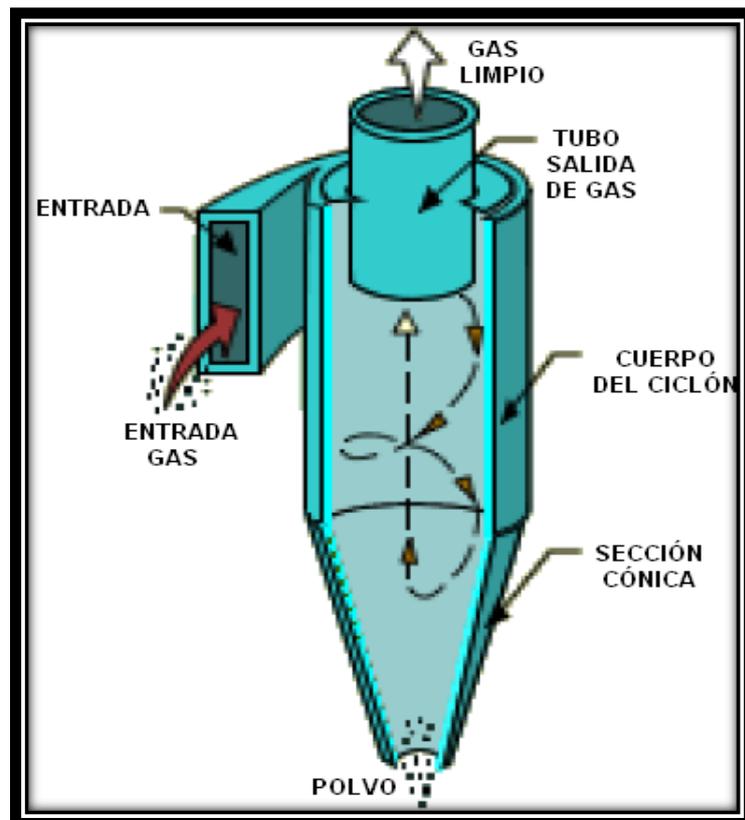


FIGURA 3.1. Ciclón<sup>11</sup>

<sup>11</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 67

El promedio de eficiencia de un ciclón es aproximadamente 65% cuando filtra partículas de 40 micras en tamaño, con una pérdida de carga entre 20 y 40 mmca, bajo costo, falta de partes móviles, por lo tanto, pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación, colección y disposición en seco.

Una de las desventajas es la eficiencia de recolección de partículas suspendidas totales relativamente bajas, particularmente para partículas menores de 10  $\mu\text{m}$ , no pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes.

**Colectores de Procesos Húmedos:** Este tipo de colectores usan agua para saturar las partículas, y así poder separarlas. Hoy en día se usan dos tipos de colectores húmedos, los sistemas de filtración húmedos que saturan las partículas llevándolas a un decantador, y precipitadores hidroeléctricos que saturan las partículas cargadas y pasan la solución entre placas de metal con cargas opuestas. Los colectores húmedos son relativamente ineficaces y crean lodo o fango, un problema de contaminación secundaria que también debe considerarse, figura 3.2.

Una de las ventajas es que puede recolectar partículas y gases al mismo tiempo; disuelven las partículas solubles; tienen el doble de enfriadores y equipos de control de la contaminación; evitan los riesgos de explosión por la presencia de polvos y gases combustibles; son equipos compactos; de tamaño generalmente pequeño y costo inicial bajo.

También tiene desventajas como la cristalización de las sustancias solubles; presentan dificultades para la remoción de lodos; pueden generarse problemas de taponamiento, requiere de equipo auxiliar, como bombas y tanques, alta acción corrosiva; las partículas menores a 1mm son recolectada con bajas eficiencias.

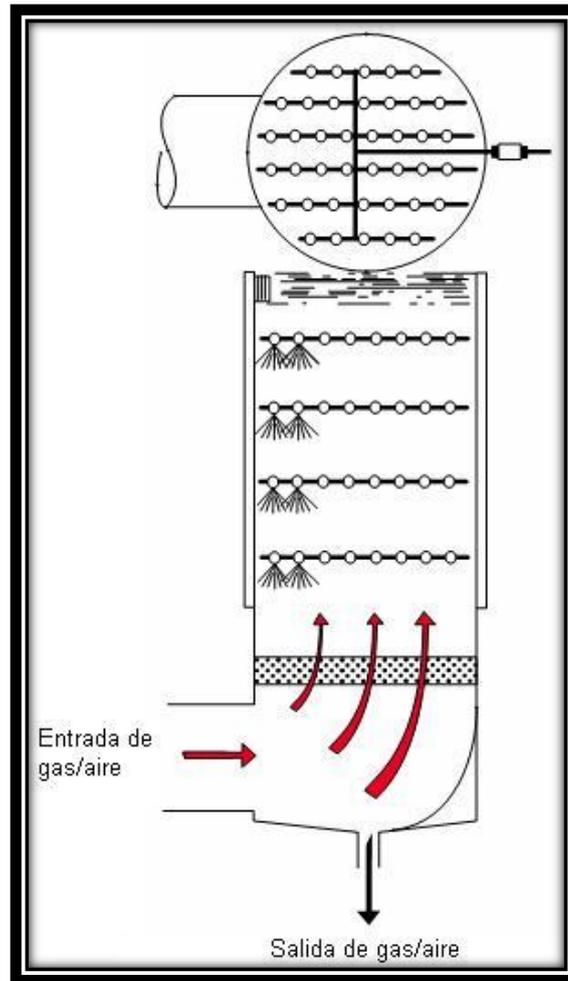


FIGURA 3.2. Torre de atomización<sup>12</sup>

**Precipitadores Electrostáticos:** Proceso físico por el cual las partículas en suspensión en un flujo gaseoso se cargan eléctricamente y son separados de dicho flujo.

<sup>12</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

El principio de recolección se basa en el hecho de poder impartir carga negativa a las partículas de la corriente de gas, causando con esto que se adhieran a las placas del colector que se encuentran cargadas positivamente figura 3.3. La diferencia de voltaje entre electrodo y placa para casi todos los diseños es de 60 – 70 mil voltios. Como en los colectores o filtro de mangas, los precipitadores son extremadamente eficientes y se usan por lo general en las industrias del cemento, electricidad, pulpa, papel y acero. El grado de limpieza esperado es hasta de 99% para partículas menores de 5 micras.

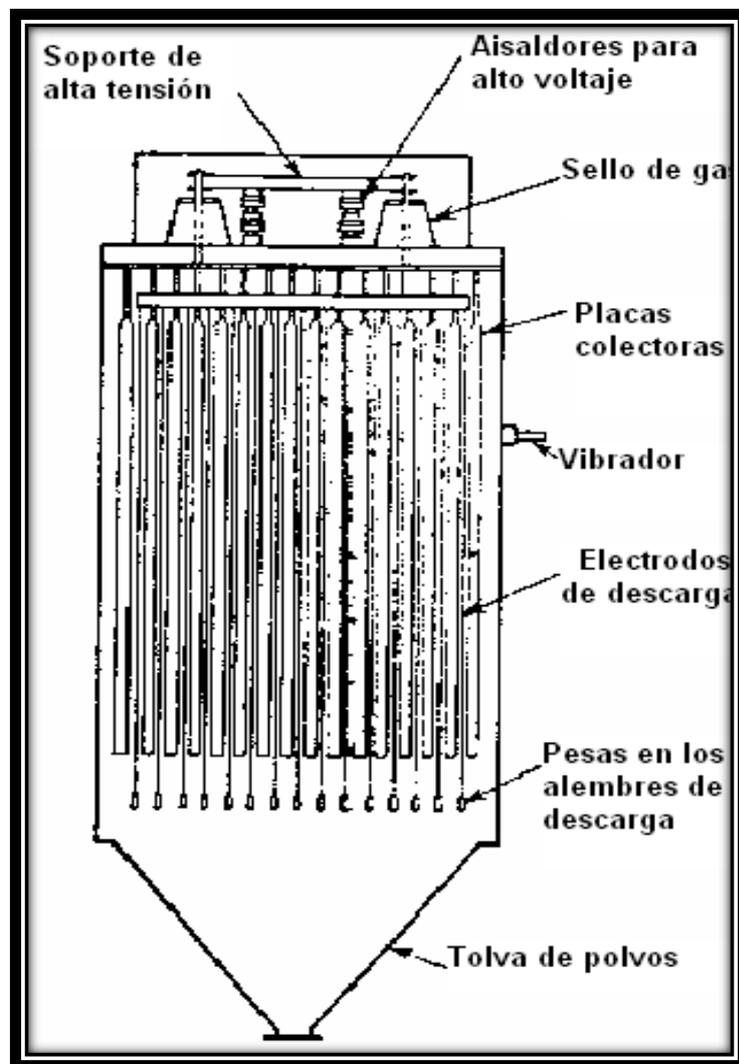


FIGURA 3.3. Precipitador electrostático<sup>13</sup>

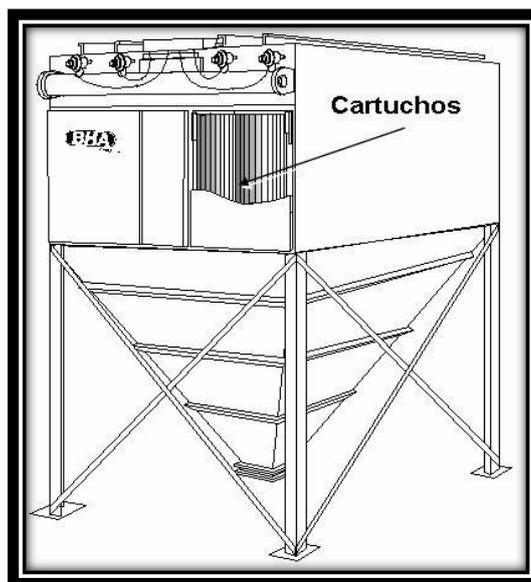
<sup>13</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 69

Los precipitadores electrostáticos tiene como ventaja una eficiencia de recolección muy alta para partículas gruesas y finas, lograda con un gasto relativamente bajo de energía; Recolección en seco; Diseñados para operación continua con requerimientos mínimos de mantenimiento; Costo de operación relativamente bajo; Capacidad para operar a altas presiones o al vacío; Capacidad para operar a altas temperaturas, del orden de los 370 a los 540°C; Capacidad para manejar en forma eficiente velocidades de flujo de gas relativamente altas.

Entre sus desventajas encontramos un alto costo de capital; Muy sensible a cambios en las condiciones de la corriente gaseosa, especialmente el flujo, la temperatura, la composición del gas y las partículas (con su respectiva carga); Se requieren espacios grandes, a veces mayores que los filtros; Riesgo de explosión al recolectar partículas o tratar gases combustibles; Se requieren medidas especiales de seguridad para proteger al personal de una descarga; Se requiere personal de mantenimiento altamente capacitado.

**Filtros de Cartucho:** Los sistemas de cartuchos funcionan usando medios filtrantes con pliegues de aproximadamente 60 a 90cm de largo, hechos de papel.

Los colectores de cartuchos se usan típicamente en procesos industriales de menor volumen, con flujos de gases inferiores a 700 m<sup>3</sup>/h, figura 3.4.



**FIGURA 3.4. Filtro de cartuchos<sup>14</sup>**

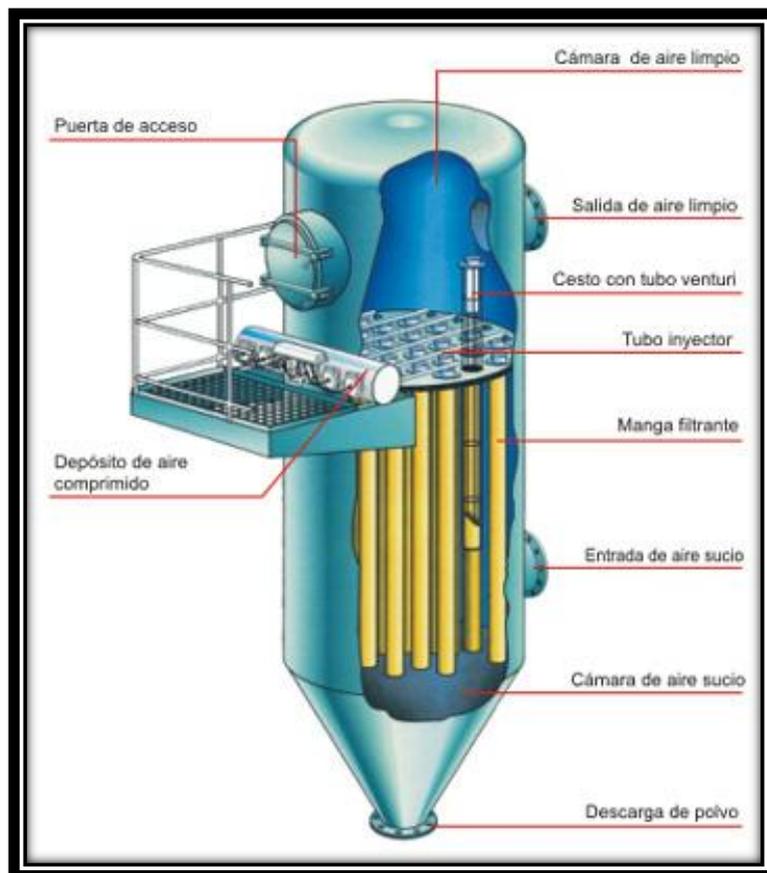
Entre las ventajas los filtros de cartucho proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para materia particulada gruesa como para la de tamaño fino (submicras); El aire de salida del filtro está muy limpio y en muchos casos puede ser recirculado a la planta; La operación es relativamente simple; A diferencia de los precipitadores electrostáticos, los sistemas de filtros de cartucho no requieren de altos voltajes, por lo que su mantenimiento se simplifica y puede recolectarse polvo inflamable con el cuidado apropiado.

Y entre sus desventajas para temperaturas muy por encima de los 95°C (200°F), se requieren medios filtrantes especiales, los cuales pueden ser caros. Pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. Tienen requisitos de mantenimiento relativamente altos; cambio frecuente de los cartuchos. La vida de los filtros puede ser acortada a altas temperaturas y en presencia de constituyentes ácidos o alcalinos que puedan estar presentes como gases o particulados. No pueden operarse en ambientes húmedos.

---

<sup>14</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

**Filtros de Mangas:** Los filtros de mangas son aparatos de los llamados filtros por vía seca. Son los filtros o instalaciones para control de contaminación de aire más eficaces ya que permiten cumplir las más estrictas normativas en cuanto a niveles de emisión de partículas sólidas, con un correcto diseño, su utilización no compromete la cantidad ni la calidad de la producción, permitiendo realizar su mantenimiento sin afectar al proceso productivo de la fábrica. El costo de inversión es menor que el de otro tipo de instalaciones. Si tienen las dimensiones adecuadas y el mantenimiento preventivo necesario, los costos de explotación de este tipo de unidades son razonablemente bajos.



**FIGURA 3.5. Filtro de mangas<sup>15</sup>**

<sup>15</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

Los filtros de mangas son estructuras metálicas cerradas en cuyo interior se disponen los genéricamente llamados elementos filtrantes textiles, que según sea el diseño del constructor, tienen formas tubulares llamados mangas, o bien formas rectangulares y se llaman sacos o bolsas como se puede apreciar en la figura 3.5. Generalmente las mangas están dispuestas en el filtro en posición vertical. El aire/gas cargado de sólidos es forzado a pasar a través del textil, sobre el que se forma una capa de polvo que separa las partículas sólidas del aire/gas.

Las mangas se limpian periódicamente en el interior del filtro por medio de un sistema de limpieza que varía según el diseño del constructor.

Como ventajas estos filtros tiene eficiencia de recolección muy alta de partículas gruesas y finas; El aire de salida del filtro se puede recircular a la planta; El material recolectado se recupera seco, para su posterior procesamiento; La corrosión y oxidación de las partes no es problema; Mantenimiento y reparaciones son sencillas; Se dispone de diversos filtros, por lo que hay gran variedad de dimensiones para adecuarse a los requerimientos de la instalación. Operación relativamente sencilla.

Entre sus desventajas los filtros de mangas que excedan temperaturas de 288°C requieren material refractario especial o telas metálicas costosas; Ciertos tipos de polvos requieren telas tratadas; Las concentraciones de algunos polvos en el colector constituyen un riesgo de incendio o explosión si penetran chispas o llamas por accidente; Requerimientos de mantenimiento relativamente altos (reemplazo de las mangas, etc.); A temperaturas elevadas se puede acortar la vida de la tela, así como en presencia de partículas ácidas o alcalinas y componentes gaseosos.

### 3.2.2. Por su principio aplicación.

**Filtros auxiliares:** Es una unidad que no es crítica para la operación continua de la planta industrial, o que no representa peligro inmediato ya sea para los trabajadores o para el medio ambiente. Un filtro auxiliar puede ser usado para recolectar partículas de polvo en una planta maderera o en el transporte de material.

En una planta cementera o de morteros, generalmente se encuentran en los puntos de transferencia de las bandas transportadoras, elevadores, aerodeslizadores, ensacadoras, zarandas, etc., en donde, si bien es cierto no pararían la producción inmediatamente, pero dependiendo del problema, puede generar una cadena de eventos que pararía algún equipo principal. Dependiendo del lugar donde va a funcionar, hay que considerar la temperatura, el material que se va a filtrar, la humedad, ácidos, etc., para de esa manera, tener un buen criterio de diseño del filtro, figura 3.6.

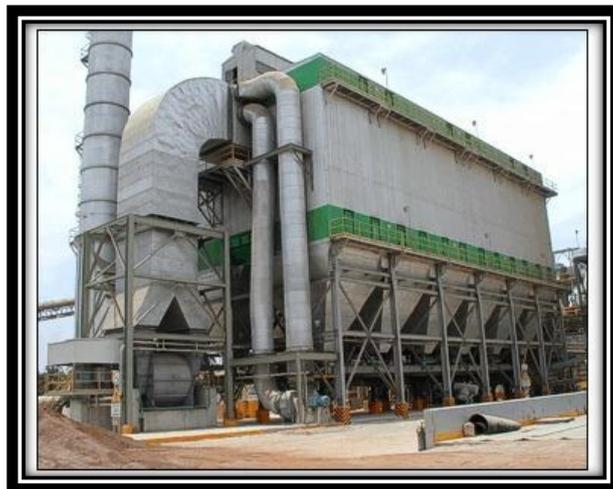


FIGURA 3.6. Filtro auxiliar<sup>16</sup>

<sup>16</sup> FUENTE: [www.molemotor.com](http://www.molemotor.com)

**Filtros de proceso:** Este tipo de filtros en cambio son críticos, forman parte del proceso de producción. Puede ser usado continuamente las 24 horas del día, 365 días al año. Normalmente procesa volúmenes extremadamente altos y puede ser sometido a altas temperaturas, materiales abrasivos, partículas minúsculas, altas concentraciones de contaminantes y sustancias corrosivas.

La definición de filtro de proceso es que, si el colector funciona mal, la producción de la planta se detiene. Por ejemplo, en una planta de asfalto, si el filtro no funciona adecuadamente, la producción de la planta es reducida. Si el filtro deja de funcionar completamente, la planta entera deja de funcionar, figura 3.7.



**FIGURA 3.7. Filtro de proceso<sup>17</sup>**

Además, cuando gases tóxicos están presentes, el buen funcionamiento del colector es esencial ya que es importante que estas sustancias tóxicas no salgan al ambiente. Debido a estos factores, los colectores de proceso son mantenidos en manera diferente a la de los auxiliares. Son inspeccionados más frecuentemente, mientras los colectores auxiliares son inspeccionados cada mes aproximadamente, estos son inspeccionados semanalmente de manera más minuciosa.

---

<sup>17</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

### 3.2.3. Por su diseño de filtración

**Filtración exterior:** Son llamados así porque las partículas se recolectan en la superficie externa de la manga, y el aire limpio sale a través del interior, figura 3.8. Entre los que utilizan este tipo de filtración tenemos los filtros de manga pulse-jet.

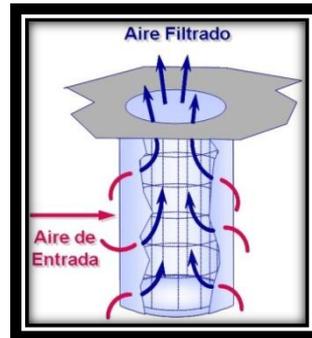


FIGURA 3.8. Filtrado exterior<sup>18</sup>

**Filtración interior:** En los filtros de mangas con filtración interna (los filtros de aire reverso por ejemplo), las partículas son recolectadas en el lado interior de las mangas. El gas cargado de partículas entra a través de la parte interior del colector y es dirigido al interior de la manga, figura 3.9.

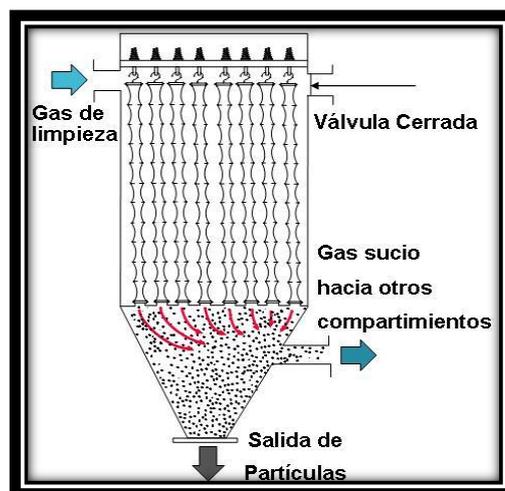


FIGURA 3.9. Filtrado interior<sup>19</sup>

<sup>18</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 80

<sup>19</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 81

### 3.2.4. Por la presión en el sistema

**Presión positiva:** Los gases contaminados son impulsados o succionados al colector por un ventilador. Cuando el gas contaminado es impulsado hacia el colector por medio de un ventilador colocado antes del colector, el colector se llama colector de presión positiva figura 3.10. Se pueden construir colectores de presión positiva con estructura más débil, ya que la presión positiva es contrarrestada por la presión atmosférica que actúa en la estructura o cámara del colector. Sin embargo, existen limitaciones ya que el ventilador está localizado en la parte sucia del sistema, el deterioro prematuro de sus componentes puede ocurrir con este tipo de arreglo, siendo esto muy importante cuando se trata de mantenimiento y condiciones de operación del colector.

El ventilador, es un componente integral del sistema; si presenta un mal funcionamiento, puede ocasionar el paro completo de operaciones. Colectores de presión positiva son menos costosos inicialmente debido a su estructura por ser más débil, pero más caros a largo plazo. Este tipo de colectores, normalmente tienen pequeñas chimeneas o salidas en la parte superior del colector que se llaman monitores de techo. Esto es problemático cuando la prueba de emisiones es necesaria para determinar la efectividad de filtración.

Sistemas de presión positiva son usados con mejores resultados cuando los gases son de poca humedad y de bajas concentraciones de polvo no abrasivo.



FIGURA 3.10. Sistema de presión positiva<sup>20</sup>

**Presión negativa:** Cuando el ventilador se encuentra en la parte limpia del colector, el aire contaminado es succionado hacia el colector, y el sistema se llama colector de presión negativa, figura 3.11. La estructura de este tipo de colectores debe ser reforzada ya que la presión negativa actúa junto con la presión atmosférica.

Al tener presión negativa, no pueden existir fugas de aire contaminado, y la limpieza en los alrededores del colector es reducida. El deterioro del ventilador es mucho menor en los sistemas de presión negativa, ya que las partículas son separadas del aire antes de entrar al ventilador. Esto puede ser el factor más importante en seleccionar colectores de presión negativa. Sistemas de presión negativa son usados cuando los gases son corrosivos, contienen alta humedad o gran concentración de polvo abrasivo. Una vez que el gas entra al colector, las partículas son capturadas por el material de filtración.

<sup>20</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.5

Los colectores normalmente son construidos usando grandes cantidades de filtros cilíndricos o bolsas que son colgados verticalmente en el colector. El número de bolsas puede variar de cien a mil o más, dependiendo del tamaño del colector y los requerimientos de volumen de aire del sistema. Cuando la capa de polvo crece hasta cierto espesor, la bolsa es limpiada, causando que las partículas caigan a la tolva de recolección. Estas partículas son guardadas en la tolva temporalmente y luego son retirados por medio de transportadores neumáticos o tornillos sin fin. El aire limpio es llevado al ambiente a través de la chimenea o en algunos casos, puede ser recirculado dependiendo de las necesidades del proceso.



FIGURA 3.11. Sistema de presión negativa<sup>21</sup>

En la tabla 3.1, comparamos los cinco tipos de colectores en base a las características mencionadas previamente basándonos por su principio de operación; teniendo en cuenta que los aspectos más importantes para dicha aplicación son la eficiencia, la continuidad del filtrado mientras se limpia, la capacidad del equipo, entre otros.

<sup>21</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.6

**TABLA 3.1. COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE  
COLECTORES<sup>22</sup>**

	Pesos	Ciclones	Filtro de proceso húmedo	Precipitador electrostático	Filtro de mangas	Filtro de cartucho
Costo de inversión (alto -1, medio 0, bajo 1)	3	0	0	-1	1	1
Aplicación para filtro auxiliar (sí: 1, no: 0)	7	0	0	0	1	1
Continuidad durante limpieza (sí: 1, no: 0)	5	0	0	1	1	1
Volumen aire permisible (menor volumen -1, medio 0, mayor volumen +1)	4	1	0	1	1	0
Aspectos secundarios de limpieza (dificultad en limpieza -1, normal 0, facilidad +1)	1	-1	-1	0	1	1
Consumo de agua (mayor consumo -1, normal 0, menor consumo +1)	2	1	-1	1	1	1
Eficiencia (menos eficiente -1, medio 0, más eficiente +1)	6	0	-1	1	1	1
<b>Total</b>		5	-9	14	<b>28</b>	24

Como resultado de la comparación tenemos que el filtro de mangas es el tipo de colector que más se ajusta a nuestros requerimientos para el sistema al obtener una mayor puntuación entre ellos.

<sup>22</sup> FUENTE: El Autor.

### 3.3. Tipos de filtros de mangas.

#### 3.3.1. Por la presión en el sistema

Existen tres tipos de filtros de mangas: de sacudido, aire reverso y pulse jet.

**Filtros de mangas de sacudido:** Este tipo de filtros colectan el polvo en el interior. La estructura generalmente tiene dos o más compartimientos para permitir que uno de ellos pueda desconectarse para su limpieza figura 3.12. Las mangas filtrantes cuelgan de forma vertical en filas con la parte superior cerrada, permitiendo así que se conecten al mecanismo de sacudido a lo ancho del colector. La parte inferior de las mangas está abierta y se conecta a la placa portamangas.

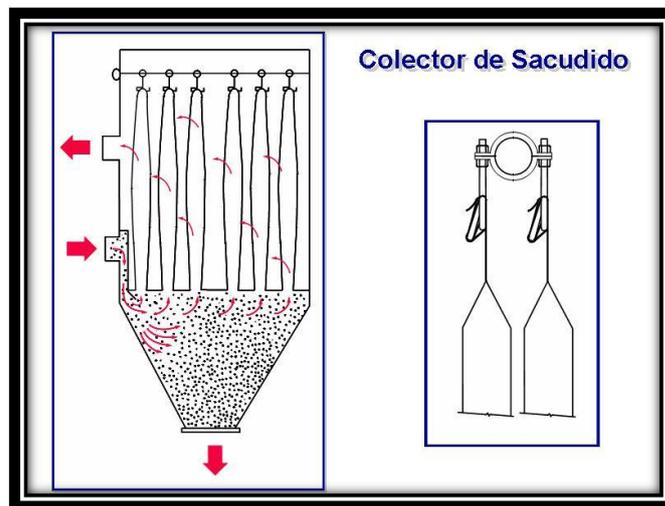


FIGURA 3.12. Filtro de mangas de sacudido<sup>23</sup>

Durante el proceso de limpieza o filtración, el aire sucio entra al colector y se acumula en la parte interior de la manga. La capa de

<sup>23</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 70

polvo mantiene la manga abierta. Para comenzar el proceso de limpieza, la compuerta de entrada se cierra y se inicia el movimiento del mecanismo de sacudido creando una onda sinusoidal que comienza en la parte superior de la manga y crea ondas a lo largo de esta. La capa de polvo se desprende y cae en la tolva. La mayoría del polvo es recolectado en los primeros 5 a 10 segundos de limpieza.

En sistemas de filtros industriales, se necesita un motor para activar el mecanismo de sacudido, para poder mover la barra a la que se conectan los filtros de mangas. Este proceso requiere poca energía para producir una onda que desprende las partículas del interior de las mangas.

Otro problema frecuente es la acumulación de polvo u otro material en la tolva alrededor de la base de la válvula. Esta acumulación puede dificultar el cierre de la válvula, especialmente si hay humedad. Corrosión en la base de la válvula también puede evitar que se cierre por completo. El mantenimiento de la válvula y de la compuerta de entrada asegurará un funcionamiento eficaz y sin problemas.

Debido al gran número de partes móviles, los filtros de sacudido suelen necesitar más mantenimiento que otro tipo de unidades. Las mangas se desgastan más rápidamente y fallan más que en otros sistemas de limpieza no mecánicos. La limpieza acústica puede complementar, y en algunos casos eliminar el uso de mecanismos de sacudido ya que reduce el tiempo y la frecuencia de los ciclos de limpieza. Para que la limpieza acústica sea eficaz se necesita que las mangas tengan la tensión adecuada.

**Filtros de mangas de aire reverso:** La estructura de los filtros de mangas generalmente está constituida de varios compartimientos que permiten su aislamiento durante el ciclo de limpieza.

En un sistema de aire reverso, el gas cargado de polvo entra a través de la parte inferior del filtro y es dirigido hacia las mangas filtrantes por medio de deflectores. Las partículas se recogen en el interior de las mangas que cuelgan verticalmente, mientras que el aire limpio se encuentra en el exterior de las mangas, figura 3.13.

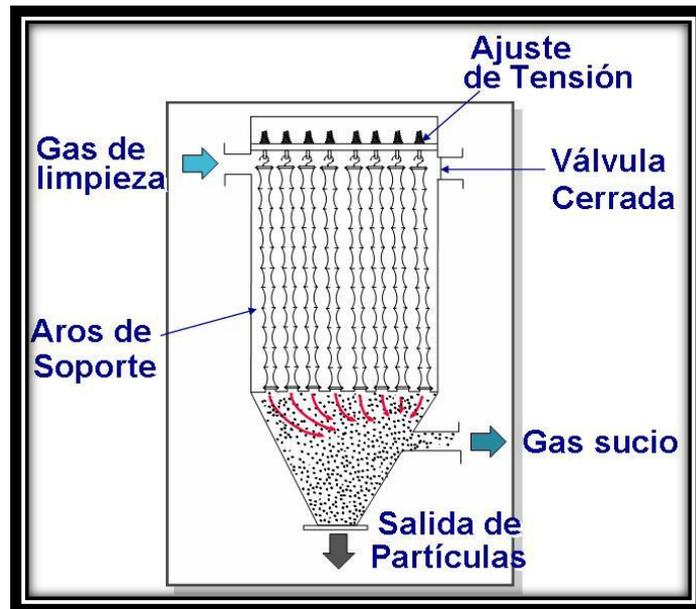


FIGURA 3.13. Filtro de mangas de aire reverso<sup>24</sup>

Normalmente, las mangas en colectores de aire reverso son muy grandes y tienen anillos de soporte cosidos en la parte exterior para evitar el colapso de las mismas durante el proceso de limpieza. El número de anillos o aros de soporte se determina según la longitud de la manga y la aplicación específica. La parte

<sup>24</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 72

superior de la manga se conecta a un tensor que tiene un gancho en el centro. Dicho tensor permite la flexión necesaria en las mangas para obtener un buen desprendimiento de la capa de polvo. La parte inferior de las mangas se sujeta a un collarín o directamente a la placa separadora, manteniendo así las mangas fijas, actuando a la vez como barrera entre el plenum limpio y el sucio.

Durante el ciclo de limpieza, se cierra el aire sucio en un compartimiento determinado. Este compartimiento es presurizado con una corriente de aire limpio de baja presión generada por un ventilador o una fuente ambiental. Las mangas colapsan y la acción permite el desprendimiento del polvo hacia la tolva. Este tipo de limpieza es bastante fuerte por los cambios de presión en el sistema.

La frecuencia de limpieza depende de la concentración de polvo a la entrada del filtro. Puede ser continua o extenderse durante varias horas. Un ciclo completo consta de la apertura de la válvula, el cierre de la misma y el asentamiento de polvo; por lo general el ciclo de limpieza completo dura alrededor de los 30s.

Cuando el compartimiento es aislado, cualquier otra lectura que no sea cero indica que la compuerta de entrada no está cerrada como debería. Este flujo de aire causado por una fuga puede afectar severamente la eficacia de la limpieza. Todos los medidores de presión diferencial deben estar calibrados adecuadamente y recibir mantenimiento constante.

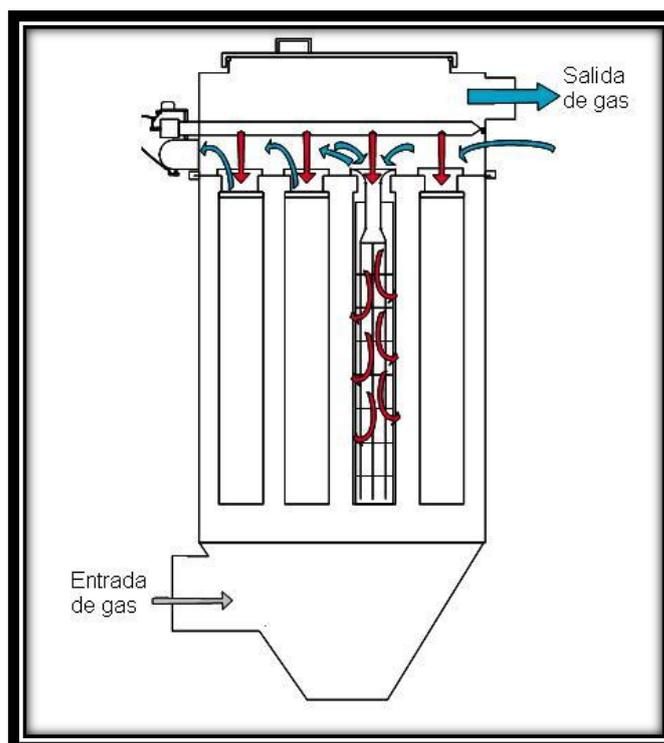
**Filtros de mangas pulse-jet:** Este tipo de filtros, permite una mejor cantidad de aire con igual área en el colector, es decir mayor relación de aire-tela. El sistema pulse-jet funciona generalmente con una relación de aire a tela de 1.2-1.8m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/min. Esto significa que la estructura general del filtro es de menor tamaño, lo que lo hace más económico al construirse. Las mangas filtrantes cuelgan verticalmente dentro de la unidad y se sujetan por la parte superior con abrazaderas y la parte inferior de la manga es cerrada. En estos sistemas, las mangas tienen canastillas internas de alambre.

El aire sucio entra al sistema y es filtrado depositando el polvo en la superficie externa de la manga. Durante el ciclo de limpieza, el polvo se desaloja usando un chorro de aire comprimido que se inyecta en la parte superior de las mangas filtrantes figura 3.14.

Este aire se proporciona a través de un tubo con boquillas que alimenta los venturis localizados en la parte superior de las bolsas. El chorro de aire a alta presión interrumpe el flujo normal de aire a través del filtro. También crea una onda que al desplazarse a lo largo de la manga hace que esta se flexione, rompiendo la capa de polvo que cae hacia la tolva.

En muchos casos, el venturi se usa para aumentar la velocidad del chorro de aire creando un impulso suficientemente grande para que pueda desplazarse a lo largo de la manga y regresar al punto de origen. El ciclo de limpieza para filtros pulse-jet debe estar diseñado para producir un impulso corto y conciso para lograr una limpieza eficaz. La duración de éste es de 0,10 a 0,15 segundos usando presiones de pulsación de 4-7 bares (60-100psi).

La frecuencia de limpieza es un factor de importancia para la retención de cierta capa de polvo sobre la manga. Los intervalos entre los ciclos de limpieza pueden variar de 1 a 30 segundos o más. La frecuencia debe adaptarse para mantener la presión diferencial entre 2 y 6 pulgadas de agua.



**FIGURA 3.14. Filtro de mangas tipo pulse jet<sup>25</sup>**

Este sistema no tiene partes móviles, y limpia continuamente sin necesidad de aislamiento. Sin embargo, debido a la presión de aire que se utiliza, es necesario escoger textiles con mayor estabilidad dimensional y resistencia a la tensión.

<sup>25</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

### 3.3.2. Por su secuencia de limpieza

Todos los colectores se pueden identificar por su secuencia de limpieza: intermitente, automática continua o de limpieza continua.

**Limpieza intermitente:** Estos filtros de mangas tienen un compartimiento, generalmente de sacudido y es necesario apagar el ventilador para que el mecanismo de limpieza pueda iniciarse.

**Limpieza continua fuera de línea:** Los filtros tienen varios compartimientos o secciones. Cada compartimiento se limpia con una secuencia rotatoria desconectándose de los demás durante la limpieza. El aire sucio se desvía a otro compartimiento, gracias a esto, se puede continuar filtrando durante la limpieza, por ejemplo los filtros de aire reverso.

**Limpieza continua en línea:** Los filtros son completamente automáticos y generalmente están en línea durante la limpieza. El proceso de filtración se interrumpe momentáneamente debido al aire comprimido que limpia las mangas en los filtros pulse-jet. Los filtros grandes de limpieza continua, generalmente tienen varios compartimientos para evitar tener que apagarse durante el mantenimiento.

Una vez revisadas los diferentes tipos de filtros de mangas, procederemos a hacer una comparación entre ellos en base a las características mencionadas por el principio de presión en el sistema, para encontrar, el tipo de filtro de mangas que mejor se ajusta a nuestra necesidad. A continuación tenemos la tabla 3.2 la comparación entre los diferentes filtros:

**TABLA 3.2. COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE  
FILTROS DE MANGAS<sup>26</sup>**

	Pesos	Sacudido	Aire reverso	Pulse Jet
Cantidad de compartimientos (1: 1, 2: 0, más de dos: -1)	3	0	-1	1
Limpieza continua en línea (si: 1, fuera de línea: 0, no: -1)	8	-1	0	1
Acumulación material en salida (si: -1, no: 1)	1	-1	1	1
Mayor necesidad de mantenimiento (si: -1, no: 1)	6	-1	0	1
Fallo de mangas (alto: -1, medio: 0, bajo: 1)	7	-1	0	1
Tamaño de mangas (pequeñas: 1, grandes: -1)	2	1	-1	1
Relación aire/tela (mayor: 1, menor: -1, media: 0)	5	0	-1	1
Tamaño del filtro (compacto: 1, grande: -1)	4	1	-1	1
<b>Total</b>		-16	-13	<b>36</b>

El filtro de mangas, tipo pulse jet se ajusta más para la aplicación de un sistema colector de polvo auxiliar. Analizaremos sus consideraciones de diseño posteriormente.

<sup>26</sup> FUENTE: El Autor.

### ***3.4. Componentes de un sistema colector de mangas.***

Para que un filtro de mangas pueda cumplir su función, necesita además de otros componentes para poder generar un sistema colector de polvos. El filtro como tal, no podría trabajar correctamente sin que existiera confinamiento en el sistema, ductos a través de los cuales el aire contaminado y limpio circulan, un ventilador para el transporte del fluido, sistemas de acondicionamiento a la entrada del filtro dependiendo las condiciones del proceso, sin olvidar la salida de los gases limpios por medio de chimeneas o salidas simples a raíz del ventilador. Detallaremos de manera breve los componentes de un sistema colector de mangas.

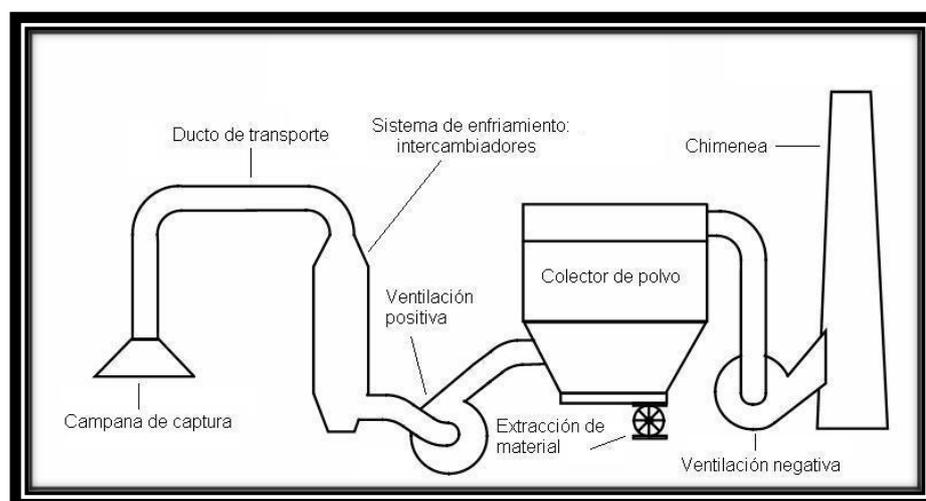
#### **Diagrama general de la instalación**

La instalación empieza con la campana de aspiración en el punto donde se desea captar el aire o gas contaminado. En cualquier sistema de ventilación, la idea de mejorar el ambiente y controlar emisión necesariamente tiene que ir de la mano con algún tipo de confinamiento para poder aumentar la velocidad del aire o gas a la entrada al sistema, figura 3.15.

A medida que el gas pasa a través de la tubería hacia el filtro, en algunos casos, es necesario proporcionar algún tipo de sistema de enfriamiento para evitar temperaturas altas.

Existen varios métodos de enfriamiento, por ejemplo, la dilución del gas utilizando aire ambiente, es el método de enfriamiento más simple y económico, especialmente para temperaturas muy elevadas.

La dilución de aire aumenta el volumen de gas en forma considerable, por lo tanto, requiere la utilización de un filtro de mangas más grande que pueda manejar mayor volumen de aire. Por lo general, la máxima temperatura que soportan las mangas se encuentra alrededor de los 260 °C, y ante esto, tenemos por ejemplo serpentines, intercambiadores, torres de acondicionamiento, compuertas de aire de dilución (aire frío mezclado con aire caliente).



**FIGURA 3.15. Diagrama general de la instalación<sup>27</sup>**

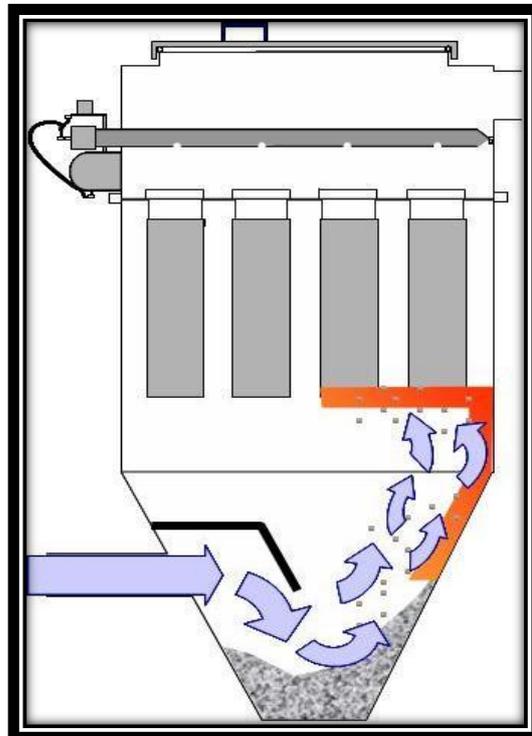
El enfriamiento radiante utiliza tubos sin aislamiento que permite el enfriamiento del flujo del gas a medida que atraviesa el sistema. La tubería puede tener un diseño en forma de U para contar con mayor superficie de tubo expuesta al enfriamiento.

En aplicaciones en las que se utiliza este método de enfriamiento, es difícil mantener temperaturas exactas y se corre el riesgo de obstrucción en la tubería por acumulación de partículas.

<sup>27</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

La entrada al filtro de mangas, es el lugar por donde el aire que se mueve por la tubería entra al colector. Una buena distribución del flujo de gas no necesariamente significa tener también una buena distribución del polvo, sin embargo, una buena distribución de gas va de la mano con una mejora en la distribución del polvo. El flujo de gas con polvo que ingresa no es muy positivo si entra en contacto directo con las paredes internas del filtro y con las mangas; una mala distribución da como resultado cortos ciclos de limpieza, alto consumo de aire comprimido y una vida de mangas corta.

Usualmente se acostumbra a colocar una plancha deflectora a la entrada al filtro, figura 3.16, causando que el polvo con gas impacte contra ella precipitando las partículas grandes a la parte inferior de la tolva, pero debido al tiro producido por el ventilador, el flujo de aire con polvo fino sigue su camino hacia las mangas pero no lo hace de manera distribuida.

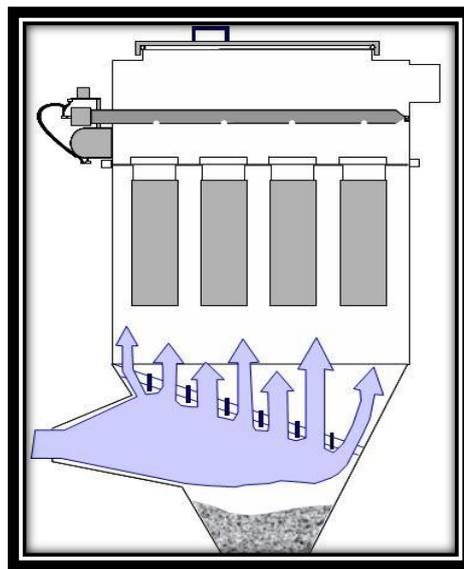


**FIGURA 3.16. Diseño típico en la entrada del filtro<sup>28</sup>**

<sup>28</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

La corriente de aire con polvo circula bastante cerca de las paredes de la tolva y siempre en dirección de las mismas mangas causando un desgaste prematuro en ellas. Este caso es más crítico en tolvas angostas. Las tolvas y las mangas sufren desgaste por abrasión.

Un mejor diseño consiste en colocar deflectores de manera escalonada uniformemente, como se aprecia en la figura 3.17.



**FIGURA 3.17. Diseño mejorado a la entrada del filtro<sup>29</sup>**

Otra consideración que se debe tener es evitar que el número de entradas al filtro sea mayor a una. Una sola entrada garantiza una circulación del flujo normal, en tanto que si al filtro llegan 2 o más ductos, sus flujos respectivos se encontrarían causando turbulencia a la entrada, generando más pérdidas en el sistema, como nuestro material no es abrasivo, se omitirá la plancha deflectora.

---

<sup>29</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

El ventilador es el corazón del sistema. Controla el flujo de gas en el punto de generación de la contaminación y en el resto del sistema y sus componentes. Proveen la energía necesaria para que el flujo logre vencer la resistencia (o caída de presión) a través de la ductería y colector.

Los ventiladores pueden clasificarse según la presión desarrollada y según la dirección del flujo de aire.

*Según la presión desarrollada:*

- De baja presión: La presión total desarrollada es inferior a 100mm col H<sub>2</sub>O. (Ventiladores propiamente dichos).
- De media presión: La presión total desarrollada es superior a 100mm col H<sub>2</sub>O e inferior a 300mm col H<sub>2</sub>O (soplantes).
- De alta presión: La presión total desarrollada es superior a 300mm col H<sub>2</sub>O e inferior a 1000mm col H<sub>2</sub>O (turbo axiales).
- De muy alta presión: mayor a 2500mm col H<sub>2</sub>O (turbocompresores).

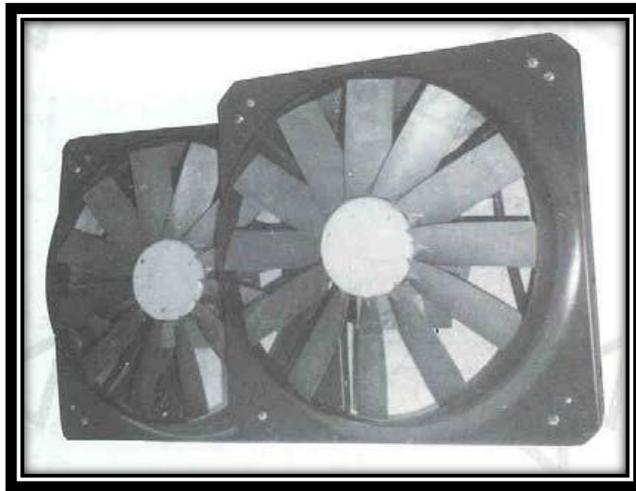
*Según la dirección del flujo:*

- De flujo radial (centrífugos)
- De flujo semiaxial (helico-centrífugos)
- De flujo axial

### **Ventiladores Axiales**

Los ventiladores axiales están compuestos básicamente de un rotor con dos o más paletas, solidario a un eje propulsor movido por un motor que impulsa aire en una trayectoria recta, con salida de flujo helicoidal, figura

3.18. Existen 3 tipos básicos de estos ventiladores que son: helicoidales, tubulares y turboaxiales.



**FIGURA 3.18. Ventilador axial<sup>30</sup>**

**Ventiladores helicoidales:** En estos ventiladores el aire se desplaza en el sentido del eje de rotación de la hélice. La hélice tiene un núcleo al cual se fijan las palas perfiladas y dispuestas formando un ángulo dado. Si las palas no tuvieran ningún ángulo de ataque más acción tiene la hélice sobre el aire. Su composición simple lo convierte en un aparato barato en comparación con su caudal. Al tener poca presión disponible sólo se pueden aplicar, donde la resistencia al flujo de aire es baja, es decir, en instalaciones de pocos metros de ducto y aún éste del mismo diámetro de la hélice. Se emplean para mover aire con poca pérdida de carga, y su aplicación más común es la ventilación general, se utiliza frecuentemente en montaje mural, en extracción e impulsión de aire sin mediación de ductos.

Un ventilador helicoidal está compuesto por una virola, una hélice y sistema de accionamiento. Se construyen con dos tipos de alabes: alabes de disco para ventiladores sin ningún conducto; y alabes estrechas para ventiladores que deban vencer resistencias bajas (menos de 25mm col

---

<sup>30</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.2

H<sub>2</sub>O). Sus prestaciones están muy influenciadas por la resistencia al flujo del aire y un pequeño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal.

Las características de un ventilador helicoidal son:

- Grandes caudales de aire.
- Presión disponible reducida.
- Buen rendimiento.
- Ruidosos.
- Curva plana.

El caudal de aire que transportan los ventiladores helicoidales es grande en relación a su tamaño, hélices de diámetro de 800mm puede dar hasta 30m<sup>3</sup>/h.

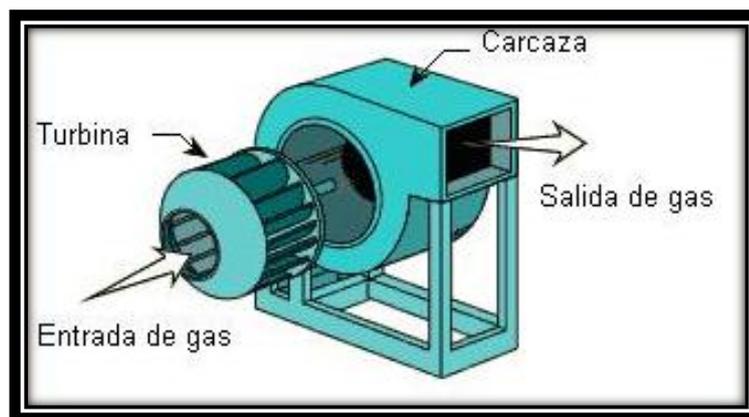
**Ventiladores tubulares:** Disponen de una hélice de alabes estrechos de sección constante o con perfil aerodinámico (ala portante) montada en una carcasa cilíndrica generalmente no disponen de ningún mecanismo para enderezar el flujo de aire. Los ventiladores tubulares pueden mover aire venciendo resistencias moderadas (menos de 50mm col H<sub>2</sub>O). Son apropiados para ser conectados a ductos y para operar en serie.

**Ventiladores turboaxiales:** Tienen una hélice de alabes con perfil aerodinámico (ala portante) montado en una carcasa cilíndrica que normalmente dispone de aletas enderezadoras del flujo de aire en el lado de impulsión de la hélice. En comparación con los otros tipos de ventiladores axiales, éstos tienen un rendimiento superior y pueden desarrollar presiones superiores (hasta 600mm col H<sub>2</sub>O).

Las directrices o compuertas tienen la misión de hacer desaparecer la rotación existente o adquirida por el fluido en la instalación, a la entrada del rodete o tras su paso por el mismo. Estas directrices pueden colocarse a la entrada o a la salida del rodete, incluso las hay fijas ó removibles.

### Ventiladores Centrífugos

Un ventilador centrífugo tiene una turbina compuesta por un número de aletas montadas alrededor de la manzana. El gas desde el lado de la turbina, gira 90°, acelera y pasa hacia las aletas del ventilador. Los ventiladores centrífugos pueden alcanzar altas presiones en el flujo de gas, por lo tanto, son los más eficaces para procesos industriales y para los sistemas de control de la contaminación, figura 3.19.



**FIGURA 3.19. Ventilador centrífugo<sup>31</sup>**

Las características que reúnen los ventiladores centrífugos son:

- Caudales algo menores.
- Presiones más elevadas.
- Buen rendimiento.
- Silenciosos.
- Son más utilizados en sistemas de control de la contaminación.

<sup>31</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.3

El uso de dámpers a la entrada o salida del ventilador es frecuente; son utilizados para controlar el flujo de gas al o desde el ventilador. Los dámpers en la salida imponen una resistencia al flujo que es utilizado para el control del flujo de gas; mientras que los dámpers colocados a la entrada se ajustan a las diferentes condiciones del proceso de acuerdo al flujo de gas que el ventilador debe manejar, figura 3.20.



FIGURA 3.20. Dámper<sup>32</sup>

### *Tipos de turbinas en ventiladores centrífugos*

Existen 3 tipos de turbinas:

- Curvas hacia delante.- En el sentido de la rotación del ventilador. Son afectados enormemente por flujos de gas con material particulado. No son utilizados en sistemas colectores, figura 3.21.
- Curvas hacia atrás.- Este tipo de ventiladores están diseñados para manejar flujos de gases con una pequeña concentración de material particulado. Son más eficientes, figura 3.21.
- Radiales.- Las aletas radiales son las que mejor desempeño tienen para flujo de gases con alta concentración de material particulado, figura 3.21.

---

<sup>32</sup> FUENTE: Foto Planta Molemotor.

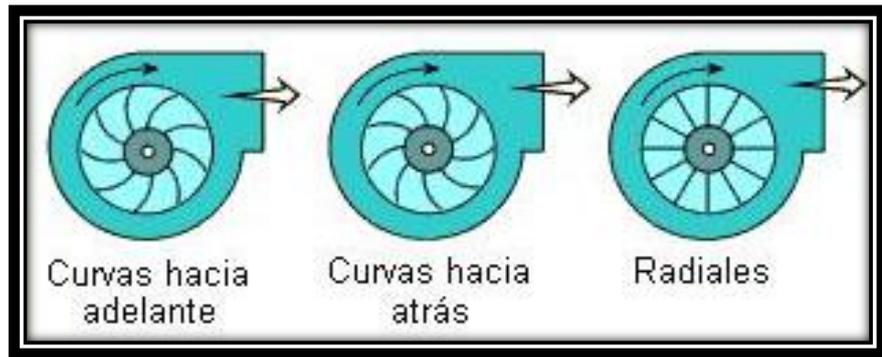


FIGURA 3.21. Tipos de turbinas<sup>33</sup>

<sup>33</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.3

# CAPÍTULO 4

## **4. DISEÑO DE UN SISTEMA COLECTOR EN BASE A LAS CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA.**

Antes de revisar las razones que afectan el funcionamiento de un filtro de mangas, es fundamental entender el concepto “sistema”. En términos muy simples, este concepto reconoce que el equipo de control para la contaminación ambiental es parte de un proceso, y por lo tanto, para prever cómo diseñar o evaluar el rendimiento de este tipo de equipos es necesario considerar el proceso completo.

Desde el punto de vista de diseño, la primero que se debe discutir es el concepto de caída de presión o de carga. En el diseño de un sistema de evacuación se deben considerar diversos factores, uno de ellos es la resistencia a la presión a través del proceso. Ingenieros de diseño estiman que la resistencia al flujo de aire a través del filtro de mangas debe ser de 100mm a 200mm (4 a 8 pulgadas) de columna de agua del lado limpio al lado sucio de la unidad. El objetivo del sistema de evacuación es transportar el flujo de gas

desde la fuente hacia el filtro de mangas o cualquier otro tipo de sistema de control para la contaminación de manera eficiente y efectiva. Por lo tanto, durante el diseño del sistema de colección se deben considerar los siguientes factores entre otros: el volumen de polvo y aire que se genera en el punto de entrada, la distancia que el flujo debe recorrer hasta el final del colector, la composición química del flujo de gas.

Asumiendo que se cuenta con la información anterior, el siguiente paso para determinar el tamaño del sistema es evaluar las características del ventilador de acuerdo a la resistencia que encontrará a lo largo del sistema. Es importante comprender que el flujo de aire enfrenta resistencia desde el punto de entrada a través del conducto y en el filtro de mangas, como así también en todas las áreas que necesitan ser evaluadas para asegurar un funcionamiento adecuado del filtro, como campanas de captura y accesorios a través de la ductería.

El proceso puede sufrir diversas modificaciones como por ejemplo aumento o disminución de la producción, cambios en el material recolectado, etc., que pueden alterar el buen funcionamiento del colector. Cualquier cambio puede afectar el volumen de los flujos de gas que a su vez altera el funcionamiento del filtro. Se considera que para evaluar de manera apropiada el funcionamiento de un filtro de mangas, es fundamental hacer una evaluación de los elementos localizados antes y después de él.

#### ***4.1. Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a desempolvar.<sup>34</sup>***

Los problemas que generan las partículas presentes en el aire están en función del rango de tamaño, de la concentración y de la composición física y química de las mismas; las partículas entre 1 y 20 $\mu$ m, tienden a seguir el movimiento del gas por cuanto viajan en el.

---

<sup>34</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

Para el traslado neumático de las partículas, es necesario captar localmente la emisión de polvo, por lo cual se debe proceder de la siguiente manera:

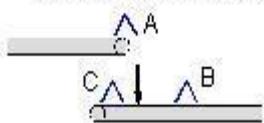
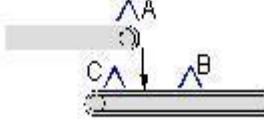
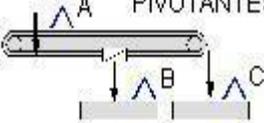
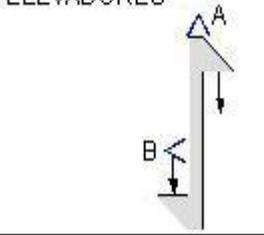
- Identificar los puntos de emisión del material particulado.
- Encerrarlo bajo una campana.
- Establecer una succión capaz de captar, arrastrar y trasladar el aire, cargado de partículas, hacia el colector de polvo y de allí para su reprocesamiento.

Estos pasos, son los que provocan la caída de presión en el sistema.

Para poder determinar el volumen de aire total, recurriremos a la tabla 4.1 y tabla 1 del anexo 13 que se utiliza para trabajos de ingeniería en las plantas y que está basado en consideraciones teóricas y empíricas.

Un sistema de desempolvado puede ser concebido para atender uno o más puntos dentro del proceso. En el proceso de trituración de piedra de la figura 2.1, un sistema puede encargarse desde la alimentación a la tolva hasta el traslado del material particulado al edificio de separación, considerando inicialmente para esto el volumen de aire que hay que ventilar en cada uno de los puntos; esto es lo primero a determinar para cualquier sistema de desempolvado. Existen estándares recomendados de acuerdo a cada aplicación al aire ambiente, la suma de los volúmenes de aire de cada uno de los puntos a desempolvar será el volumen total que el sistema manejará y el dato inicial para el diseño del colector.

**TABLA 4.1. CANTIDAD DE AIRE A DESEMPOLVAR SEGÚN LOS EQUIPOS<sup>35</sup>**

Equipo	Tam. (mm)	m³/h	Valores/consideraciones				
			A	B	C		
<b>BANDAS TRANSPORTADORAS</b> 	650	4250	1500	1750	1000	m³/h	
	850	5250	2000	2250	1000		
	1000	6500	2500	2750	1250		
	1200	7750	3000	3250	1500		
	1400	8750	3500	3750	1500		
	1600	10'000	4000	4250	1750		
<b>ALIMENTADORES DE PLACAS</b> 	800	6500	3500	2000	1000	m³/h	
	1000	7500	4000	2500	1000		
	1200	8750	4500	3000	1250		
	1400	9750	5000	3500	1500		
	1600	10'000	5500	4000	1500		
<b>ALIMENTADORES PIVOTANTES</b> 	800		2500	9000	9000	m³/h	
	1000		3000	10'000	10'000		
	1200		3500	11'000	11'000		
	1400		4000	12'000	12'000		
<b>ELEVADORES</b> 			CADENA m³/h		BANDA m³/h		m³/h
			A	B	A	B	
	400		1250	1000	2000	1000	
	500		1500	1000	2250	1000	
	630		2000	1250	2500	1250	
	800		2500	1250	3000	1250	
	1000		3000	1500	3500	1500	
1250		3500	1500	4500	1500		
1600		4000	1500	6000	1500		
<b>RASCADORES Y TORNILLOS SIN FIN</b>	200	500	POR CADA 10 METROS				
	250	500					
	315	500					
	400	750					
	500	750					
	630	1000					
	800	1000					
	1000	1250					
DESILIZADORES			120% DEL SOPLADOR				
MALLA CLASIFICADORA		50	POR TON/H ABIERTO				
ZARANDA VIBRATORIA		450	POR M2 CERRADO				
MALLA GIRATORIA		600	POR M2 CERRADO				

<sup>35</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

Los puntos críticos a desempolvar son:

1. Tolva de recepción.

$$Q = 800 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right| = 0.22 \frac{m^3}{s}$$

2. Elevador de cadena de 22" x 55".

$$Q = 2000 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right| = 0.56 \frac{m^3}{s}$$

3. Trituradora de impacto 300 T/H.

$$Q = 3000 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right| = 0.83 \frac{m^3}{s}$$

4. Banda transportadora de 36".

$$Q = 1500 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right| = 0.41 \frac{m^3}{s}$$

5. Elevador de cadena de 34" x 64".

$$Q = 2000 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right| = 0.56 \frac{m^3}{s}$$

6. 3 cribas

$$Q = 3000 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right| = 0.83 \frac{m^3}{s} \cdot 3 = 2.5 \frac{m^3}{s}$$

7. Banda transportadora de 24".

$$Q = 2000 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right| = 0.56 \frac{m^3}{s}$$

#### 4.1.1. Medidas de flujo de aire.<sup>36</sup>

El aire fluye, naturalmente desde una región de alta presión a otra más baja. Este movimiento se produce debido a la diferencia de presiones que existen entre estos dos puntos. La

---

<sup>36</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 42

velocidad del flujo depende de la resistencia que encuentre la corriente de aire. Al igual que cualquier otra cosa que se mueve, el aire ejerce una presión contra los obstáculos que se encuentre a su paso, proporcional a su velocidad. La presión debida a la velocidad es designada como *presión dinámica*.

El aire transporta las partículas a una cierta velocidad, y para el cálculo generado en el ducto será necesario el valor de la presión dinámica (VP) generada en el interior de la misma, la cual se la obtiene de la siguiente fórmula:

$$V = 4.003 \cdot \sqrt{VP} \text{ (Ecuación 1)}$$

Despejando se puede obtener el valor de la presión dinámica. Este valor servirá de ayuda para la pérdida en los accesorios ya que se encuentran en función de la presión dinámica del sistema. Este cálculo también se lo puede realizar de acuerdo a la tabla de presión dinámica para diferentes velocidades (Anexo 4).

**Presión estática:** Cuando la materia esta en movimiento, encuentra resistencia, su progreso se retarda, y el aire no es ninguna excepción. Hasta las conducciones rectas restringen su flujo, debido a la fricción contra los lados.

**Presión total:** La presión estática desarrollada por un ventilador es la presión que puede dar lugar al movimiento de aire en contra de una resistencia. En otras palabras, es la potencia disponible para efectuar el trabajo. En todo movimiento de aire existe una cierta presión dinámica y una cierta presión estática, en función de la resistencia. La suma de las dos, da la presión total desarrollada por un ventilador y se denomina presión total.

#### 4.2. Campana de captura.<sup>37</sup>

El polvo generado en el proceso debe ser capturado con una mínima velocidad de captura para que pueda ser transportado hacia el filtro. Para este fin están diseñadas las campanas de captura, llevar el polvo generado dentro del sistema, figura 4.1.

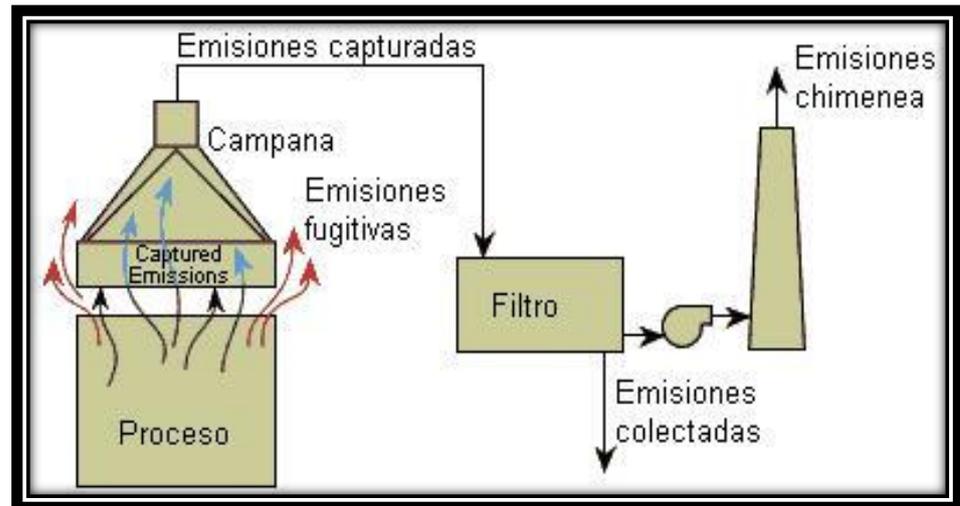


FIGURA 4.1. Emisiones capturadas/fugitivas

La ubicación de la campana es muy importante para la captura de las emisiones debido a que el caudal dentro del ducto del sistema varía con el cuadrado de la distancia entre la campana y la fuente de contaminación.

$$Q = V_h \cdot (10 \cdot X^2 + A) \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde:

Q = Caudal necesario en el punto de desempolvado.

X = Distancia desde la cara del ducto que da hacia la fuente hacia el punto más lejano de la fuente.

<sup>37</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

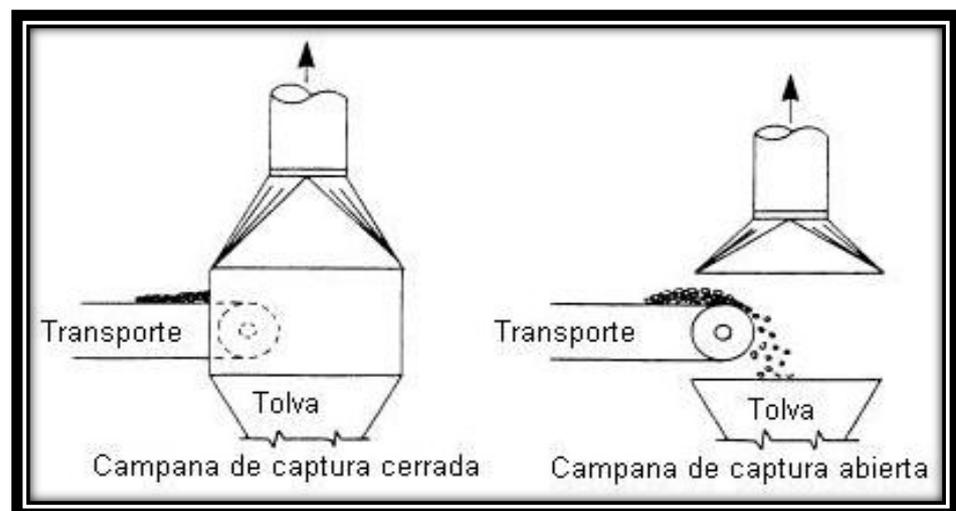
$V_h$  = La velocidad de captura a la distancia X

A = Área de la entrada de la campana.

La velocidad de captura es el nombre con que se conoce a la velocidad en la boca de una campana o cabina de las partículas flotantes en sistemas transportadores antes de entrar a la campana de captura. El polvo se mezcla con el aire en el punto de generación y es transportado a lo largo del ducto; tomas experimentales de datos han determinado los valores para las velocidades de captura en condiciones ideales para la mayoría de operaciones en la industria, que se indican en Anexo 6, tabla 1.

El diseño de la campana de captura en los puntos de succión deberá otorgar el tiro suficiente para levantar las partículas que están en combinación con el aire ambiente pero sin capturar el material que forma parte del flujo principal.

En las industrias de morteros, se utilizan campanas de capturas cerradas que proveen un mejor control de las emisiones, figura 4.2; las tapas de inspección y accesos deben ser lo más pequeños posibles.



**FIGURA 4.2. Tipos de campanas de captura**

Pérdidas de presión en campanas: La velocidad de transporte<sup>38</sup> de las partículas deberá llegar a 18 m/s como mínimo, siendo ésta la velocidad promedio para polvos industriales y para el cálculo será necesario el valor de la presión dinámica (VP) que se la obtiene la despejando de la ecuación 1:

$$VP = \left( \frac{V}{4.003} \right)^2$$

$$VP = \left( \frac{18}{4.003} \right)^2$$

$$VP = 20.22 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Ahora también necesitamos el factor de pérdida  $C_0$ , existen tablas de donde se obtiene su valor de acuerdo a las dimensiones y forma de la campana (Anexo 6, figura 1).

El valor de  $C_0$  depende exclusivamente del ángulo  $\theta$ . Es por ello que de acuerdo al diseño de la campana se obtiene un valor del ángulo de  $60^\circ$  (según plano de fabricación) y así un factor de pérdida de:

$$C_0 = 0,17$$

Adicionalmente, existen pérdidas por fricción por longitud de tubería, pérdida de energía asociada a turbulencia en contracciones, accesorios como uniones, válvulas, codos, derivaciones (Y pantalones) y obstrucción. Estas pérdidas pueden ser calculadas, usando la ecuación 3, con un apropiado factor de pérdida:

---

<sup>38</sup> **Velocidad de transporte:** Es la velocidad de aire dentro del conducto necesaria para evitar que las partículas sólidas en suspensión sedimenten y queden depositadas en el mismo.

$$H_f = K_f \cdot VP \text{ (Ecuación 3)}^{39}$$

Donde:

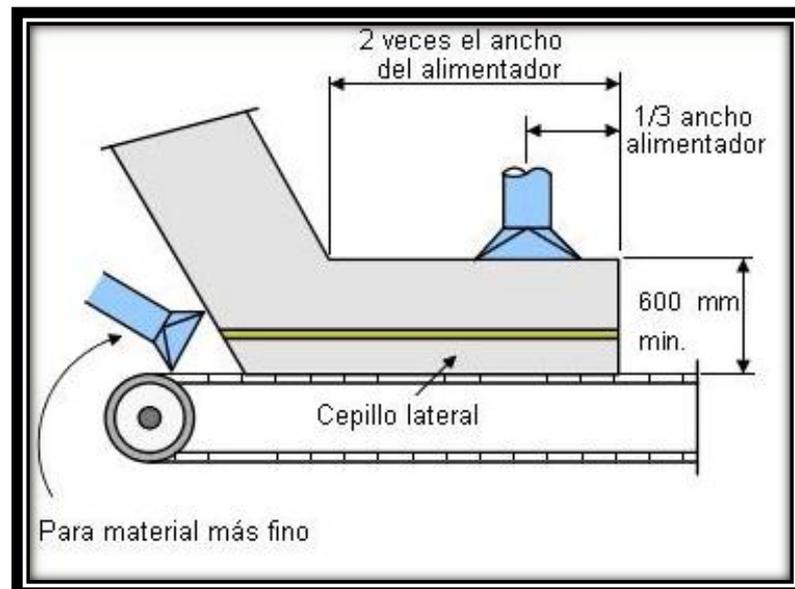
$K_f = \text{factor de pérdida de accesorio, adimensional}$

Entonces utilizando la ecuación 3, esta pérdida puede ser calculada, con el factor de pérdida apropiado:

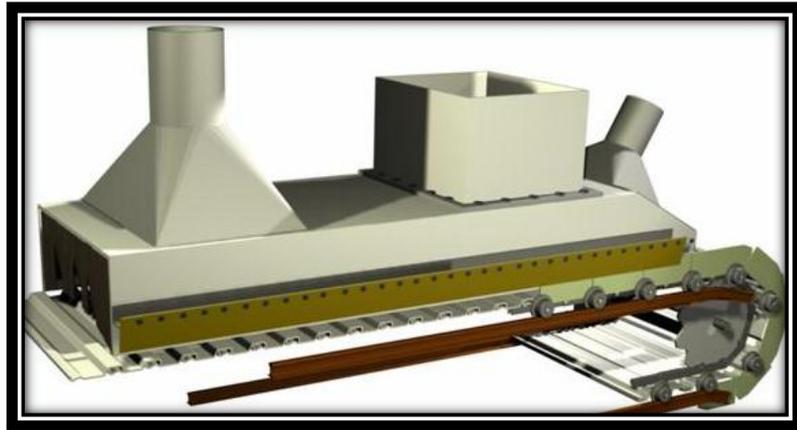
$$H_0 = 0,17 \cdot 20,22$$

$$H_0 = 3,44 \text{ mm } H_2O$$

La *cantidad de campanas de captura* para puntos de transferencia en sistemas de bandas transportadoras deberá ser igual a 3; el primer punto de succión en la parte superior a la caída de la primera banda, el segundo en la cola de la segunda banda (detrás del chute de alimentación) y el tercero en la parte frontal al chute de alimentación de la segunda banda, como vemos en la figura 4.3.



<sup>39</sup> FUENTE: BUCHELLI, Luis, Diseño Fluidodinámico de un Sistema de Extracción de Polvo en un Ingenio Azucarero, Tesis Espol Facultad De Ingeniería En Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006



**FIGURA 4.3. Campanas en bandas transportadoras<sup>40</sup>**

En la tabla se indica las dimensiones para la construcción de las campanas en base al volumen de aire en ese punto y las velocidades de entrada y salida deseadas de las partículas a través de la campana, como se aprecia en la anexo 6 figura 2. La velocidad de captura utilizada es de 1.4 m/s, que se encuentra dentro del rango permisible para su aplicación.

#### **4.3. Diseños de ductos.<sup>41</sup>**

Principios de flujo de aire.- El diseño de ductos se fundamenta en la mecánica de fluidos y sus principios. Para los análisis realizados en diseños, es necesario establecer primeramente las propiedades de los fluidos.

Para el fluido es necesario realizar las siguientes asunciones:

- Se desprecian los efectos del intercambio térmico.- Si la temperatura dentro de los ductos es significativamente diferente a la del aire de los alrededores del ducto, se produciría intercambio de calor en consecuencia se tendría un cambio de temperatura del aire y por tanto se modificaría el caudal.

<sup>40</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

<sup>41</sup> **FUENTE:** Idem.

- Se considera que el aire es incompresible.- Si la pérdida global de presión en el sistema es superior a 500 mmdca la densidad del aire cambiará aproximadamente el 5% y el caudal también se modificará. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado, pero un análisis incompresible es satisfactorio para gases y vapores con velocidades alrededor de los 18m/s.
- Se supone que el aire es seco.- La presencia del vapor de agua reduce la densidad del aire. Por lo que debe efectuarse una corrección para tener en cuenta este efecto, se debe hacer un análisis Psicrométrico<sup>42</sup>.
- Se desprecia el peso y el volumen del contaminante presente en la corriente de aire.- Si existen altas concentraciones de sólidos o cantidades significativas de gases distintos al aire, deben efectuarse las correcciones para tener en cuenta su efecto.

Cambios de presión en el sistema: Para secciones de ductos de área constante, la pérdida de presión total y la pérdida de presión estática se mantienen constantes.

En los puntos de transición en donde aumenta o disminuye la sección transversal, la pérdida de presión de velocidad disminuye de igual manera que la pérdida de presión total, pero la pérdida de presión estática puede disminuir o aumentar, dependiendo de la disminución o aumento de la sección transversal siguiente como se aprecia en la figura 4.4.

---

<sup>42</sup> **Análisis Psicrométrico:** Se lo puede realizar de forma manual o con un instrumento que utiliza la diferencia de lecturas entre dos termómetros, uno con bulbo húmedo y el otro que tiene bulbo seco, para medir el grado de humedad o la humedad relativa del aire.

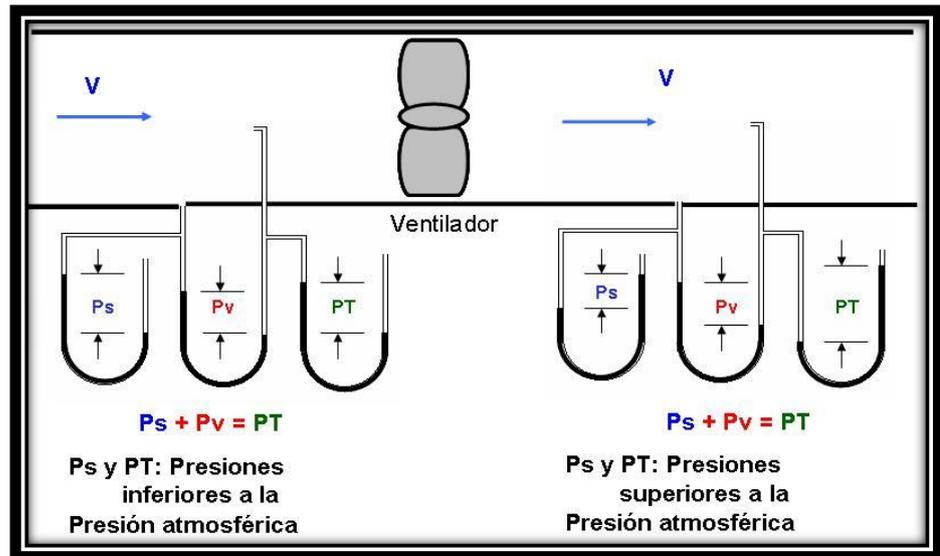


FIGURA 4.4. Cambios de presión en el sistema

Una vez que el volumen de aire en cada punto es determinado y conocido, los ductos deben ser diseñados correctamente. Ductos redondos son preferidos porque ofrecen mayor uniformidad a la velocidad de transporte evitando cambios en el comportamiento de las partículas en el aire o gas y porque pueden soportar presiones estáticas más altas que los ductos cuadrados.

Una adecuada velocidad del gas dentro del ducto permitirá que el polvo sea transportado junto con él. Básicamente, en cualquier punto del ducto, la velocidad debe estar entre 18 m/s y 20 m/s, porque si tenemos que la velocidad es menor, entonces encontraríamos material segregado a lo largo de la ductería; en cambio, una velocidad muy alta, resultaría en abrasión en el ducto, principalmente en los cambios de dirección o de sección, en donde el perfil de velocidad del flujo tiene mucho que ver.

Determinación del tamaño del ducto: El tamaño del ducto redondo puede ser determinado a través de la fórmula:

$$Q = A \cdot V \text{ (Ecuación 4)}^{43}$$

Siendo Q el caudal necesario para el sistema, A el área de la sección transversal del ducto y V la velocidad de transporte.

De la ecuación 4 despejamos el área, para luego calcular el diámetro de los ductos en cada uno de los puntos críticos de la planta a desempolvar.

1. Tolva de recepción.

$$Q = 0.22 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.22}{18}$$

$$A = 0.01m^2$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.01 \cdot 4}{\pi}} = 0.12m$$

$$D = 152mm = 6"$$

2. Elevador de cadena de 22" x 55".

$$Q = 0.56 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.56}{18}$$

$$A = 0.03m^2$$

---

<sup>43</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos para Diseño de Ducterías GE Energy, p.2

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.03 \cdot 4}{\pi}} = 0.19m$$

$$\mathbf{D = 203mm = 8''}$$

3. Trituradora de impacto 300 T/H.

$$Q = 0.83 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.83}{18}$$

$$A = 0.046m^2$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = 0.242m$$

$$\mathbf{D = 254mm = 10''}$$

4. Banda transportadora de 36''.

$$Q = 0.41 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.41}{18}$$

$$A = 0.023m^2$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.023 \cdot 4}{\pi}} = 0.17m$$

$$\mathbf{D = 177mm = 7''}$$

5. Elevador de cadena de 34" x 64".

$$Q = 0.56 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.56}{18}$$

$$A = 0.03m^2$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.03 \cdot 4}{\pi}} = 0.19m$$

$$D = 203mm = 8"$$

6. 3 cribas

$$Q_{cada\ criba} = 0.83 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.83}{18}$$

$$A = 0.046m^2$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.046 \cdot 4}{\pi}} = 0.242m$$

$$D = 254mm = 10" \quad \text{De cada criba}$$

7. Banda transportadora de 24".

$$Q = 0.35 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.35}{18}$$

$$A = 0.02m^2$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.02 \cdot 4}{\pi}} = 0.156m$$

$$D = 152mm = 6''$$

Pérdidas en ductos: Para sistemas de desempolvado, es positivo tener codos con la relación  $r/D > 1.5$ , figura 4.5; si la relación es menor a esta cantidad, la abrasión puede reducir el tiempo de vida generando desgaste y pérdidas en el sistema. Frecuentemente se encuentran diseños de ductos con problemas en los codos y variaciones de secciones, causando un acelerado desgaste en las paredes del ducto.

A mayor número de puntos de succión en el sistema, resulta más difícil balancearlo para que sea efectivo. Es por esto que se recomienda que máximo sean 8 puntos por sistema de desempolvado.

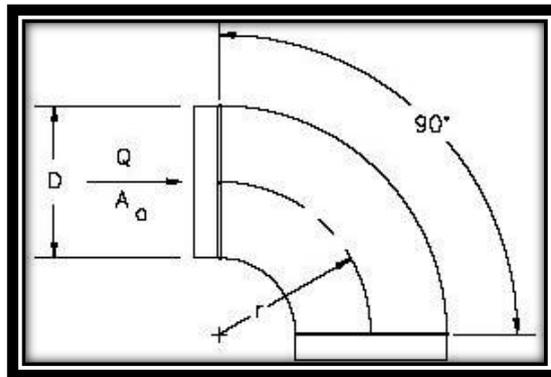


FIGURA 4.5. Relación  $r/D$  de codos en ductos

Los ductos horizontales deberían ser evitados; grandes consecuencias por efecto de la abrasión y segregación de material se presentan cuando los ductos son horizontales. Para evitar la acumulación de polvo, se recomienda que la pendiente de los ductos para el caso de la caliza y cemento sea  $30^\circ$ , con respecto al eje vertical, como se indica en la figura 4.6.

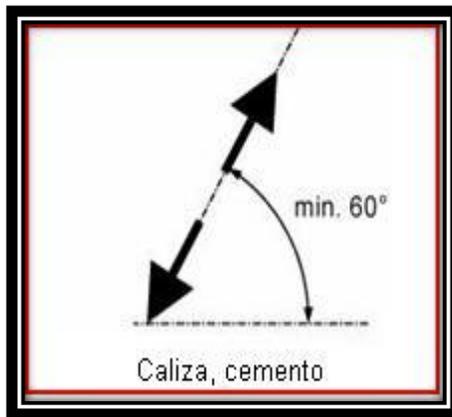


FIGURA 4.6. Pendiente en ductos para caliza y cemento<sup>44</sup>

Se recomienda para el diseño de codos y ramales en ductos, la utilización de la siguiente información en la figura 4.7.

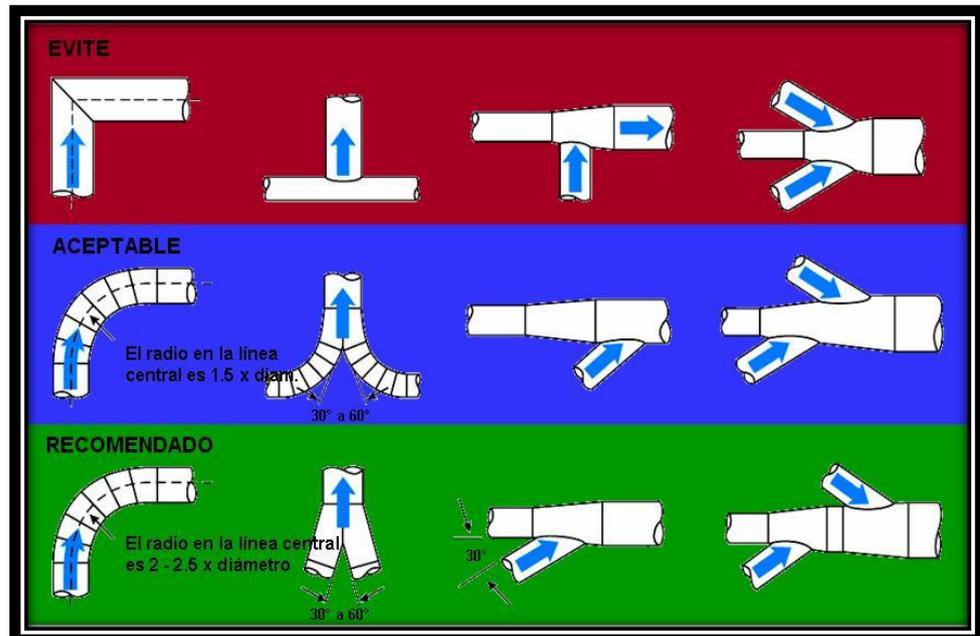


FIGURA 4.7. Diseño de ductos<sup>45</sup>

<sup>44</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

<sup>45</sup> FUENTE: BHA, *Guía de Referencias y Soluciones de Problemas*, 1998, p. 34

Se recomienda para establecer las dimensiones de codos y ramales en ductos, utilizar el Anexo 5, figura 5, en la que en base al diámetro del ducto y el ángulo de inclinación de acuerdo al material, podemos determinar el resto de dimensiones. Incluye codos hasta los 90° de inclinación.

Sabiendo que es importante mantener la misma velocidad a lo largo de ducto por las consideraciones antes mencionadas, en cada punto de succión se manejará un caudal establecido y con una velocidad requerida igual para todo el sistema, entonces queda por determinar el área de la sección transversal del ducto. Cada diseño de arreglos (codos, uniones, etc.) tiene su coeficiente de pérdidas, que deberá ser considerado en el diseño de la ductería junto a la presión de velocidad.

A medida que los diferentes ramales pertenecientes a los diferentes puntos de captura se unen para llegar al filtro como uno solo, el caudal aumenta, y si consideramos que la velocidad del flujo debe ser la misma, entonces el área deberá aumentar, lo que implica que el balance neto del flujo volumétrico debe ser igual a cero, como se observa en la figura 4.8.

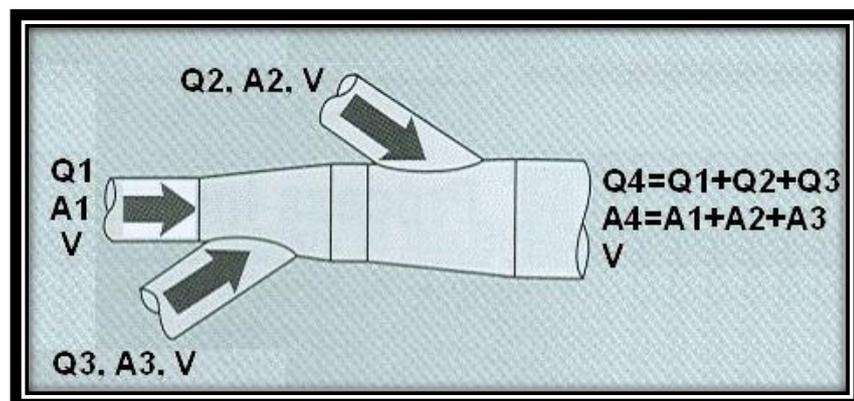


FIGURA 4.8. Velocidad constante en ducto

El caudal total para el sistema es:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$$

$$\sum Q = 800 \frac{m^3}{h} + 2000 \frac{m^3}{h} + 3000 \frac{m^3}{h} + 1500 \frac{m^3}{h} + 2000 \frac{m^3}{h} + 9000 \frac{m^3}{h} + 1250 \frac{m^3}{h}$$

$$\sum Q = 19550 \frac{m^3}{h} = 5.43 \frac{m^3}{s}$$

Las pérdidas por accesorios, es compararlas con un equivalente en longitud del conducto, que resulte en una misma caída de presión de este accesorio, también se lo puede representar en términos de porcentajes de equivalencia en presión de velocidad, este método se utilizara en esta tesis, por lo tanto la ecuación general, para la presión estática a lo largo de un tramo de conducto será:

$$SP_c = VP_c + \sum K_f \cdot VP_c \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde:

$SP_c =$  Presión estática en el conducto.

$VP_c =$  Presión dinámica en el conducto.

La caída de presión total a lo largo de la red de tuberías se da mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta P = SP_{salida} - SP_{entrada} \text{ (Ecuación 6)}^{46}$$

---

<sup>46</sup> FUENTE: BUCHELLI, Luis, Diseño Fluidodinámico de un Sistema de Extracción de Polvo en un Ingenio Azucarero, Tesis Espol Facultad De Ingeniería En Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

Utilizando las ecuaciones antes vistas, calcularemos las pérdidas de los ductos y accesorios por tramos que se presenta en el Anexo 5 y para mejor apreciación también se presenta un dibujo en 3 dimensiones:

### **Tramo D11 – D15**

$$Q = 2000 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 18 \frac{m}{s}$$

$$D = 200 \text{ mm}$$

$$VP = 20.22 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Como la entrada es por campanas se utilizara el valor calculado por la ecuación 3 para la caída de presión por aceleración del aire desde el equipo hasta la velocidad de transporte.

$$H_0 = 3,44 \text{ mm H}_2\text{O}$$

La caída de presión por unidad de longitud con diámetro de 200 mm y velocidad de conducción de 18m/s, se la determina mediante el anexo 8, figura 1.

$$h_{l/m} = 15 \text{ Pa} = 1.5 \text{ mm/mH}_2\text{O}$$

La caída de presión a lo largo de este tramo de 8.5m de longitud será:

$$h_{Lt} = h_{l/m} \cdot L_{D11}$$

$$h_{Lt} = 1.5 \cdot 8.5$$

$$h_{Lt} = 12.75 \text{ mmH}_2\text{O}$$

En el tramo existen 1 codo de 200mm a 30°, 1 codo de precipitación de 200mm a 60° aplicando el anexo 7 figura 2, figura3 y figura 4, se determinan los coeficientes, entonces aplicando la ecuación 5 se calcula la perdida por accesorios, que es la suma total de todos los accesorios que existen en esta tubería.

$$h_{acces} = \left( \sum n \cdot k \right) \cdot VP$$

$$h_{acces} = (1 \cdot 0.18 + 1 \cdot 0.6) \cdot 20.22$$

$$h_{acces} = 12.13 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Aplicando la ecuación 6 de la presión estática en este tramo será.

$$SP = VP + h_0 + h_{Lt} + h_{acces}$$

$$SP = 20.22 + 3.44 + 12.75 + 12.13$$

$$SP = 48.54 \text{ mmH}_2\text{O}$$

El proceso es repetitivo en todos los tramos, por lo que se resumirá el procedimiento:

#### **Tramo D15 – D14**

$$Q = 2000 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 18 \frac{m}{s}$$

$$D = 450 \text{ mm}$$

$$VP = 20.22 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Caída de presión por unidad de longitud con diámetro de 450 mm y velocidad de conducción de 18m/s

$$h_{l/m} = 8 \text{ Pa} = 0.8 \text{ mm/mH}_2\text{O}$$

Caída de presión a lo largo de este tramo de 2.5m de longitud será:

$$h_{Lt} = h_{l/m} \cdot L_{D15}$$

$$h_{Lt} = 0.8 \cdot 2.5$$

$$h_{Lt} = 2 \text{ mmH}_2\text{O}$$

En el tramo existe 1 codo de 200mm a 30° y una reducción de 450mm a 250mm.

$$h_{acces} = \left( \sum n \cdot k \right) \cdot VP$$

$$h_{acces} = (1 \cdot 0.18 + 1 \cdot 0.49) \cdot 20.22$$

$$h_{acces} = 9.9 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Con VP=0 y h<sub>0</sub>=0 (no hay cambio de velocidad), la presión estática en este tramo será.

$$SP = VP + h_0 + h_{Lt} + h_{acces}$$

$$SP = 0 + 0 + 2 + 9.9$$

$$SP = 11.9 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Por lo tanto la presión estática desde el tramo D11-D14 es la unión de las presiones estáticas de los tramos D11-D15 y D15-114.

$$SP_{D11-D14} = SP_{D11-D15} + SP_{D15-D14}$$

$$SP_{D11-D14} = 48.54 + 11.9$$

$$SP_{D11-D14} = 60.44 \text{ mmH}_2\text{O}$$

### Tramo D1 – D16

$$Q = 800 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D = 150\text{mm}$$

$$VP = 20.22\text{mmH}_2\text{O}$$

Entrada con campana.

$$H_0 = 3,44 \text{ mm H}_2\text{O}$$

La caída de presión por unidad de longitud con diámetro de 150 mm y velocidad de conducción de 18m/s

$$h_{l/m} = 26\text{Pa} = 2.6\text{mm/mH}_2\text{O}$$

La caída de presión a lo largo de este tramo de 9m de longitud será:

$$h_{Lt} = h_{l/m} \cdot L_{D1}$$

$$h_{Lt} = 2.6 \cdot 9$$

$$h_{Lt} = 23.4\text{mmH}_2\text{O}$$

En el tramo existen 1 codos de 150 mm a 30 °

$$h_{acces} = \left( \sum n \cdot k \right) \cdot VP$$

$$h_{acces} = (1 \cdot 0.18) \cdot 20.22$$

$$h_{acces} = 3.63 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La presión estática en este tramo será.

$$SP = VP + h_0 + h_{Lt} + h_{acces}$$

$$SP = 20.22 + 3.44 + 23.4 + 3.63$$

$$SP = 50.69 \text{ mmH}_2\text{O}$$

### **Tramo D2 – D16**

$$Q = 2000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D = 200 \text{ mm}$$

$$VP = 20.22 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Entrada con campana.

$$H_0 = 3,44 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Caída de presión por unidad de longitud con diámetro de 200 mm y velocidad de conducción de 18m/s:

$$h_{l/m} = 19 \text{ Pa} = 1.9 \text{ mm/mH}_2\text{O}$$

La caída de presión a lo largo de este tramo de 3m de longitud será:

$$h_{Lt} = h_{l/m} \cdot L_{D2}$$

$$h_{Lt} = 1.9 \cdot 3$$

$$h_{Lt} = 5.7 \text{ mmH}_2\text{O}$$

En el tramo existe una reducción de 300mm a 200mm.

$$h_{acces} = \left( \sum n \cdot k \right) \cdot VP$$

$$h_{acces} = (1 \cdot 0.6) \cdot 20.22$$

$$h_{acces} = 12.13$$

La presión estática en este tramo será.

$$SP = VP + h_0 + h_{Lt} + h_{acces}$$

$$SP = 20.22 + 3.44 + 5.7 + 12.13$$

$$SP = 41.49 \text{ mmH}_2\text{O}$$

### **Tramo D3 – D16**

$$Q = 1500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$V = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D = 200 \text{ mm}$$

$$VP = 20.22 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Entrada con campana

$$H_0 = 3,44 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Caída de presión por unidad de longitud con diámetro de 200 mm y velocidad de conducción de 18m/s

$$h_{l/m} = 19Pa = 1.9mm/mH_2O$$

La caída de presión a lo largo de este tramo de 12m de longitud será:

$$h_{Lt} = h_{l/m} \cdot L_{D3}$$

$$h_{Lt} = 1.9 \cdot 12$$

$$h_{Lt} = 22.8mmH_2O$$

En el tramo existen 1 codos de 200 mm a 30 °.

$$h_{acces} = \left( \sum n \cdot k \right) \cdot VP$$

$$h_{acces} = (1 \cdot 0.18) \cdot 20.22$$

$$h_{acces} = 3.63mmH_2O$$

La presión estática en este tramo será.

$$SP = VP + h_0 + h_{Lt} + h_{acces}$$

$$SP = 20.22 + 3.44 + 22.8 + 3.63$$

$$SP = 50.09mmH_2O$$

La diferencia en relación de presiones estáticas, entre los tramos D1-D16 y D3-D16 es aproximadamente el 1% y la relación entre estos tramos y el tramo D2-D16 es aproximadamente 21%, por lo que es necesario, cambiar el diámetro, aumentar o disminuir la longitud de la tubería, o cambiar el valor del flujo del tramo D2-D16, pero como norma básica se tiene lo siguiente:

- Si la diferencia es menor del 5%, se los consideran iguales.
- Si la diferencia está entre 5-30%, se redimensiona el flujo del tramo con menos pérdidas.
- Si la diferencia es mayor del 30%, se redimensiona el diámetro de las tuberías.

Nos apégaremos al segundo criterio de redimensionar el flujo. Como las presiones estáticas e los conductos son proporcionales al cuadrado de la velocidad y estas al flujo, entonces podemos determinar qué:

$$\frac{V'_{COND}}{V_{COND}} = \sqrt{\frac{SP_{D3-D16}}{SP_{D2-D16}}}$$

$$\frac{V'_{COND}}{18} = \sqrt{\frac{50.09}{41.49}}$$

$$V'_{COND} = 19.77 \text{ m/s}$$

$$Q'_{D2-D16} = V'_{COND} \cdot A_{D2-D16} \cdot 3600$$

$$Q'_{D2-D16} = 19.77 \cdot 31.41E - 3 \cdot 3600$$

$$Q'_{D2-D16} = 2236.38 \text{ m}^3/\text{h}$$

El dimensionamiento de los otros tramos se sigue el mismo procedimiento anterior, teniendo en cuenta que en los puntos de unión las presiones estáticas sean iguales.

$$VP = \left(\frac{V}{4.003}\right)^2$$

$$VP = \left(\frac{19.77}{4.003}\right)^2$$

$$VP = 24.39 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Entrada con campana

$$h_0 = K \cdot VP$$

$$h_0 = 0.17 \cdot 24.39$$

$$h_0 = 4.14 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Caída de presión por unidad de longitud con diámetro de 200 mm y velocidad de conducción de 19.77m/s:

$$h_{l/m} = 19 \text{ Pa} = 1.9 \text{ mm/mH}_2\text{O}$$

La caída de presión a lo largo de este tramo de 3m de longitud será:

$$h_{Lt} = h_{l/m} \cdot L_{D2}$$

$$h_{Lt} = 1.9 \cdot 3$$

$$h_{Lt} = 5.7 \text{ mmH}_2\text{O}$$

En el tramo existe una reducción de 300mm a 200mm.

$$h_{acces} = \left( \sum n \cdot k \right) \cdot VP$$

$$h_{acces} = (1 \cdot 0.6) \cdot 24.39$$

$$h_{acces} = 14.63 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La presión estática en este tramo será.

$$SP = VP + h_0 + h_{Lt} + h_{acces}$$

$$SP = 24.39 + 4.14 + 5.7 + 14.63$$

$$SP = 48.86 \text{ mmH}_2\text{O}$$

A continuación se presenta un resumen de las dimensiones de cada uno de los ductos y sus principales características, tabla 4.2:

**TABLA 4.2 Características de los tramos correspondientes a la red de tuberías del sistema de extracción de polvo.<sup>47</sup>**

<i>TRAMO</i>	<i>L (m)</i>	<i>D (mm)</i>	<i>SP (mmH<sub>2</sub>O)</i>	<i>V (m/s)</i>	<i>Q (m<sup>3</sup>/s)</i>
D1-D16	9	150	50.69	18	800
D2-D16	3	200	41.49	18	2000
D3-D16	12	200	50.09	18	1500
D16-D12	5	300	18.84	18	4300
D4-D13	14	250	61.27	18	3000
D5-D13	10	250	48.79	18	3000
D6-D18	12	250	42.89	18	3000
D7-D18	12	250	42.89	18	3000
D8-D17	5	200	34.79	18	1500
D9-D17	3	200	32.99	18	2000
D10-D17	3	200	32.99	18	2000
D17-D18	10	280	15.31	18	4000
D18-D14	4	450	16.14	18	10000
D11-D15	8.5	200	45.48	18	2000
D15-D14	2.5	450	11.9	15	2000
D14-D13	3	500	3.41	18	12000
D13-D12	3	600	2.66	18	18000
D12-D19	5	770	14.33	18	22300
D20	8	250	8.94	10	22300

Recalculando según el segundo criterio ahora presentamos la tabla 4.3  
Con los nuevos valores y la suma de pérdidas de presión entre los ductos diseñados:

<sup>47</sup> FUENTE: El Autor.

**TABLA 4.3 Características de los tramos correspondientes a la red de tuberías del sistema de extracción de polvo recalculado.<sup>48</sup>**

<i>TRAMO</i>	<i>L (m)</i>	<i>D (mm)</i>	<i>SP (mmH<sub>2</sub>O)</i>	<i>V (m/s)</i>	<i>Q (m<sup>3</sup>/s)</i>
D11-D15	8.5	200	-45.48	18	2000
D15-D14	2.5	450	-57.38	18	2000
D8-D17	5	200	-34.79	18	1500
D9-D17	3	200	-32.99	18	2000
D10-D17	3	200	-32.99	18	2000
D17-D18	10	280	-50.1	18	4000
D6-D18	12	250	-45.86	18.95	3349.47
D7-D18	12	250	-45.86	18.95	3349.47
D18-D14	4	450	-62.00	18	10000
D14-D13	3	500	-60.79	18	12000
D4-D13	14	250	-61.27	18	3000
D5-D13	10	250	-58.29	20.29	3586.29
D13-D12	3	600	-63.45	18	18000
D1-D16	9	150	-50.69	18	800
D2-D16	3	200	-48.86	19.77	2236.38
D3-D16	12	200	-50.09	18	1500
D16-D12	5	300	-68.93	18	4300
D12-D19	5	770	-77.78	18	22300
D20	5	800	+8.94	10	22300

Aplicando la ecuación 6 y reemplazando por los valores de presiones de la tabla 4.3, la caída de presión total a lo largo de la red de tuberías, es:

$$\Delta P = 8.94 - (-77.78)$$

$$\Delta P = 86.72 \text{ mmH}_2\text{O}$$

#### **4.4. Colector de polvo.<sup>49</sup>**

<sup>48</sup> FUENTE: El Autor.

El cuerpo principal del colector tiene 3 secciones; una sección de aire limpio (plenum limpio) en la parte superior, la cámara de filtrado que contiene un número de mangas cilíndricas en la parte central, y una tolva para alojar el polvo en la parte inferior. Las tres partes mencionadas están separadas por una lámina que tiene como fin mantener la cámara de filtrado separada del plenum de aire limpio.

El aire contaminado entra al colector pasando por un difusor, que absorbe el impacto de las partículas debido a su velocidad al ingresar, distribuyendo el aire y reduciendo la velocidad. Al reducir la velocidad de las partículas, causa que las más pesadas se precipiten a la tolva para ser descargadas posteriormente fuera del filtro. El aire con las partículas más finas fluye hacia la unidad o cámara de filtrado depositando las partículas del polvo fino en la parte exterior de las mangas. El aire limpio continúa hacia el plenum limpio y finalmente llega a la atmósfera, figura 4.9.

Las mangas periódicamente se limpian por un momentáneo pulso de alta presión de aire comprimido que viene desde la parte limpia del filtro. Las flautas, ubicadas en base a un arreglo rectangular formando filas sobre cada fila de las mangas, son las encargadas de llevar el aire comprimido y generar el pulso.

El golpe de aire generado por el pulso se optimiza con el uso de venturis localizados en la parte superior de las mangas, que logra una distribución uniforme del pulso de aire a lo largo de la manga en las dos vías (ida y retorno).

---

<sup>49</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

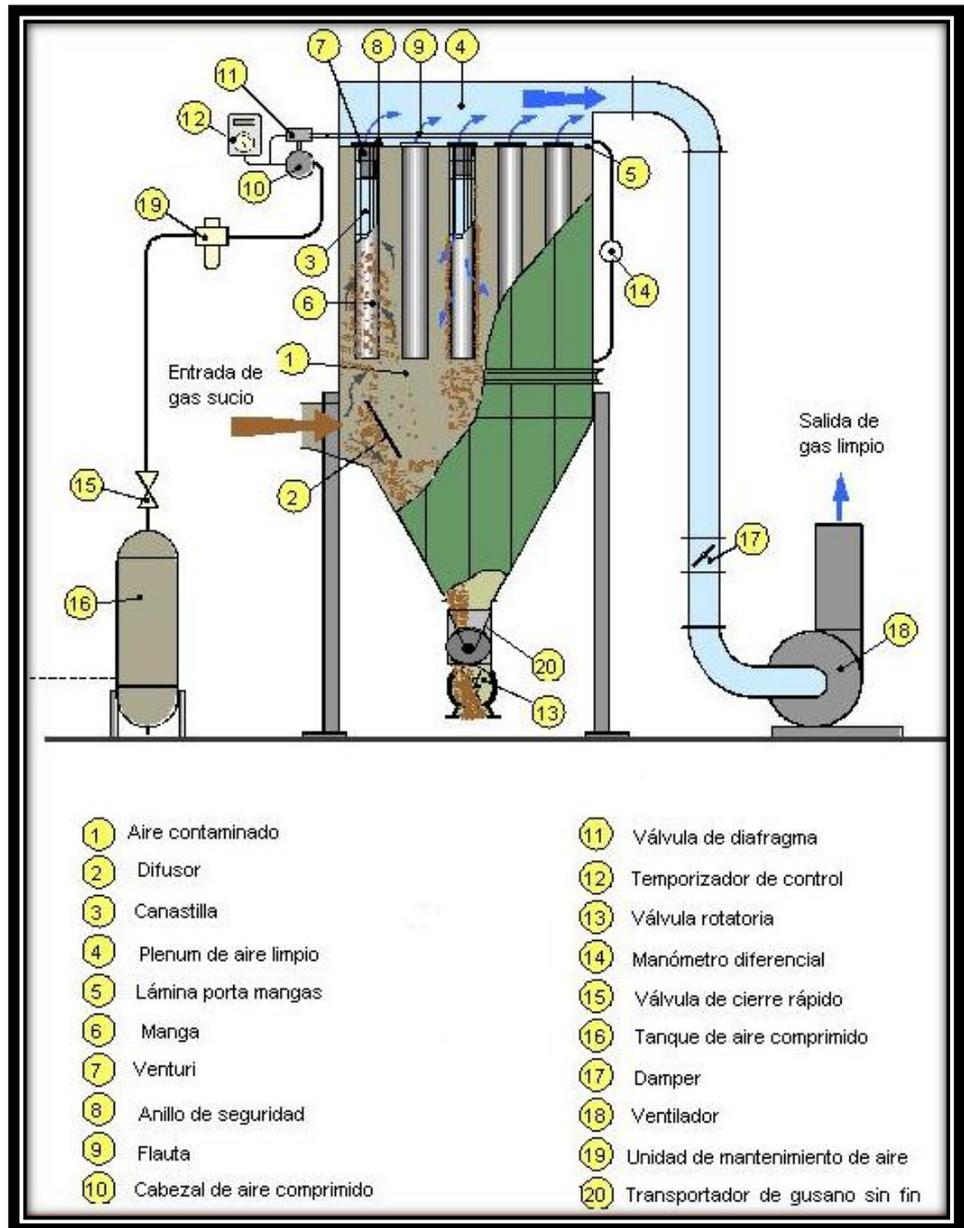


FIGURA 4.9. Elementos mecánicos en un colector de polvo Pulse-Jet<sup>50</sup>

#### 4.4.1. Velocidad de Filtración (Relación aire-tela)

La velocidad de filtración para obtener la caída de presión total se la conoce como la relación gas tela, que se la define como la razón entre el gas filtrado de un metro cubico por minuto y el medio filtrante de un metro cuadrado de área; se la expresa como:

<sup>50</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

$$A/T = V_f = \frac{Q \left[ \frac{m^3}{min} \right]}{A_T [m^2]} \quad (\text{Ecuación 7})^{51}$$

De donde Q es el caudal de diseño del colector y del sistema y AT es el área total filtrante, que viene dada por:

$$A_T = \pi \cdot C_m \cdot D_m \cdot L_m \quad (\text{Ecuación 8})^{52}$$

Siendo  $C_m$  la cantidad de mangas en el filtro,  $D_m$  el diámetro de las mangas y  $L_m$  la longitud de las mangas, y utilizando la ecuación 8 se obtiene:

$$A_T = \pi \cdot 252 \cdot 0.152 \cdot 2.54$$

$$A_T = 267.5m^2$$

Y con la ecuación 7 obtenemos la relación aire tela, lo cual se ratifica con la tabla 4.4

$$A/T = V_f = \frac{375 \frac{m^3}{min}}{267.5m^2}$$

$$A/T = 1.47 \frac{m^3}{m^2 \cdot min}$$

**TABLA 4.4 Relaciones de Aire Tela Típicas<sup>53</sup>**

<i>Tipo de limpieza del colector</i>	<i>Rel. Aire/Tela en m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup></i>
<b>Sacudido</b>	0.76-0.91
<b>Aire Reverso</b>	0.61-0.76
<b>Plenum Pulse</b>	1.07-1.22
<b>Pulse-Jet</b>	1.52-1.83

<sup>51</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

<sup>52</sup> *Idem.*, P.18

<sup>53</sup> FUENTE: GE, *Diseño Básico de Colectores Pulse-Jet* GE Energy, p.2

#### 4.4.2. Criterio de selección para la tela de filtrado

Existen dos grupos principales de textiles para el filtrado, el tejido y el no tejido (llamado también fieltro), figura 4.12. Cuando se trata del textil tejido, es posible conocer la porosidad debido a que lleva un patrón constante de construcción, mientras que el fieltro, tiene una porosidad infinita (mucho mayor que el textil tejido) debido a la falta de patrón en la costura. En este tipo de textil, la velocidad de filtración es muy alta y no aplica para los filtros de aire reverso porque la tensión que sufren las mangas al limpiar es mayor que en otros tipos de filtros.

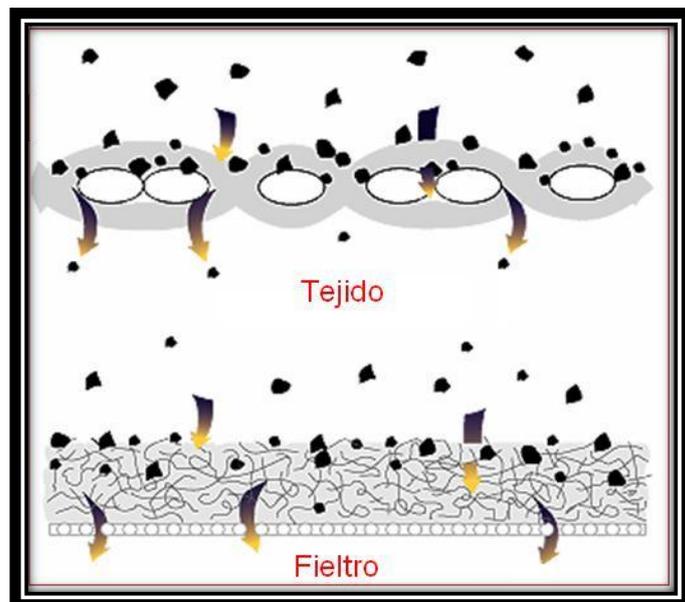


FIGURA 4.10. Tipos de textiles para mangas<sup>54</sup>

La selección del tejido es un aspecto sumamente importante para la operación de cualquier filtro de mangas. En el anexo 8 se tiene una tabla donde lista algunos de los tejidos en uso actual y proporciona información sobre límites de temperatura y de resistencia química. Dependiendo de la selección, el sistema

<sup>54</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 14

funcionará correctamente durante la operación o presentará problemas. Entre los aspectos más importantes a considerar para la selección tenemos:

- Tipo de colector, particularmente su tipo de limpieza
- Temperatura
- Composición química de la mezcla gas/polvo
- Abrasividad del material

Además, el medio filtrante debe satisfacer las siguientes condiciones:

- Alta permeabilidad, para menores pérdidas
- Gran capacidad para soportar esfuerzos
- Estabilidad térmica a temperatura de operación

#### **4.4.3. Dimensionamiento de mangas**

Las dimensiones de las mangas dependen de la eficiencia de limpieza y de las dimensiones de la cámara de filtrado. Generalmente el diámetro de las mangas se encuentra entre los 120mm y 160mm. Por efectos de estandarización por parte de los proveedores de mangas, la mayoría de los filtros deben coincidir para que solamente una medida y tipo de mangas sea utilizado.

A medida que aumenta la longitud de las mangas es posible que no queden perfectamente verticales en el montaje, causando que se toquen las mangas en la parte inferior de ellas, provocando desgaste debido a la fricción; además, las mangas más largas (>100”) son más difíciles para limpiar en caso de que un agujero sea la causa del ingreso de polvo a la manga.

Se recomienda cumplir la siguiente relación para evitar el problema descrito anteriormente:

$$\frac{L_m[m]}{D_m[m]} \leq 25 \quad (\text{Ecuación 9})^{55}$$

Siendo  $L_m$  la longitud de la manga y  $D_m$  el diámetro de la manga, para nuestro diseño se tiene una manga de  $\varnothing = 6''$  y  $L = 100''$

$$\frac{100}{6} \leq 25$$

$$16.67 \leq 25$$

#### 4.4.4. Número de mangas por columna

El número máximo de mangas por columna no debe ser mayor a 15 o 16, figura 4.13. Mientras mayor sea el número de mangas, la longitud de la flauta que transporta el aire comprimido para la limpieza será mayor, y con esto las pérdidas serán mayores al llegar a la última columna de mangas, afectando la limpieza.

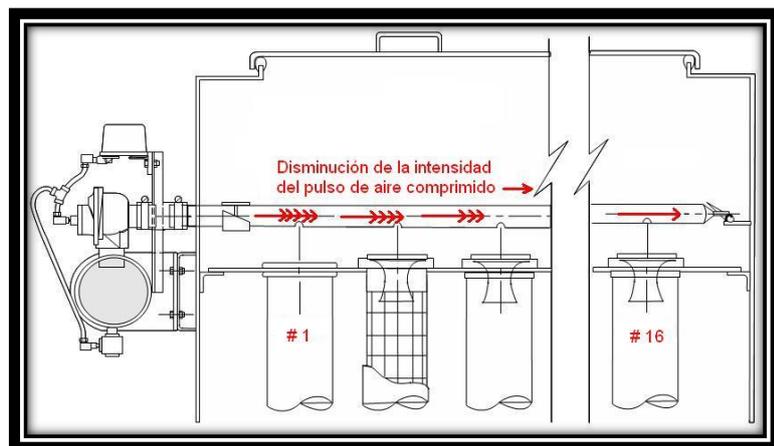


FIGURA 4.11. Número de mangas por columna<sup>56</sup>

<sup>55</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

<sup>56</sup> FUENTE: BHA, *Guía de Referencias y Soluciones de Problemas*, 1998, p. 15

Con los valores obtenidos anteriormente se procede a calcular el área de una manga del filtro:

$$A = (\pi \cdot \phi \cdot L) + (\pi \cdot R^2) \quad (\text{Ecuación 10})^{57}$$

$$A = (\pi \cdot 0.152 \cdot 2.54) + (\pi \cdot 0.076^2)$$

$$A = 1.23m^2$$

El número de mangas viene dado por la siguiente ecuación:

$$\#Mangas = \frac{Q \left[ \frac{m^3}{min} \right]}{A/T \left[ \frac{m^3}{m^2 \cdot min} \right]} \div A[m^2] \quad (\text{Ecuación 11})^{58}$$

$$\#Mangas = \frac{375}{1.5} \div 1.23$$

$$\#Mangas = 204 \text{ Unidades}$$

Haciendo un arreglo se usaran 21 columnas por 12 filas dando un número de mangas de 252 unidades, siendo este el número de mangas con la que cuenta el filtro en la planta.

$$\#Mangas = 252 \text{ Unidades}$$

#### 4.4.5. Canastillas

Las canastillas son utilizadas con el fin de que en los periodos de limpieza o filtración, las mangas no colapsen manteniendo su forma cilíndrica a lo largo de la misma. Las canastillas son básicamente un alambrado, preferiblemente de una sola pieza y resistente a la corrosión, que tiene forma cilíndrica con anillos de forma circular a lo largo de la manga y con varillas verticales para completar la forma cilíndrica y poder alojarse dentro de la manga, figura 4.14.

<sup>57</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

<sup>58</sup> *Idem.*, p. 20

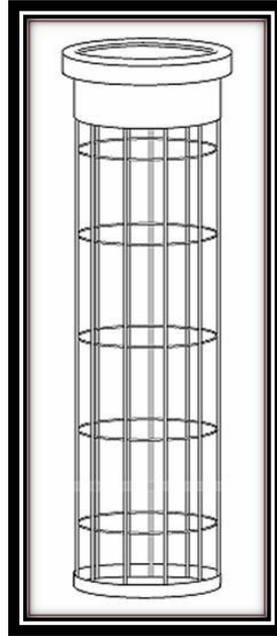
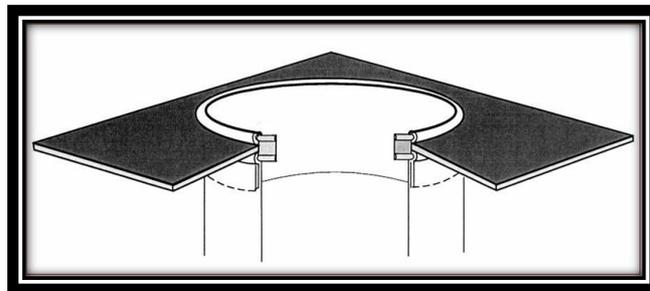


FIGURA 4.12. Canastilla para mangas<sup>59</sup>

#### 4.4.6. Fijación de las mangas

Las mangas se aseguran a la lámina portamangas en la parte superior de la cámara de limpieza. En ningún momento el seguro de la manga tiene la función de soportar el peso de la canastilla. La canastilla se soporta desde la lámina portamangas en la parte superior de ésta. Los seguros de las mangas se utilizan para que éstas no se suelten durante la limpieza dejando a las canastillas sin superficie filtrante, figura 4.15.



<sup>59</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

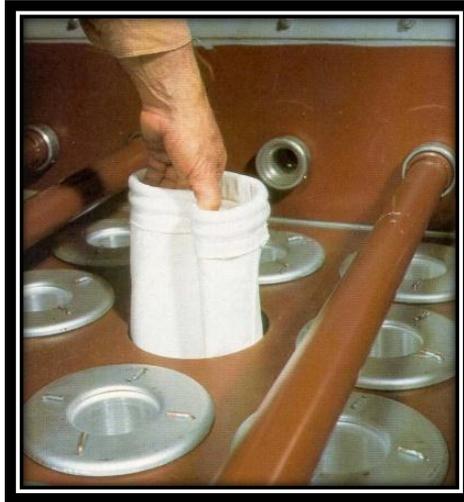


FIGURA 4.13. Fijación de mangas con fleje metálico.<sup>60</sup>

#### 4.4.7. Venturis

Los venturis son componentes integrales en la mayoría de colectores del tipo pulse-jet, figura 4.16. Se encarga de dirigir el disparo de aire comprimido hacia el centro de la manga con el fin de prevenir abrasión provocada por posibles desalineamientos de las flautas.

Una buena configuración de los venturis garantiza un eficiente desprendimiento de la capa de polvo y ahorro en el consumo de aire comprimido al ser más eficiente la limpieza por cada disparo generado.

Si los venturis sufren algún desperfecto, el aire comprimido no alcanza la velocidad requerida para limpiar efectivamente las mangas.

---

<sup>60</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

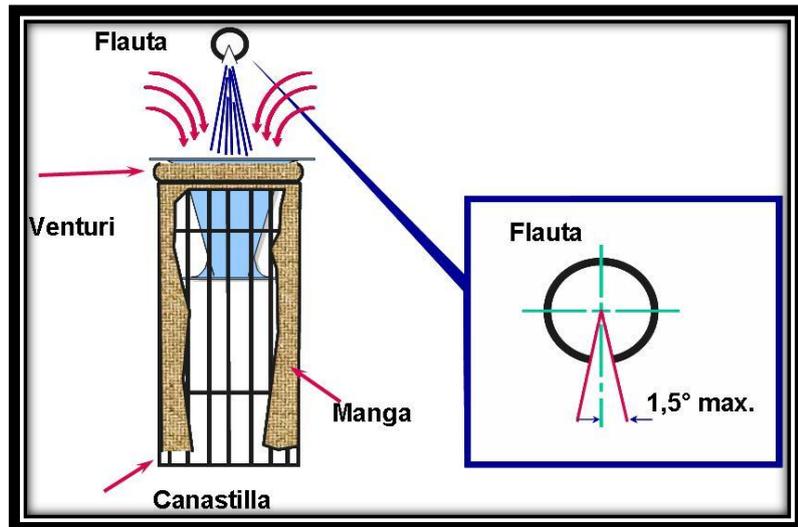


FIGURA 4.14. Venturi para filtros de mangas pulse-jet<sup>61</sup>

#### 4.4.8. Tolva de descarga

Por lo general, el polvo tiende a aglomerarse en las paredes de la tolva debido a que las esquinas son rectas. Se recomienda que las esquinas de las tolvas sean redondeadas y que el ángulo de inclinación no sea menor a 55°.

Un problema frecuente que se presenta, es la aglomeración del material en tolvas piramidales debido a la pequeña abertura de descarga y a la baja inclinación de las paredes evitando que el material se mueva por gravedad con facilidad, figura 4.17.

Para este caso, se recomienda modificar la salida colocando un transportador sin fin directamente a la salida de la tolva en lugar de colocar primeramente compuertas doble péndulo o válvulas rotatorias, figura 4.18. Este caso es el que se utiliza en la planta por que tiene mayor eficiencia de recolección.

<sup>61</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

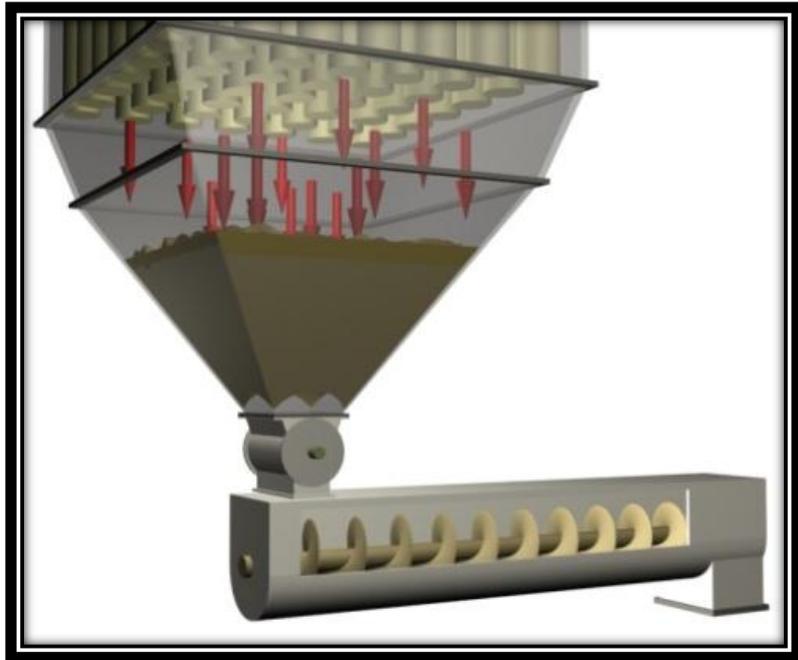


FIGURA 4.15. Atoramiento de tolva<sup>62</sup>

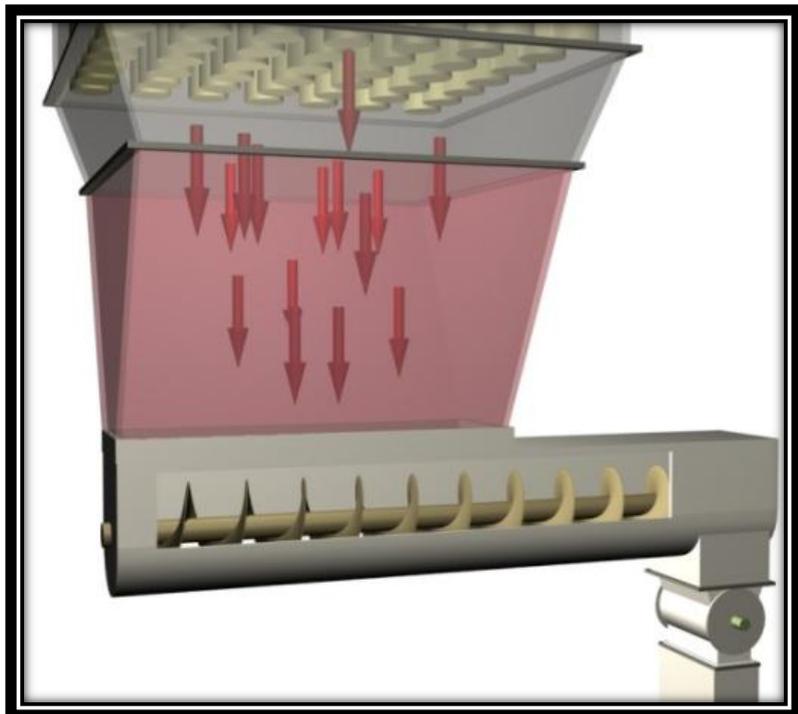


FIGURA 4.16. Modificación de tolva<sup>63</sup>

<sup>62</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

#### 4.4.9. Transportador de Gusano sin fin<sup>64</sup>

Posterior a la tolva de descarga, se encuentra el transportador de tornillo como también se lo conoce que hace sello para evitar la entrada de aire falso no calculado en el sistema. El órgano de trabajo es el tornillo que gira en un canal cerrado cuya parte inferior tiene forma de semicilindro.

Por lo general para polvos se utiliza tornillos continuos, figura 4.17. Como la planta ya cuenta con un transportador sin fin se procede a realizar el cálculo para comprobar si se puede seguir utilizando el transportador existente o cambiarlo.



FIGURA 4.17. Transportador de tornillo sin fin continuo.<sup>65</sup>

Para determinar el la máxima velocidad de rotación del eje del tornillo comienza asumiendo un valor de diámetro de 250 mm.

<sup>63</sup> *Idem.*, p.18

<sup>64</sup> FUENTE: GARCÍA, David, *Equipo para el transporte de materiales de la industria azucarera, transportadores y bomba*, Unidad de producción del EMAV, Cuba, 1987, p.72

<sup>65</sup> FUENTE: [www.inagromecanica.com](http://www.inagromecanica.com)

$$n_{max} = \frac{A}{\sqrt{D}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

A es una constante que se obtiene del Anexo9, tabla 1.

$$A = 45$$

Aplicando la ecuación 12 obtenemos:

$$n_{max} = \frac{45}{\sqrt{0.25}}$$

$$n_{max} = 90 \text{ rpm}$$

Asumimos  $n = 20\text{rpm}$  y se comprueba si los valores asumidos garantizan la capacidad requerida.

$$Q = 47 \cdot D^2 \cdot p \cdot n \cdot \varphi \cdot \gamma \cdot k \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

Q es la productividad, Ton/h

D es el diámetro del tornillo, m (asumido)

p es el paso de la hélice, m, tabla 2, Anexo 9

$$p = 0.2$$

$\varphi$  es el coeficiente de llenado de la sección transversal del tornillo, Anexo 9, tabla1

$$\varphi = 0.25$$

$\gamma$  es el peso específico del material, Ton/m<sup>3</sup>, Anexo 3

$$\gamma_{Caliza} = 1.8 \text{ Kg/dm}^3 = 1.8 \text{ Ton/m}^3$$

k es el coeficiente que tiene en cuenta el ángulo de inclinación del tornillo respecto a la horizontal. Tabla 3, Anexo 9

$$k = 1$$

n es el numero de revoluciones por minuto del tornillo, rpm

Reemplazando los valores en la ecuación 12 se obtiene:

$$Q = 5.28 \text{ Ton/h}$$

Como se observa con  $n = 20 \text{ rpm}$ ,  $D = 0.25\text{m}$  y  $p = 0.2\text{m}$  se satisface la cantidad requerida  $Q = 2.5 \text{ Ton/h}$ .

La potencia necesaria por el transportador a plena carga se calcula mediante la ecuación 14:

$$P = P_H + P_N + P_{St} \text{ (Ecuación 14)}$$

Donde:

PH = potencia necesaria para el desplazamiento del material.

PN = potencia para el accionamiento del tornillo en vacío.

PSt = potencia requerida por la inclinación.

Así pues, la potencia necesaria para desplazar el material se obtiene por la ecuación 15:

$$P_H = \frac{Q \cdot L \cdot w_0}{367} \text{ (Ecuación 15)}$$

Donde:

L es la longitud del transportador entre los ejes de los conductos de alimentación y descarga, m

$$L = 8m$$

$w_0$  es el coeficiente total de resistencia al movimiento, tabla 1, Anexo 9

$$w_0 = 2.5$$

Al aplicar la ecuación 13 se encuentra la potencia consumida.

$$P_H = 0.21kW = 0.28HP$$

La potencia  $P_N$  es muy pequeña comparada con la requerida para el desplazamiento del material. El valor es proporcional al diámetro y la longitud del tornillo. Aplicando la ecuación 16 se obtiene:

$$P_N = \frac{D \cdot L}{20} \text{ (Ecuación 16)}$$

$$P_N = 0.18kW = 0.24HP$$

La potencia requerida por la inclinación, en nuestro caso es 0 porque esta en disposición horizontal.

$$P_{St} = \frac{Q \cdot H}{367} \text{ (Ecuación 17)}$$

$$P_{St} = 0$$

La potencia total requerida por el transportador según la ecuación 14 es:

$$P = 0.28 + 0.24 + 0$$

$$P = 0.52HP$$

#### 4.4.10. Válvulas a la salida<sup>66</sup>

Estas se pueden ubicar antes o posterior a la tolva de descarga, en nuestro caso se ubicara luego de la descarga, aparte de controlar el flujo también hacen de sello para evitar la entrada de aire falso no calculado en el sistema. Tenemos las válvulas rotatorias y la pendulares (dobles o triples).



VALVULA ROTATORIA



VALVULA DOBLE PENDULAR

**FIGURA 4.18. Diferentes tipos de válvulas de salida.**

Generalmente, las válvulas rotatorias se utilizan para el cemento y caliza; las pendulares se utilizan con el clínker. El mantenimiento de estos elementos es igual de importante que cualquier parte del sistema; hay que controlar el desgaste de las aletas de las válvulas rotatorias con respecto a la coraza y de igual manera, el movimiento de las pendulares debe ser libre. Algún trabamamiento de una pendular podría generar atoramientos en las tolvas si es que falló cerrada, o entrada constante de aire falso si falló abierta.

<sup>66</sup> FUENTE: [www.colectoresdepolvo.com](http://www.colectoresdepolvo.com)

#### **4.4.11. Cámara limpia<sup>67</sup>**

El uso de una cámara de gas limpio en lugar de simples compuertas superiores resulta en una mejor práctica para mantenimiento. La altura de la cámara limpia debe ser mayor que la longitud de las mangas con el fin de poder sacar las canastillas hacia arriba y además para permitir el ingreso del personal de mantenimiento. En el Anexo 5, se puede observar el cálculo y diseño de un filtro de mangas con todas las consideraciones antes mencionadas.

#### **4.4.12. Perdidas en el filtro de mangas.<sup>68</sup>**

Las pérdidas de presión en el filtro de mangas se producen por dos factores: el primero es la caída de presión cuando los gases circulan por los ductos de entrada y salida, y el segundo es la caída de presión que se produce cuando los gases son filtrados por las mangas. De acuerdo a los valores experimentales que se obtiene al evaluar estas dos pérdidas de presión, se debe considerar que la primera es despreciable con respecto a la segunda. Por esta razón se procede a evaluar la pérdida de presión que se produce cuando los gases son filtrados al atravesar las mangas.

Cuando las mangas están limpias se produce una caída de presión determinada, la misma que va aumentando a medida que pasan los gases, ya que, se va acumulando el polvo en la superficie filtrante. Se debe entonces inyectar un chorro de aire comprimido

---

<sup>67</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

<sup>68</sup> **Idem.**

cada determinado tiempo para limpiar las mangas y evitar que la caída de presión sea demasiado elevada.

La pérdida de presión, cuando las mangas están limpias se la puede calcular con la siguiente fórmula empírica determinada por Dennis & Klemm<sup>69</sup> (1979):

$$(Pe)_{\Delta w} = 1045 \cdot V_f \cdot P_f^{-0.65} \text{ (Ecuación 18)}$$

Luego que transcurre cierto tiempo  $t$ , la caída de presión es:

$$\Delta P_f = (Pe)_{\Delta w} + K_2 \cdot W_0 \cdot V_f \text{ (Ecuación 19)}$$

$$W_0 = C_i \cdot V_f \cdot t \text{ (Ecuación 20)}$$

Donde:

$C_i$  = Es la cantidad de polvo que circula por unidad de longitud de volumen de gas.

$$C_i = 0.01$$

$V_f$  = La velocidad de filtración.

$$V_f = 1.5 \text{ m/min}$$

$t$  = Es el tiempo en segundos entre los pulsos de aire comprimido que se aplican a una manga para su limpieza.

$K_2$  = Es la resistencia al flujo debido a la acumulación de polvo en la superficie de la manga, este valor se lo determina experimentalmente.

$$K_2 = 1.5 \times 10^5$$

---

<sup>69</sup> **DENNIS Y KLEMM (1979:)** Propusieron la ecuación semiempírica para la eficiencia total en función del tiempo de operación entre los ciclos de limpieza.

$P_f$  = Es la presión a la cual se inyectan los pulsos de aire comprimido, esta presión no debe pasar del rango de 415-830 KPa, para nuestro caso específico es:

$$P_f = 552KPa$$

$W_0$  = Es la masa de polvo como una función del tiempo.

Por lo tanto, aplicando la ecuación 19, la caída de presión luego de inyectar el pulso de aire para la limpieza de mangas es:

$$(Pe)_{\Delta w} = 1045 \cdot 0.025 \cdot 552^{-0.65}$$

$$(Pe)_{\Delta w} = 0.413KPa$$

$$(Pe)_{\Delta w} = 42.14mmH_2O$$

Si el tiempo de filtración de 5 minutos, es decir 300 segundos, aplicando la ecuación 20 tenemos que la cantidad de polvo por unidad de tiempo es:

$$W_0 = 0.009 \cdot 0.025 \cdot 300$$

$$W_0 = 0.067 \text{ Kg/m}^2$$

La diferencia de presión encontrada en el filtro de mangas aplicando la ecuación 18 es:

$$\Delta P_f = 0.413 + \frac{1.5 \times 10^5 \cdot 0.067 \cdot 0.025}{1000}$$

$$\Delta P_f = 0.6602KPa$$

$$\Delta P_f = 67.32mmH_2O$$

#### 4.5. Selección del ventilador.<sup>70</sup>

Para la selección del ventilado se requiere calcular la caída de presión a lo largo del todo el sistema de extracción que será, la suma de la caída de presión de la red de tuberías y la caída de presión del colector de polvo, aplicando la ecuación 6, para la caída de presión en la red de tuberías.

$$SP_{vent} = 86.72 + 67.32$$

$$SP_{vent} = -154.04mmH_2O$$

Donde:

$$SP_{vent} = \text{Presion total necesaria del ventilador.}$$

El valor negativo es debido a que representa la presión negativa que deberá originar el ventilador centrífugo, el mismo que se encuentra en el rango de los ventiladores de media presión que van desde 100-300mm col H<sub>2</sub>O.

La selección del ventilador se basara principalmente en la comparación de diferentes modelos (curvas de funcionamiento), proporcionando la eficiencia mecánica mayor posible en el punto de operación determinado. Todo lo anteriormente detallado depende del criterio de selección del diseñador.

El ventilador a seleccionar, se lo colocara en la zona de aire limpio, en la parte superior del cuerpo del colector, por lo tanto debe cumplir las siguientes características:

---

<sup>70</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.7

- Tipo Centrífugo.
- De alabes hacia atrás (alta eficiencia).
- Operación con aire limpio, sin abrasión.
- Caída de presión Total= 154.04 mmH<sub>2</sub>O=1510.61Pa
- Caudal = 22500 m<sup>3</sup>/h
- Temperatura de Operación: Entre 30 y 60°C.
- Eficiencia Mecánica: alrededor del 70%.
- Potencia Requerida:

La potencia de consumo adecuada que necesita el ventilador depende de la resistencia que debe vencer o caída de presión y del caudal que debe generar como sigue:

$$P = \frac{Q \cdot \Delta p}{3600 \cdot 75 \cdot n_t} \text{ (Ecuación 21)}$$

$$P = \frac{22000 \cdot 154.04}{3600 \cdot 75 \cdot 0.7}$$

$$P = 13.19kW(17.7HP)$$

Por factor espacio se tiene que reubicar el ventilador para ello se dispone de una tabla de las posibles posiciones de la salida de la boca de aspiración que pueden dividirse en posiciones normales y posiciones especiales, totalizando un número de 16, y todas ellas se muestran en el anexo 10, figura 1.

En el sistema de limpieza pulse - jet es necesario saber cuántas válvulas solenoides son requeridas, normalmente la selección de una válvula de control se basa en el criterio de la relación de flujo Q (caudal) que se necesita producir, pero en nuestro caso el principal requerimiento es generar un pulso de aire comprimido muy corto en duración (de 0.1 a 0.3 segundos) constante.

Se puede consultar al fabricante, con las siguientes condiciones de funcionamiento para su respectiva selección de válvula:

- Presión de limpieza = 80 psi ( 0.55Mpa)
- Tiempo de apertura = 250 ms (Valor típico de las Válvulas para filtros de mangas)
- Número de mangas = 252

# CAPÍTULO 5

## 5. SIMULACIÓN DEL SISTEMA COLECTOR IMPLEMENTADO.

### 5.1. Selección del software.<sup>71</sup>

Los programas de AEF (Análisis por Elementos Finitos), permiten obtener soluciones aproximadas de problemas que sean susceptibles de ser representados por un sistema de ecuaciones diferenciales.

En Ingeniería, la mayoría de los procesos actuales están definidos de dicha forma, por lo que dichos programas nos permitirán obtener productos de calidad superior a un menor coste, o para mejorar procesos existentes, o para estudiar el fallo de un componente estructural o un equipo.

---

<sup>71</sup> FUENTE: INGENIEROS INDUSTRIALES GIJON - Ansys - Tutorial castellano

Si se utiliza un programa de AEF se puede ayudar a reducir el tiempo total de desarrollo de un producto, reduciendo el número de ciclos prototipo-pruebas-ensayos-evaluación. Incluso en algunos casos, no es deseable o práctico el realizar un prototipo.

Existen en la actualidad numerosos programas de análisis por elementos finitos, tales como ABAQUS, COSMOS, PATRAN, NASTRAN, STRUDL, CAEPIPE, etc.; de entre todos he elegido ANSYS por tratarse de una herramienta versátil de análisis por elementos finitos, y cumple con la necesidad de simular el filtrado de flujos con partículas.

## 5.2. *Bases teóricas.*<sup>72</sup>

El programa permite la realización de muchos tipos de análisis, debido a que ANSYS se trata de un programa de “Uso General” que quiere decir que, en primer lugar, el programa incluye muchas capacidades generales, tales como funciones de preprocesador (para generar un modelo), soluciones, postprocesador, gráficos, modelado paramétrico y utilidades para que el programa sea fácil de usar.

El software Ansys Workbench utiliza herramientas CFD para el área de mecánica de fluidos, que estudia problemas relacionados con flujos. Abarca los fenómenos de flujos turbulentos, la aerodinámica, las reacciones químicas, combustión, etc. Utiliza los métodos matemáticos y algoritmos basados en las leyes de conservación de la masa, momento y energía, en conjunto con las condiciones predefinidas de contorno, generando valores de sus variables como la presión, concentración, la velocidad y la temperatura dentro de un campo, o un dominio, en los regímenes estacionarios o transitorios.

---

<sup>72</sup> FUENTE: ANSYS CFX Tutorial, Ansys Workbench 11.0

Es por eso que vamos a utilizar esta herramienta para la simulación del filtro de mangas, lo que implica a su vez el uso de las herramientas dispuestas por el paquete de software, tales como:

- **CFX-Pre:** Aquí se define el problema que se quiere resolver, es decir, condiciones de contorno, tipo de fluido, tipo de ecuaciones que se van a resolver, etc.
- **CFX-Solver:** Una vez definida la simulación, con el CFX-Solver se resuelve el problema.
- **CFX-Post:** Se encarga de presentar los resultados en el formato que elijamos.

### 5.2.1. CFX-Pre Proceso<sup>73</sup>

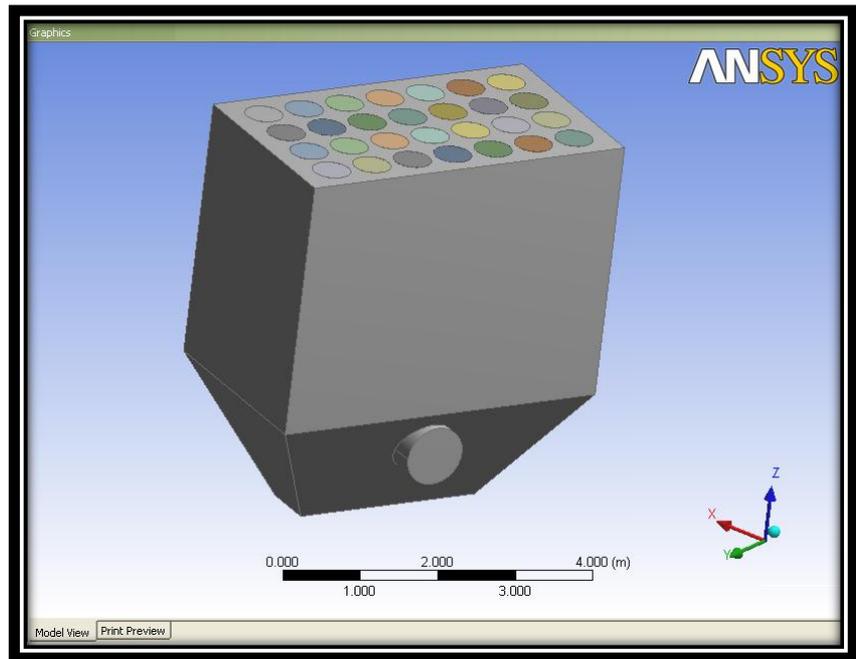
CFX-pre establece una base de datos para almacenar toda la información (Geometría, de malla, la física, y métodos numéricos) que utiliza el solucionador de ecuación.

La geometría del filtro de mangas, por facilidad de creación del diseño se lo importa como un paquete de CAD, el paquete a utilizar en nuestro caso es INVENTOR.

Hay que considerar que no se cuenta con una computadora profesional (avanzada), que me permita mallar elementos de tamaños inferiores a 10mm., que necesita mayor capacidad de memoria y velocidad que las computadoras normales, es por eso que se reducirá el número de las mangas de 252 que es nuestro caso a 28 mangas, intentando mantener la misma sección y volumen las mangas, con esta consideración se obtiene la geometría del filtro que se muestra en la figura 5.1

---

<sup>73</sup> FUENTE: Elaborado en el Software Ansys Workbench 11.0 por el Autor

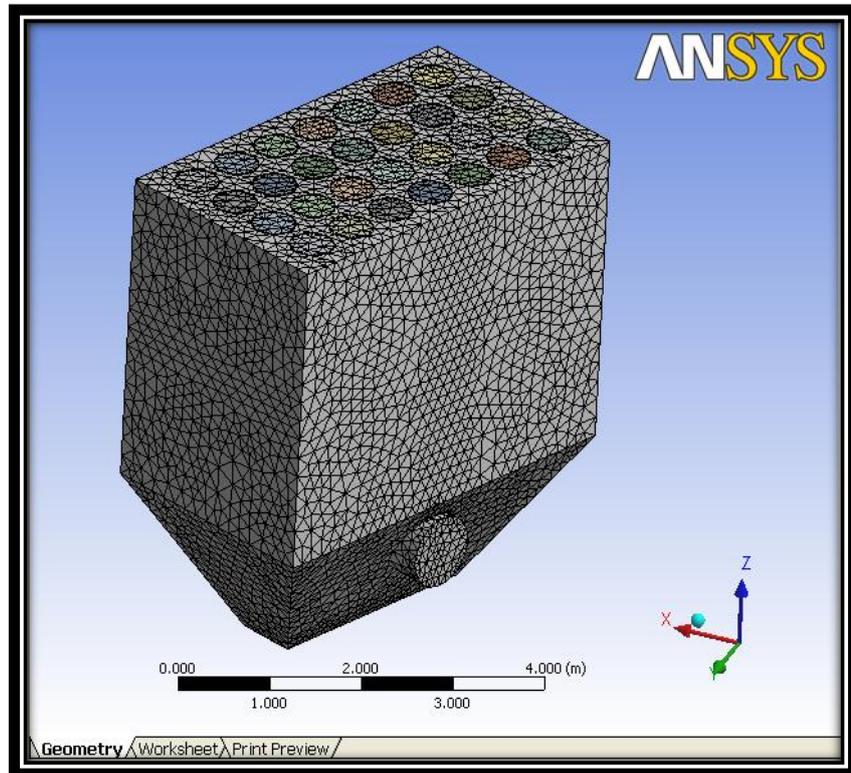


**FIGURA 5.1. Geometría del Filtro de 28 Mangas**

Una vez importada la geometría, se crean las regiones a partir de las caras sólidas de la geometría como lo es la tolva de descarga, la cámara de filtrado y las mangas. Las regiones a crearse antes del mallado son posteriormente las condiciones de fronteras tales como entrada de material particulado, salida de la Caliza y la Salida del aire hacia la atmósfera.

Existen diferentes formas geométricas de elementos para el mallado, en este caso se procede a mallar con elementos tetraédricos porque ofrece la mejor precisión y exactitud de resultados. Se puede dejar el tamaño de los elementos que viene dado por defecto, pero para mayor precisión se refina la malla, para las regiones se dará un tamaño de 0.16m y para las condiciones de contorno un tamaño de 0.1m.

En la figura 5.2 se observa la geometría del filtro de 28 mangas mallado bajo las consideraciones antes mencionadas y en la tabla 5.1 se resume el número de nodos y tetraedros utilizado para el mallado de la geometría del filtro.



**FIGURA 5.2. Mallado de la Geometría del Filtro de 28 Mangas**

Domain	Nodes	Elements
Mangas	13818	50944
Parte Inferior	24886	115342
All Domains	38704	166286

**TABLA 5.1. Resumen estadístico del mallado del la geometría**

La base de datos almacena el dominio físico de los materiales, en la biblioteca del software no existe la Piedra Caliza, por lo que se procede a crear un nuevo material, introduciendo las propiedades físicas y químicas del material, los datos seleccionados se detallan en la tabla 5.2.

Name	Type	Materials	Models
<b>Mangas</b>	Porous	Fluid: Air at 25 C Particles: Caliza	Heat Transfer Model = Isothermal Turbulence Model = k epsilon Area Porosity = Isotropic Buoyancy Model = Buoyant Domain Motion = Stationary Volume Porosity = Value
<b>Parte Inferior</b>	Fluid	Fluid: Air at 25 C Particles: Caliza	Heat Transfer Model = Isothermal Turbulence Model = k epsilon Buoyancy Model = Buoyant Domain Motion = Stationary

**TABLA 5.2. Detalle de los datos seleccionados en la base de datos**

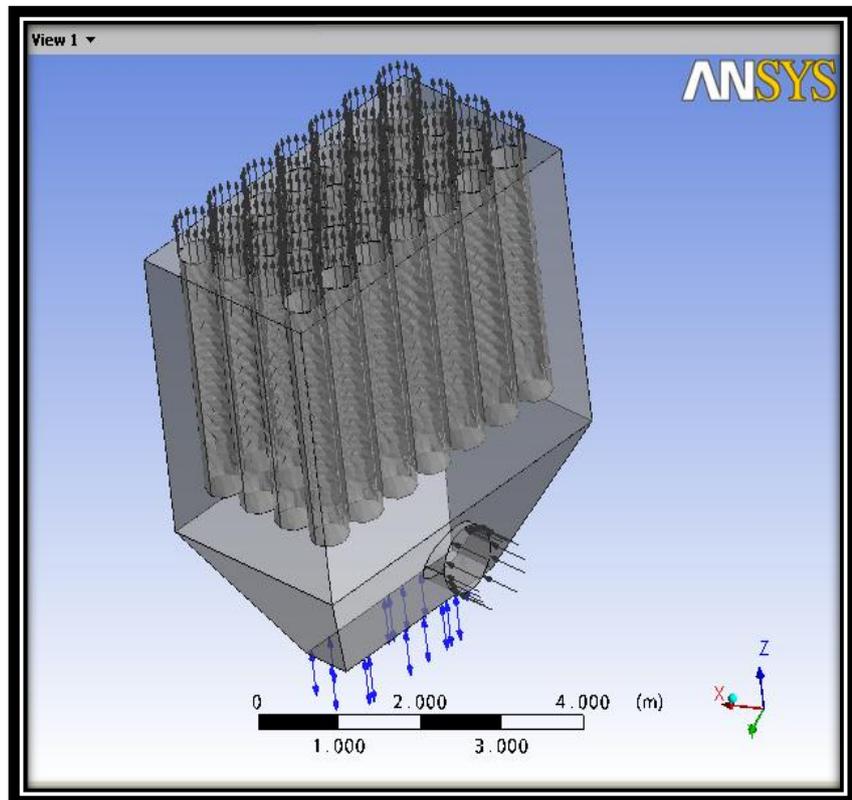
La base de datos también almacena los valores de las condiciones de contorno, las cuales se detallan a continuación en la tabla 5.3. El ventilador es el encargado de definir por medio de la succión el flujo de entrada, que esta dada por la recolección de polvo de caliza durante el proceso de trituration.

Domain	Name	Type	Settings
<b>Mangas</b>	Salida Aire	Outlet	Flow Regime = Subsonic Mass And Momentum = Average Static Pressure Relative Pressure = 0 [kPa] Pressure Averaging = Average Over Whole Outlet
<b>Parte Inferior</b>	Entrada Material Particulado	Inlet	Flow Regime = Subsonic Normal Speed = 18 [m s <sup>-1</sup> ] Caliza Maximum Diameter = 50 [micron] Caliza Minimum Diameter = 2 [micron] Caliza Mass Flow Rate = 12.3 [kg s <sup>-1</sup> ]
<b>Parte Inferior</b>	Salida Caliza	Opening	Flow Regime = Subsonic Mass And Momentum = Opening Pressure and Direction Relative Pressure = 2.8 [kPa] Turbulence = Zero Gradient Caliza Normal Speed = 0.30 [m s <sup>-1</sup> ] Caliza Maximum Diameter = 50 [micron]

			Caliza Minimum Diameter = 30 [micron] Caliza Mass Flow Rate = 0.96 [kg s <sup>-1</sup> ]
<b>Parte Inferior</b>	Parte Inferior Default	Wall	Wall Influence On Flow = No Slip Wall Roughness = Smooth Wall

**TABLA 5.3. Detalle de los valores ingresados en la base de datos**

En la figura 5.3 se muestra como queda la geometría del filtro después de darle las condiciones de contorno y el dominio físico.



**FIGURA 5.3. Filtro después de ingresar las condiciones de contorno**

### 5.2.2. CFX-Solver Proceso

Se encarga de resolver matemáticamente el comportamiento del flujo en el interior y a la salida del filtro, con lo datos ingresados

mediante la aplicación de los principios de conservación del momento y la masa de cada volumen de control, un conjunto de ecuaciones de volúmenes finitos se forman para proporcionar valores nodales de la velocidad, de presión, concentración, etc., del sistema.

Algunas de las ecuaciones que utiliza el software para resolver el problema planteado es cuando el fluido atraviesa un conducto cerrado, la fricción entre el fluido y las paredes de la canalización, crean una pérdida de presión. Para aire, las diferencias de elevación son insignificantes. Así, podemos aplicar la ley de la continuidad<sup>74</sup> que indica:

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2$$

$$\Rightarrow \rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \cdot V \left[ \frac{m}{s} \right] \cdot A [m^2] \quad (\text{Ecuación 22})^{75}$$

Y con el principio de la conservación de la energía se aplica la Ecuación de Bernoulli, de equilibrio de energía mecánica para el flujo incompresible que establece que:

$$\frac{P [Pa]}{\rho \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]} + \frac{V^2 \left[ \frac{m^2}{s^2} \right]}{2 \cdot g \left[ \frac{m}{s^2} \right]}$$

$$= \frac{P [Pa]}{\rho \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]} + \frac{V^2 \left[ \frac{m^2}{s^2} \right]}{2 \cdot g \left[ \frac{m}{s^2} \right]} + H_f [m] \quad (\text{Ecuación 23})^{76}$$

---

<sup>74</sup> **Ley de Continuidad:** establece que el producto de la velocidad de la corriente de un fluido que discurre en régimen de Bernoulli por la sección transversal del tubo de corriente, es la magnitud constante para el tubo de corriente considerado.

<sup>75</sup> **FUENTE:** MOTT, Robert, *Mecánica de Fluidos*, 6<sup>ta</sup>. Edición, Editorial Pearson Educations, México, 2006, p.165

<sup>76</sup> **Idem.**, p165

Donde:

$P$  = presión estática,

$\rho$  = densidad del fluido,

$V$  = velocidad del fluido,

$g$  = constante gravitacional

$H_f$  = cabezal de pérdida de fricción

El número de Reynolds viene dado por:

$$Re = \frac{V \left[ \frac{m}{s} \right] \cdot L[m]}{v \left[ \frac{m^2}{s} \right]} = \frac{D_h[mm] \cdot V \left[ \frac{m}{s} \right]}{1000 \cdot v \left[ \frac{m^2}{s} \right]} \quad (\text{Ecuación 24})^{77}$$

### 5.3. Análisis y resultados.

#### 5.3.1. CFX-Post Proceso<sup>78</sup>

El Software tiene capacidades de visualización de los resultados por colores en objetos gráficos, el uso de herramientas de cálculo. Para la visualización de los resultados se puede crear planos, vectores, líneas de flujo, etc., de cualquier variable que se desee conocer los resultados.

El objetivo de la simulación es constatar que a la salida de las mangas, se obtenga en lo posible aire limpio, y verificar donde existe mayor concentración de partículas de caliza, en la figura 5.4 y figura 5.5 se aprecia de manera general concentración de volumen de fracción de las partículas de caliza y líneas de flujo respectivamente.

---

<sup>77</sup> FUENTE: MOTT, Robert, *Mecánica de Fluidos*, 6<sup>ta</sup>. Edición, Editorial Pearson Educations, México, 2006, p.230

<sup>78</sup> FUENTE: Elaborado en el Software Ansys Workbench 11.0 por el Autor

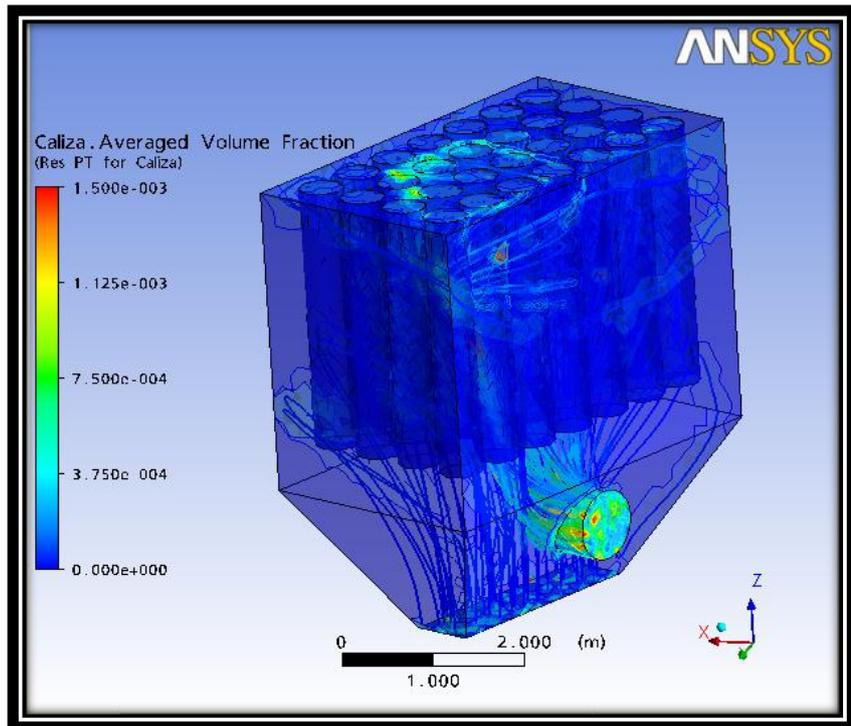


FIGURA 5.4. Comportamiento de las partículas en el interior del filtro

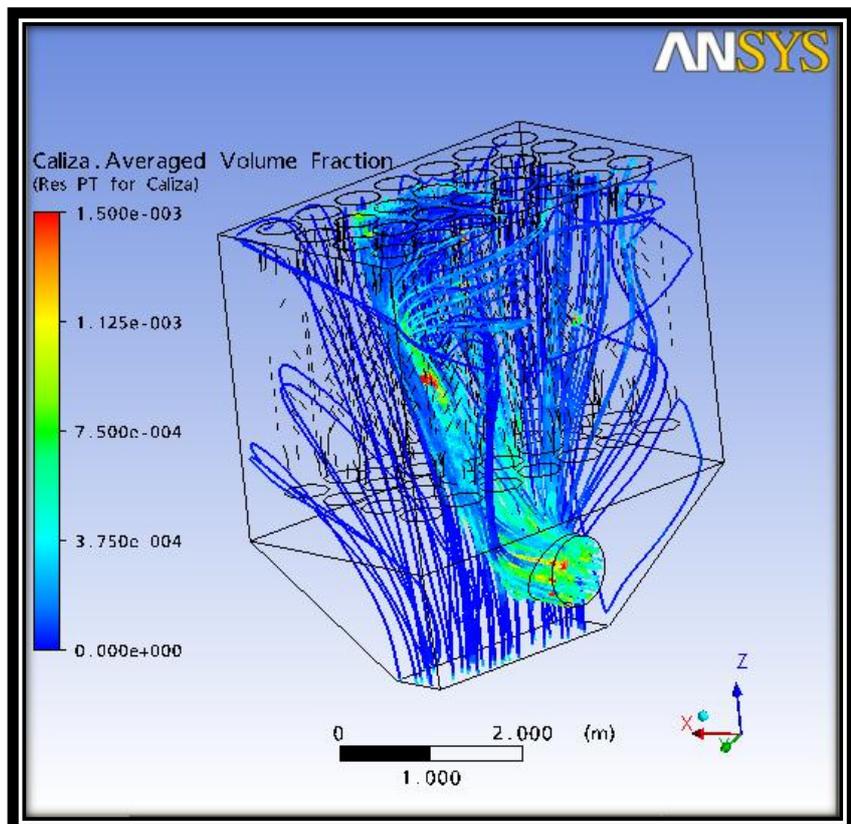


FIGURA 5.5. Línea de flujo de las trayectorias de las partículas.

### 5.3.1.1. Análisis en la entrada del Filtro

En el capítulo 4 determinamos el caudal total a succionar que es de  $19550 \text{ m}^3/\text{h} = 7.43 \text{ kg/s}$ , siendo este el caudal que ingresa al interior del filtro, comprobando este dato con la simulación obtenida en la figura 5.6.

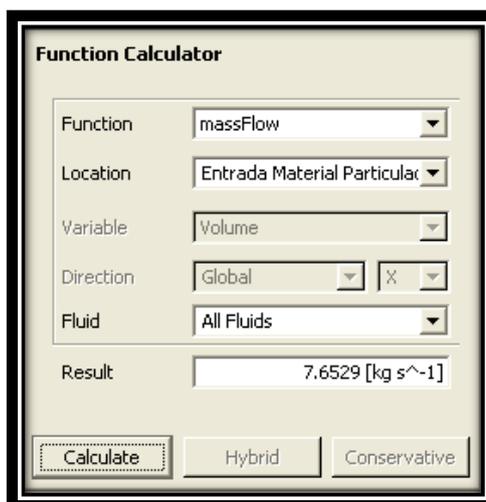
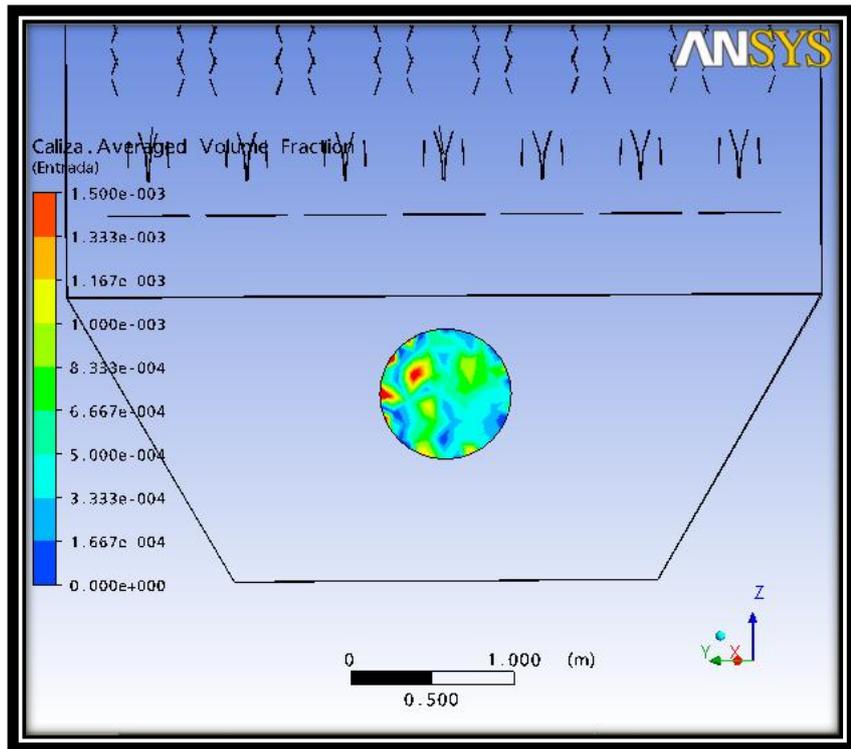


FIGURA 5.6. Valores calculados por el software a la entrada

$$Q = 7.65 \text{ kg/s} = 27.55 \text{ T/h}$$

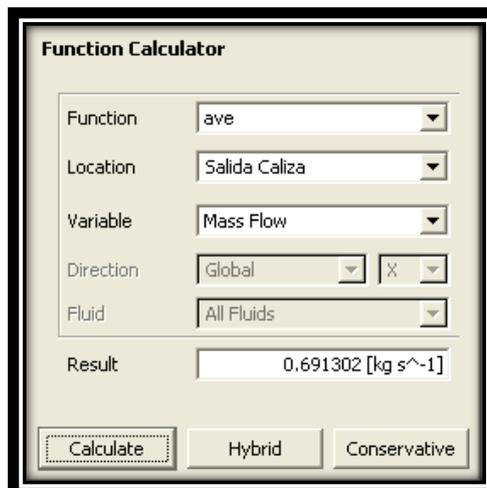
Se tiene que en una hora entra al interior del filtro 27.55 Ton aire con de partículas de caliza, como se aprecia en la figura 5.7, a la entrada existe mayor concentración.



**FIGURA 5.7. Concentración de polvo a la entrada del filtro**

### 5.3.1.2. Análisis en la salida de la Tolva.

Utilizando la herramienta de calcular podemos encontrar el valor del flujo a la salida de la tolva, figura 5.8.



**FIGURA 5.8. Valor del flujo a la salida de la tolva.**

A la salida del filtro podemos recolectar un flujo de 2.5 Ton por cada hora de material particulado, las partículas que sean retenidas por las mangas que por lo general son las mayores a 10 micras son recolectadas como se aprecia en la figura 5.9 donde exista una concentración menor que a la entrada, debido a que la salida tiene mayor sección.

$$Q = 0.69 \text{ kg/s} = 2.4886 \text{ Ton/h}$$

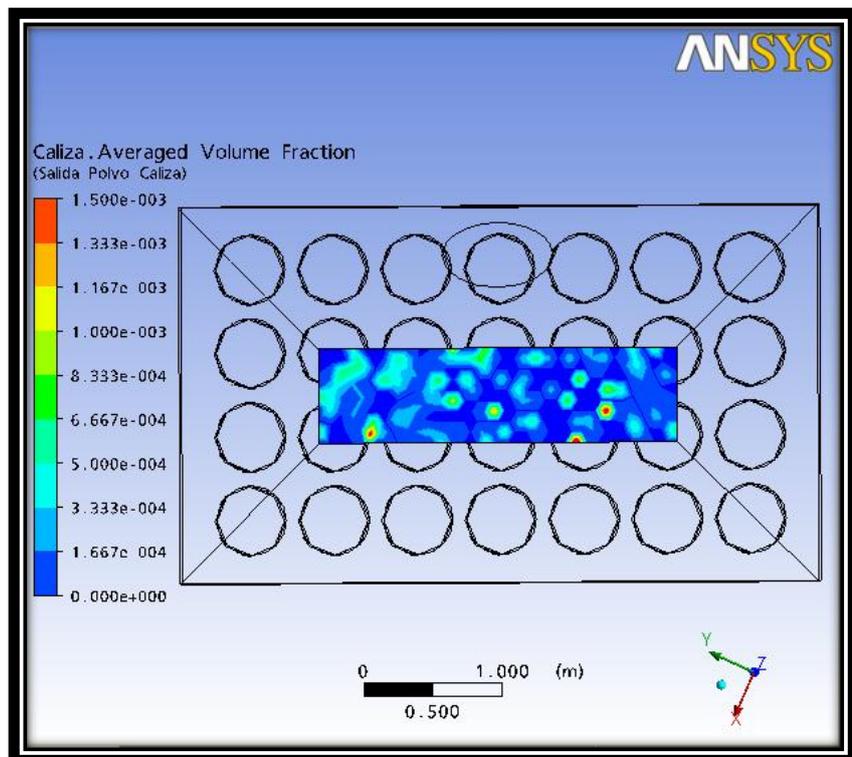
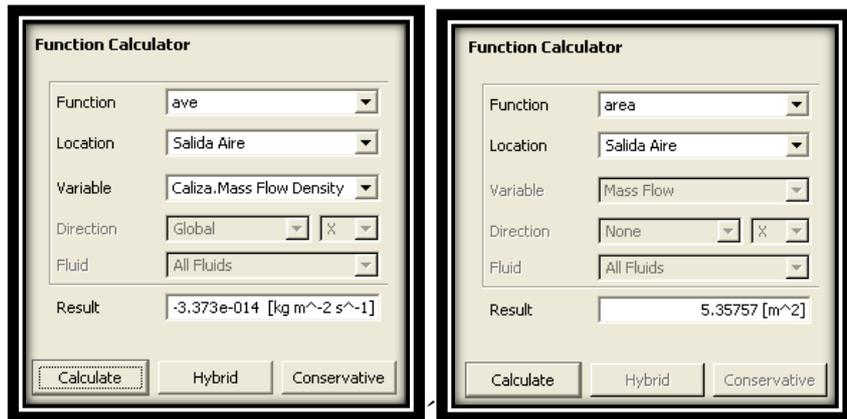


FIGURA 5.9. Concentración a la salida de la tolva.

### 5.3.1.3. Análisis en la salida de las mangas.

Los valores obtenidos por el software se muestran en la figura 5.10, como se quiere determinar que tan limpio sale el aire, determinaremos la cantidad de partícula de caliza inferiores a 10 micras que sale de las mangas.

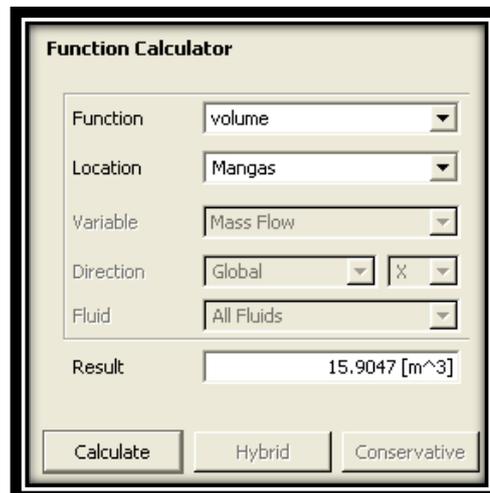


**FIGURA 5.10. Valores del flujo por unidad de área.**

$$Q = 21.8071e - 0.13 \text{ kg/s} = 15.6134 \text{ ug/dia}$$

El volumen Total en las mangas es  $15.9047\text{m}^3$ , figura 5.11 tomando en consideración el dato obtenido experimentalmente,  $0.01\text{m}^3$  de polvo en  $1\text{m}^3$  de aire, obteniendo de esta manera.

$$V_{caliza} = 0.15\text{m}^3$$



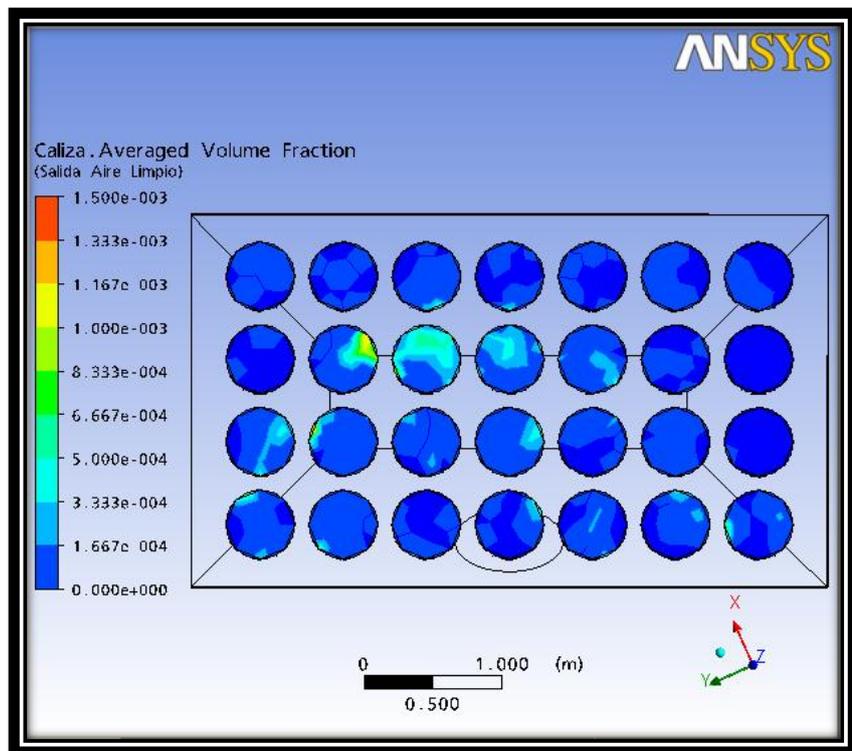
**FIGURA 5.11. Volumen total de las mangas.**

Según la Norma de Calidad del Aire en el anexo 1, los valores permisibles de las partículas están medidos en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  microgramos de contaminante por  $\text{m}^3$  de aire a 1 atm y  $25^\circ$ .

$$\frac{15.6134 \mu\text{g}}{0.15 \text{ m}^3} = 104.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

La emisión de partículas menores a 10 micras es de  $104,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y es inferior al límite permisible de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en un día, por lo tanto cumple con la normativa ambiental.

En la figura 5.12 se aprecia que efectivamente no existe mucha concentración de caliza a la salida de las mangas, y que la zona mas critica es en el centro por donde impacta el flujo de entrada por ende seria por donde filtraría las partículas inferiores a 10 micras.



**FIGURA 5.12. Concentración a la salida de las mangas.**

La eficiencia de los filtros de mangas con mecanismos de limpieza pulse jet puede obtener eficiencias del 80 – 95% para partículas hasta de 20 $\mu$ m, la eficiencia de recolección viene dada por la ecuación 29:

$$n = \frac{m_E - m_S}{m_S}$$

Donde:

$m_E$  = Cantidad de masa a la entrada.

$m_S$  = Cantidad de masa a la salida.

Aplicando la ecuación 29 obtenemos:

$$n = \frac{7.49 - 0.69}{7.49}$$

$$n = 90.71\%$$

Como se aprecia tenemos una buena eficiencia de colección de caliza para su reproceso.

## **CAPÍTULO 6**

### **6. ANÁLISIS ECONÓMICO.**

CONFIDENCIAL

# CAPÍTULO 7

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Concluida la presente Tesis de Grado, es necesario realizar un examen de los aspectos más importantes de su contenido.

### 7.1. Conclusiones.

- El filtro de mangas es el más utilizado para la separación solido-gas, capaces de retener partículas entre 30 a 50 micras, y dejar pasar las inferiores a 30 micras las cuales viajan con el aire, el mecanismo de limpieza es de eficiencia constante, cada ciclo de limpieza es de 250 ms con una frecuencia de 30s que por un flujo forzado de gas afloja las partículas que permanecen en las mangas.
  
- El principal problema del sistema desempolvado es el desbalance. Aspectos relacionados al desbalance son las diferentes presiones en las uniones de los ductos, y con esto sus diferentes velocidades de transporte generadas por las dimensiones actuales de la ductería. Las entradas de aire falso también tienen que ver con el desbalance y las campanas de captura, su ubicación y geometría.

- Se tiene una eficiencia de recolección a la salida de la tolva de 60% que indica una buena recuperación de materia prima que puede ser redepositado al proceso. En síntesis el sistema diseñado controla las emisiones de partículas en un 90.71% y recupera materia prima o producto terminado en un 60% con 154.04 mmH<sub>2</sub>O de caída de presión de gasto que determinan un buen funcionamiento y un consumo de energía reflejado en los 25HP de potencia del ventilador.
- Con el sistema implementado se logra contrarrestar el problema de contaminación de aire en la planta donde se realiza la trituración de la piedra caliza, con la ayuda del software Ansys se obtiene una emisión de partículas de 104.08ug/m<sup>3</sup> manteniéndose en el límite permisible de 65 a 150 ug/m<sup>3</sup> como lo determina la norma de Calidad del Aire. La cantidad de flujo de gas del compresor es de aproximadamente 90% de la cantidad de flujo filtrado., lo que permite obtener una recuperación de material del 2.5Ton/h.
- El software que se utilizó para este tipo de Simulación es el Ansys, debido a que no se trata de un programa especializado para resolver un tipo de problemas, sino que nos permitirá satisfacer muchas necesidades complejas de diseño y análisis. Donde se puede optimizar la recolección y plantear las mejoras a futuro antes de la implementación.
- El costo de inversión es del proyecto es de \$281,125.00 y el estudio de la factibilidad genera un VAN de 251,004.46 siendo este valor positivo mayor que cero, con una tasa interna de retorno del 12.04% que está dentro del 11-13% del rango permisible para proyectos privados, y con un costo/beneficio de 2.04 mayor que 1. Una vez cumplido los 3 criterios para la factibilidad se puede afirmar que el proyecto desde el punto de vista financiero resulta factible.

- Es muy importante realizar un proyecto de tesis para una empresa, por lo que se aplica todos los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas. Es un hecho que la práctica en la industria ha facilitado la elaboración de este trabajo, por estar observando de manera presencial los problemas que tiene en la planta.

## **7.2. Recomendaciones.**

- Se recomienda para evitar los desbalances diseñar un buen sistema de ductos, los ductos deben mantener 60° respecto a la horizontal para que pueda fluir el material sin atascamientos, cada ramal debe nacer con una reducción, cada toma del ducto debe nacer con una campana desde los equipos a desempolvar, luego de las campanas es necesario una válvula de control (dámper) preferiblemente de forma vertical y ser colocadas lo más cerca posible de las plataformas, los codos de precipitación deben ser fáciles de desmontar y que existan bridas que sean fáciles de desmontar.
- Se recomienda el cambio de las mangas filtrantes que presenten perforaciones y también revisar las fugas en el filtro de mangas para aumentar la aspiración de los equipos.
- Para los trabajadores dedicados a la recolección del polvo fugitivo es importante que se encuentren protegidos a la exposición de este polvo generado ya que puede originarles problemas de salud.
- Se recomienda estar al margen de las normas ambientales, para evitar sanciones, por lo que se es importante realizar cada año un análisis de gases a la salida del ventilador para controlar las emisiones de las partículas.
- Considero necesario involucrar más al estudiante en la vida práctica para que al momento de tener la primera experiencia profesional, podamos seguir el ritmo e ir mejorándolo constantemente y de manera más rápida junto a las personas con mayor experiencia laboral.

## **BIBLIOGRAFIA:**

Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, Norma de Calidad del Aire Ambiente, Libro VI Anexo 4, Ecuador, 2003

MOTT, Robert, *Mecánica de Fluidos*, 6ta. Edición, Editorial Pearson Educations, México, 2006

GARCÍA, DAVID, *Equipo para el transporte de materiales de la industria azucarera, transportadores y bomba*, Unidad de producción del EMAV, Cuba, 1987

DURAN, José Antonio, *El Financiera*, Editorial Arroyo, México 2009

PEÑA, María. *Dirección de la Producción*, Editorial Pearson Education, Madrid (España), 2003

PERALTA, German, *Diseño Fluidodinámico de un filtro de mangas del Tipo Pulse Jet para Partículas de Origen Industrial*, Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001

ARIAS, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Tesis Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Escuela Superior del Litoral, 2006

GE, *Principios Básicos de Ventiladores* GE Energy

GE, *Diseño Básico de Colectores Pulse-Jet* GE Energy,

GE, *Principios Básicos para Diseño de Ducterías* GE Energy,

BHA, *Guía de Referencias y Soluciones de Problemas*, 1998

INGENIEROS INDUSTRIALES GIJON - Ansys - Tutorial castellano

ANSYS CFX Tutorial, Ansys Workbench 11.0

Catálogo de Trituradoras SANDVICK; [www.sandvik.com](http://www.sandvik.com)

Catálogo de Cribas GOSAG Grupo ALLGAIER; [www.gosag.com](http://www.gosag.com)

[www.redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi\\_rocas/caliza.htm](http://www.redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_rocas/caliza.htm)

[www.sri.gov.ec](http://www.sri.gov.ec)

<http://www.tomadoni.com>

[www.molemotor.com](http://www.molemotor.com)

[www.megaestructurassa.com](http://www.megaestructurassa.com)

[www.colectoresdepolvo.com](http://www.colectoresdepolvo.com)

[www.inagromecanica.com](http://www.inagromecanica.com)

## **ANEXO 1.**

### **LEY DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN**

## **1. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.**

La constitución de la República del Ecuador, fue publicada en el Registro Oficial N. 449 del 20 de Octubre del 2008. En ese documento se definen los derechos y obligaciones a los que están sujetos los ciudadanos ecuatorianos, garantizándose además el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación.

## **2. LEYES**

### **Ley de gestión ambiental**

La ley de Gestión Ambiental, con codificación 2004,019, fue publicada en el Suplemento del Registro Oficial 418, el 10 de Septiembre del 2004. En esta ley se establecen los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

### **Capítulo I: De la contaminación y control de la contaminación del aire.**

**Art.1.-** Queda prohibido expeler hacia la atmósfera o descargar en ella, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que, a juicio de los Ministerios de salud y de Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna, y los recursos o bienes del estado o de particulares a constituir una molestia.

**Art. 2.-** Para los efectos de esta Ley, serán consideradas como fuentes potenciales de contaminación del aire:

1. Las artificiales, originadas por el desarrollo tecnológico y la acción del hombre, tales como fábricas, calderas, generadores de vapor, talleres, plantas termoeléctricas, refinerías de petróleo, plantas químicas, aeronaves, automotores y similares,

la incineración, quema a cielo abierto de basuras y residuos, la explotación de materiales de construcción y otras actividades que produzcan o puedan producir contaminación.

**Art. 3.** Se sujetaran al estudio y control de organismos determinados en esta Ley y sus reglamentos, las emanaciones provenientes de fuentes artificiales, móviles o fijas, que produzcan contaminación atmosférica.

### 3. **DECRETOS**

#### **Decreto 3516. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.**

El Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, fue publicado en el Registro Oficial edición especial 2, el 31 de marzo de 2003. Se compone de nueve libros, los cuales son mencionados a continuación:

- Libro I: Autoridad Ambiental.
- Libro II: Gestión Ambiental.
- Libro III: Régimen Forestal.
- Libro IV: Biodiversidad.
- Libro V: Recursos costeros.
- Libro VI: Calidad Ambiental.
  - Anexo 1: Norma de calidad ambiente y descarga de efluentes; recurso agua.
  - Anexo 2: Norma de calidad ambiental del recursos suelo y criterios de remediación.
  - Anexo 3: Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión.
  - Anexo 4: Norma de calidad de aire ambiente.
  - Anexo 5: Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y vibraciones.
  - Anexo 6: Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.

- Anexo 7: Listados nacionales de productos químicos prohibidos, peligrosos y de uso severamente restringido que se utiliza en el Ecuador.
- Libro VII: Régimen especial: Galápagos.
- Libro VIII: Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico (ECORAE).
- Libro IX: Sistema de derecho o tasas por los servicios que presta el Ministerio por el uso y aprovechamiento de bienes que se encuentran bajo su cargo y protección.

## **LIBRO VI: CALIDAD AMBIENTAL**

### **Anexo 4. Norma de calidad de aire ambiente**

#### **Objeto**

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y el ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel de suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones en el aire ambiente.

#### **Contaminantes del aire ambiente**

Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes comunes del aire ambiente a los siguientes.

- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia PM<sub>10</sub>.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos) micrones. Se abrevia PM<sub>2,5</sub>.
- Óxidos de Nitrógeno: NO y NO<sub>2</sub>. Expresados como NO<sub>2</sub>.
- Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>.
- Monóxido de Carbono.

## Límites permisibles para la calidad del aire

Los parámetros que deben ser considerados en los proyectos para la calidad del aire ambiente se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Concentraciones de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire<sup>[1]</sup>

Parámetros	Unidad	Límites máximos permisibles $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		1 año	1 hora	8 horas	24 horas
Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ )	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	80	(b)	(b)	350
Monóxido de Carbono (CO)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	(b)	40000	10000	(b)
Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	(b)	(b)	150
Material Particulado $\text{PM}_{2.5}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	15	(b)	(b)	65
Material Particulado $\text{PM}_{10}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	(b)	(b)	150

<sup>[1]</sup> Norma de Calidad del Aire Libro VI Anexo 4, Pág. 348-349 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente; medidos en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  microgramos de contaminante por  $\text{m}^3$  de aire a 760mm Hg y 25°C.

(b) No existen límites permisibles para este tiempo de medición.

## **ANEXO 2.**

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE DIFERENTES MATERIALES.**

Material	Calor específico kcal/kg °C	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Capacidad calorífica kcal/m <sup>3</sup> °C
Agua	1	1000	1000
Acero	0,12	7850	950
Tierra seca	0,44	1500	660
Granito	0,19	2645	529
Madera de roble	0,57	750	430
Ladrillo	0,20	2000	400
Madera de pino	0,6	640	384
Piedra arenisca	0,17	2200	374
Piedra caliza	0,22	2847	484
Hormigón	0,16	2300	350
Mortero de yeso	0,2	1440	288
Tejido de lana	0,32	111	35
Poliestireno expandido	0,4	25	10
Poliuretano expandido	0,38	24	9
Fibra de vidrio	0,19	15	2,8
Aire	0,24	1,2	0,29

## **ANEXO 3.**

### **PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PIEDRA CALIZA.**

<b>Nombre de la roca, mineral o piedra</b>	<b>Roca Caliza</b> Contiene alto porcentaje de calcita, de materiales tríticos, como cuarzo o arcilla, lo que puede aportar un color más oscuro que el de la caliza más pura.
<b>Tipo básico</b>	Rocas sedimentarias. Orgánico, de Briozoos, fango calizo caracterizado por las estructuras en red de briozoos fosilizados. La matriz de un grano fino y textura regular.
<b>Grupo</b>	Carbonatos
<b>Composición química</b>	CO <sub>3</sub> Ca. CaO 56%; CO <sub>2</sub> 44%.
<b>Formación u origen</b>	Sedimentario. Se presenta en nódulos, filamentos o canteras.
<b>Dureza</b>	3 La dureza relativa puede ser estimada mediante la comprobación de su resistencia al ser rayada, esta propiedad se suele medir utilizando la escala de Mhos.
<b>Textura</b>	Granular fina a gruesa, es un poco rasposa. Tienen una textura consistente en granos minerales que se entrelazan, desarrollados durante la cristalización de sustancias que se desprenden de la solución.
<b>Densidad</b>	2.84g/m <sup>3</sup> .
<b>Peso Especifico</b>	1.8 - 2.8 kg/dm <sup>3</sup> .
<b>Usos</b>	<p>Generalmente lo que se utiliza del conglomerado son los clastos (roca caliza); los de menor tamaño son empleados como grava para la construcción en losas y pisos; los conglomerados más grandes son empleados para mamposterías y construcción de muros; además que en algunos casos se emplea como ornato en fachadas de casas.</p> <p>El uso de las rocas calizas es muy extenso, su mayor utilización es en la construcción, si se calcina se puede producir cal viva, se utiliza en la fabricación del cemento, como grava y arena (fragmentada) en la elaboración del concreto. Materia prima para la industria del cemento Pórtland, cal hidratada, calcita, construcción, mármol, agricultura, agregados pétreos.</p>

## **ANEXO 4.**

### **PRESIÓN DINÁMICA PARA DIFERENTES VELOCIDADES.**

VELOCITY PRESSURES FOR DIFFERENT VELOCITIES - STANDARD AIR

FROM:  $V = 4005 \sqrt{VP}$

V = VELOCITY FPM

VP = VELOCITY PRESSURE, INCHES OF WATER

VP	V	VP	V								
0.01	400	0.52	2888	1.03	4064	1.54	4970	2.05	5734	3.10	7051
0.02	566	0.53	2916	1.04	4084	1.55	4986	2.06	5748	3.20	7164
0.03	694	0.54	2943	1.05	4103	1.56	5002	2.07	5762	3.30	7275
0.04	801	0.55	2970	1.06	4123	1.57	5018	2.08	5776	3.40	7385
0.05	896	0.56	2997	1.07	4142	1.58	5034	2.09	5790	3.50	7492
0.06	981	0.57	3024	1.08	4162	1.59	5050	2.10	5804	3.60	7599
0.07	1060	0.58	3050	1.09	4181	1.60	5066	2.11	5817	3.70	7704
0.08	1133	0.59	3076	1.10	4200	1.61	5082	2.12	5831	3.80	7807
0.09	1201	0.60	3102	1.11	4219	1.62	5098	2.13	5845	3.90	7909
0.10	1266	0.61	3127	1.12	4238	1.63	5114	2.14	5859	4.00	8010
0.11	1328	0.62	3153	1.13	4257	1.64	5129	2.15	5872	4.10	8109
0.12	1387	0.63	3179	1.14	4276	1.65	5144	2.16	5886	4.20	8208
0.13	1444	0.64	3204	1.15	4295	1.66	5160	2.17	5899	4.30	8305
0.14	1498	0.65	3229	1.16	4314	1.67	5175	2.18	5913	4.40	8401
0.15	1551	0.66	3254	1.17	4332	1.68	5191	2.19	5927	4.50	8496
0.16	1602	0.67	3279	1.18	4350	1.69	5206	2.20	5940	4.60	8590
0.17	1651	0.68	3303	1.19	4368	1.70	5222	2.21	5954	4.70	8683
0.18	1699	0.69	3327	1.20	4386	1.71	5237	2.22	5967	4.80	8774
0.19	1746	0.70	3351	1.21	4405	1.72	5253	2.23	5981	4.90	8865
0.20	1791	0.71	3375	1.22	4423	1.73	5268	2.24	5994	5.00	8955
0.21	1835	0.72	3398	1.23	4442	1.74	5283	2.25	6008	5.10	9044
0.22	1879	0.73	3422	1.24	4460	1.75	5298	2.26	6021	5.20	9133
0.23	1921	0.74	3445	1.25	4478	1.76	5313	2.27	6034	5.30	9220
0.24	1962	0.75	3468	1.26	4495	1.77	5328	2.28	6047	5.40	9307
0.25	2003	0.75	3491	1.27	4513	1.78	5343	2.29	6061	5.50	9392
0.26	2042	0.77	3514	1.28	4531	1.79	5359	2.30	6074	5.60	9477
0.27	2081	0.78	3537	1.29	4549	1.80	5374	2.31	6087	5.70	9562
0.28	2119	0.79	3560	1.30	4566	1.81	5388	2.32	6100	5.80	9645
0.29	2157	0.80	3582	1.31	4583	1.82	5403	2.33	6113	5.90	9728
0.30	2193	0.81	3604	1.32	4601	1.83	5418	2.34	6128	6.00	9810
0.31	2230	0.82	3625	1.33	4619	1.84	5433	2.35	6140	6.10	9891
0.32	2260	0.83	3657	1.34	4636	1.85	5447	2.36	6153	6.20	9972
0.33	2301	0.84	3669	1.35	4653	1.86	5462	2.37	6166	6.30	10052
0.34	2335	0.85	3690	1.36	4671	1.87	5477	2.38	6179	6.40	10132
0.35	2369	0.86	3709	1.37	4688	1.88	5491	2.39	6192	6.50	10210
0.36	2403	0.87	3729	1.38	4705	1.89	5506	2.40	6205	6.60	10289
0.37	2436	0.88	3758	1.39	4722	1.90	5521	2.41	6217	6.70	10366
0.38	2469	0.89	3779	1.40	4739	1.91	5535	2.42	6230	6.80	10444
0.39	2501	0.90	3800	1.41	4756	1.92	5550	2.43	6243	6.90	10520
0.40	2533	0.91	3821	1.42	4773	1.93	5564	2.44	6256	7.00	10596
0.41	2563	0.92	3842	1.43	4790	1.94	5579	2.45	6269	7.50	10968
0.42	2595	0.93	3863	1.44	4806	1.95	5593	2.46	6282	8.00	11328
0.43	2626	0.94	3884	1.45	4823	1.96	5608	2.47	6294	8.50	11676
0.44	2656	0.95	3904	1.46	4840	1.97	5623	2.48	6307	9.00	12015
0.45	2687	0.96	3924	1.47	4856	1.98	5637	2.49	6320	9.50	12344
0.46	2716	0.97	3945	1.48	4873	1.99	5651	2.50	6332	10.00	12665
0.47	2746	0.98	3965	1.49	4889	2.00	5664	2.60	6458	11.00	13283
0.48	2775	0.99	3985	1.50	4905	2.01	5678	2.70	6581	12.00	13874
0.49	2804	1.00	4005	1.51	4921	2.02	5692	2.80	6702	13.00	14440
0.50	2832	1.01	4025	1.52	4938	2.03	5706	2.90	6820	13.61	14775
0.51	2860	1.02	4045	1.53	4954	2.04	5720	3.00	6937	14.00	14986

**ANEXO 5.**

**PLANOS.**

CONFIDENCIAL

## **ANEXO 6.**

### **COEFICIENTES DE PÉRDIDAS EN CAMPANAS COLECTORAS.**

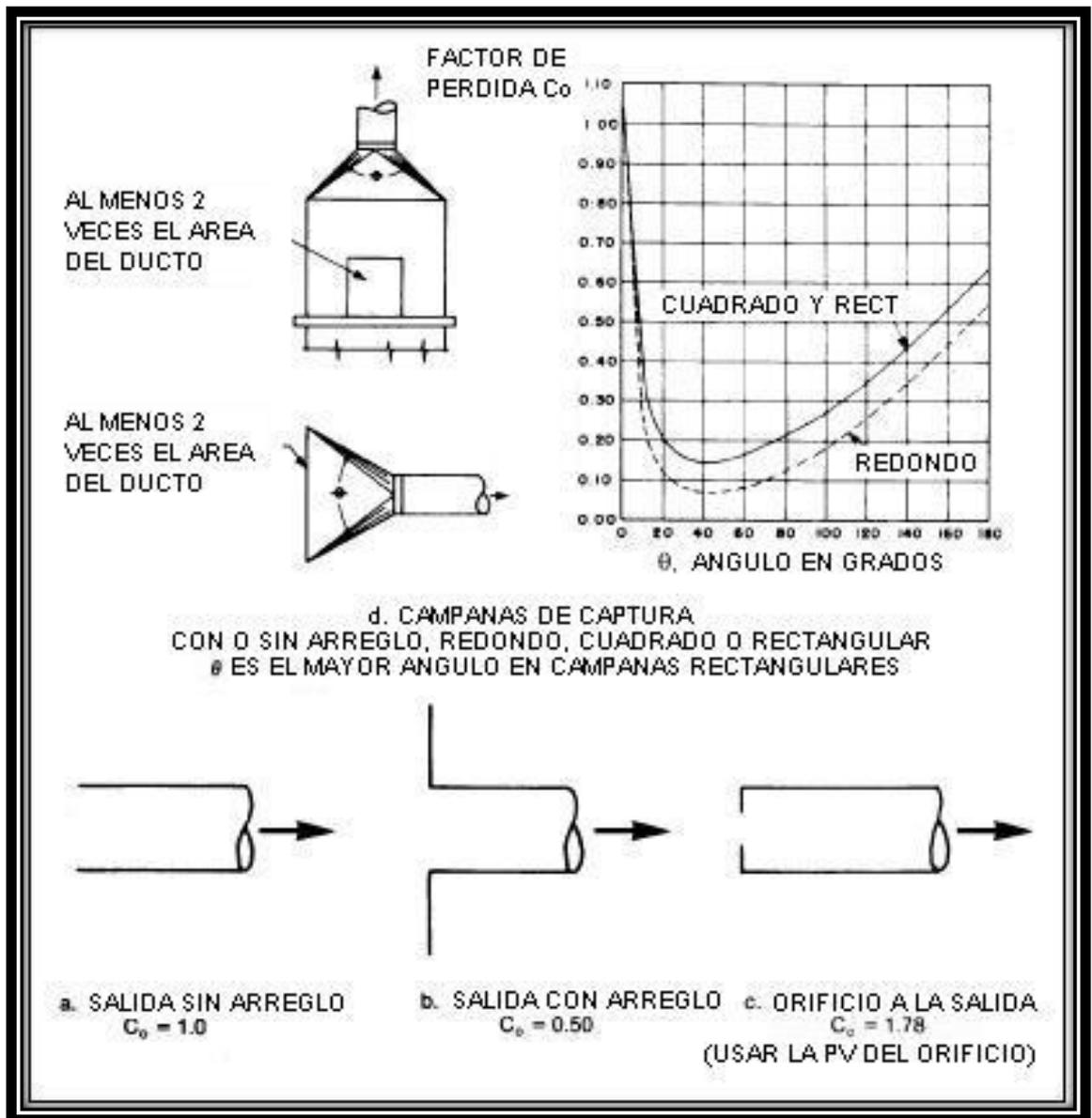
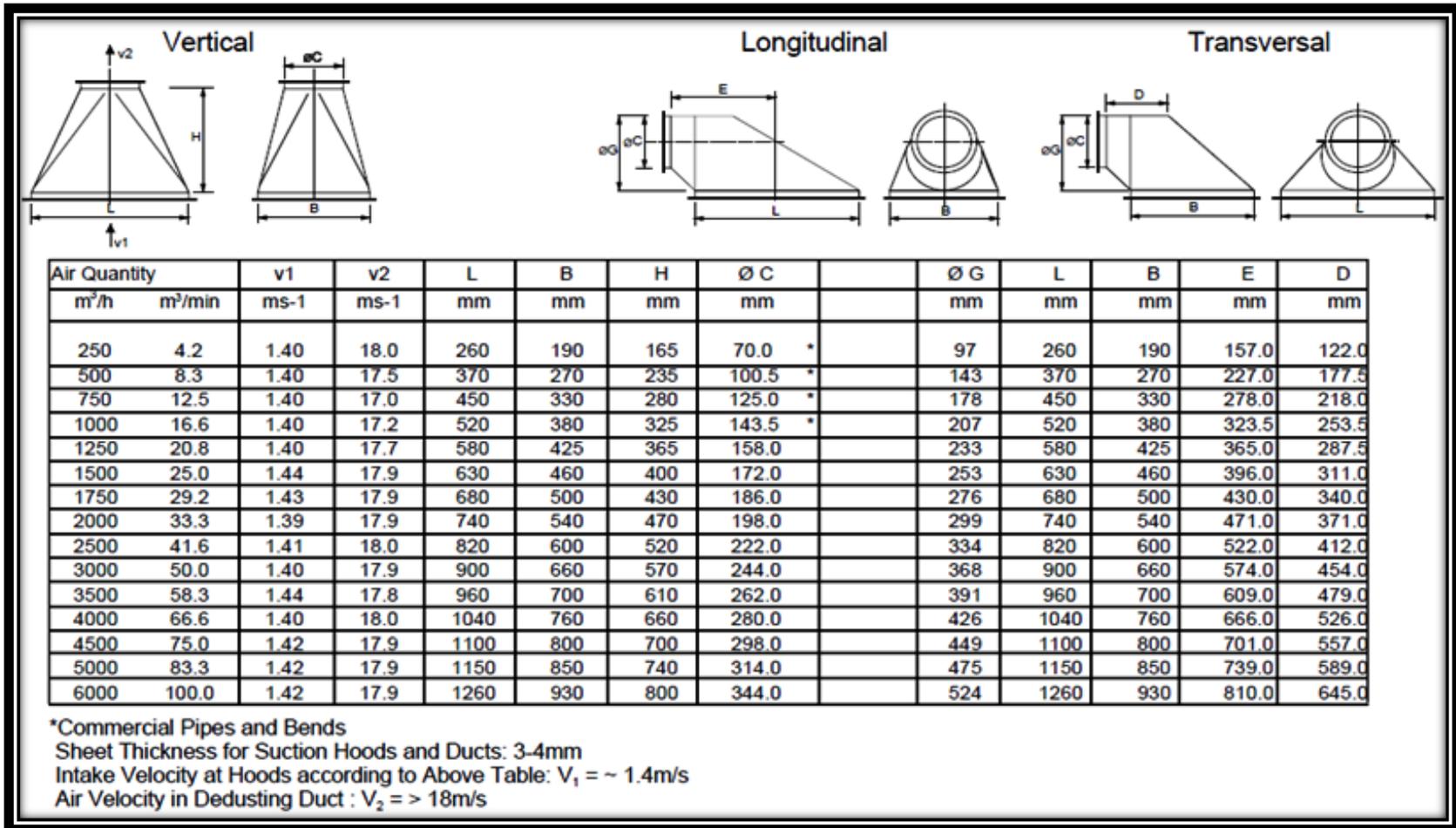


FIGURA 1. RANGO DE VELOCIDADES DE CAPTURA

**TABLA 1. RANGO DE VELOCIDADES DE CAPTURA**

<b>RANGO DE VELOCIDADES DE CAPTURA</b>		
<b>CONDICION DE LA DISPERSION DEL CONTAMINANTE</b>	<b>APLICACIÓN</b>	<b>VELOCIDAD DE CAPTURA (m/s)</b>
Sueltas sin velocidad en el aire	Evaporación de tanques	0.25 a 0.5
Sueltas con velocidad baja del aire	Transportadores de baja velocidad	0.5 a 1.0
Generación activa dentro de la zona de generación	Chutes de carga/descarga de transportadores, trituradoras	1.0 a 2.5
Alta velocidad dentro de la zona	Molienda, sandblasting	2.5 a 10

TABLA 2. DISEÑO DE CAMPANAS DE CAPTURA



## **ANEXO 7.**

### **TABLAS PARA CÁLCULOS DE PÉRDIDAS EN CONDUCTOS.**

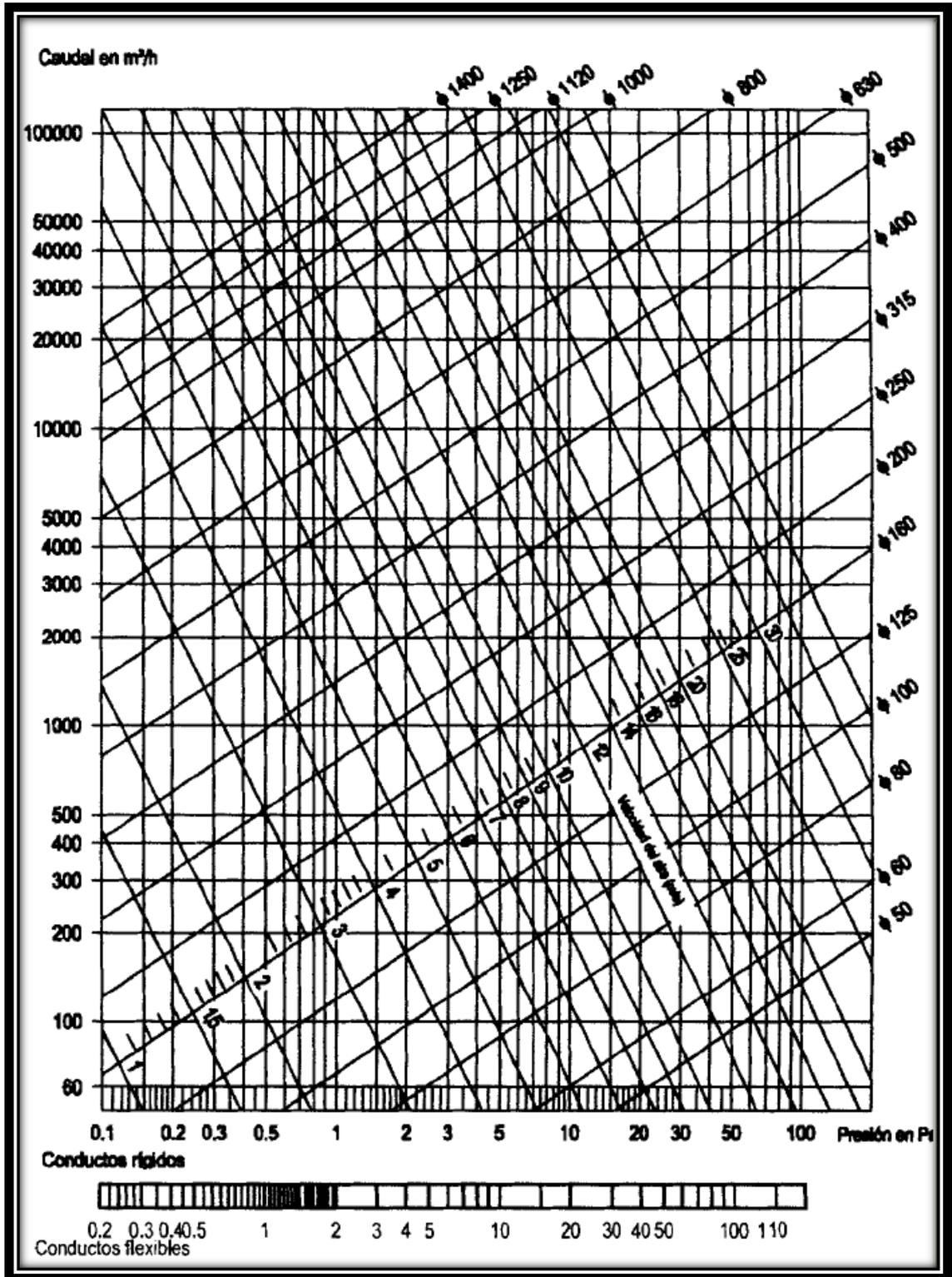


FIGURA 1. PÉRDIDA DE CARGA EN CONDUCTOS CIRCULARES.

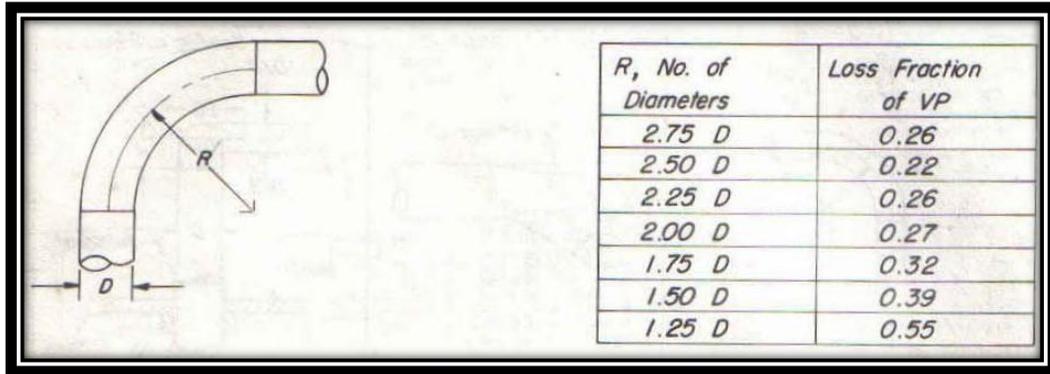


FIGURA 2. FACTOR DE PÉRDIDAS EN CODOS.

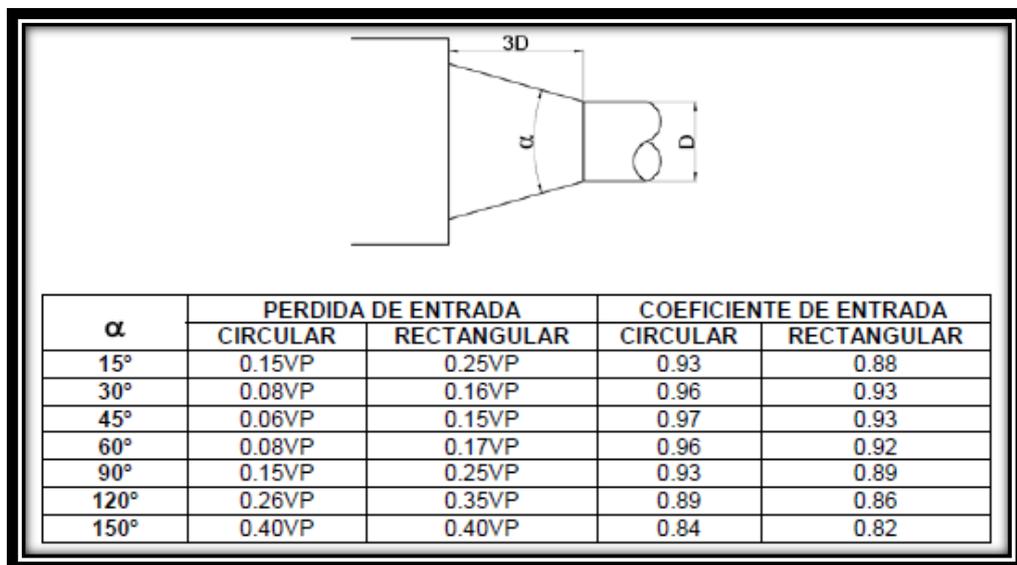


FIGURA 3. FACTOR DE PÉRDIDAS PARA REDUCCIONES.

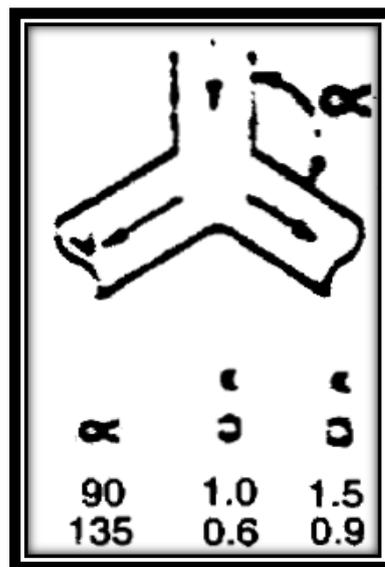


FIGURA 4. FACTOR PARA Y (PANTALÓN)

## **ANEXO 8.**

### **TABLA DE TEJIDOS.**

**TABLA 1. PROPIEDADES DE RESISTENCIA EN MATERIALES DE TEJIDOS**

<b>TEJIDO</b>	<b>TEMPERATURA °F</b>	<b>RESISTENCIA ACIDA</b>	<b>RESISTENCIA ALCALINA</b>	<b>ABRASIÓN FLEXIBLE</b>
Algodón	180	Pobre	Muy bueno	Muy bueno
Dacrón (polyester)	275	Buena con minerales ácidos	Bueno; regular en alcalinidad fuerte	Muy bueno
Fiberglas	500	Mas o menos a bueno	Regular a bueno	Regular
Nextel	1400	Muy bueno	Bueno	Bueno
Nomex	375	Regular	Excelente a baja temp.	Excelente
Nylon	200	Regular	excelente	Excelente
Orlon	260	Bueno a excelente	Regular a bueno en baja alcalinidad	Bueno
P84*	475	Bueno	Bueno	Bueno
Polipropileno	200	Excelente	Excelente	Excelente
Ryton	375	Excelente	Excelente	Bueno
Teflon	450	Inerte excepto para fluor	Inerte excepto para trifluoruro, cloruro y metales alcalinos	Regular
Lana	200	Muy bueno	Pobre	Regular a bueno

## **ANEXO 9.**

### **TABLAS DE COEFICIENTES DEL TRANSPORTADOR DE GUSANO SIN FIN.**

**TABLA 1. VALORES DE COEFICIENTES**

<b>CARACTERISTICAS DEL MATERIAL</b>	<i>Valores de los Coeficientes</i>		
	$\varphi$	$A$	$w_0$
Ligeros y no Abrasivos	0.4	65	1.2
Ligeros y poco Abrasivos	0.32	50	1.6
Pesados y poco Abrasivos	0.25	45	2.5
Pesados y Abrasivos	0.125	30	4.0

**TABLA 2. VALORES TIPIFICADOS DE DIAMETROS DE TORNILLOS CON SU PASO**

<b>DIAMETRO TORNILLO, mm</b>	100	125	160	200	250	300	400	500	650	800
Paso, mm	100	125	160	200	250	300	400	500	650	800
	80	100	125	160	200	250	320	400	600	650

**TABLA 3. VELOCIDADES MAXIMOS DE ROTACION DEL TORNILLO**

<b>DIAMETRO TORNILLO, mm</b>	150	200	250	300	400	500	600
Velocidad de rotación del tornillo, rpm	24	20	24	19	19	19	15
	150	180	118	118	95	95	75

**TABLA 3. VELOCIDADES MAXIMOS DE ROTACION DEL TORNILLO**

<b>ANGULO DE INCLINACION DEL TRANSPORTADOR</b>	0	5	10	15	20
$k$	1	0.9	0.8	0.7	0.6

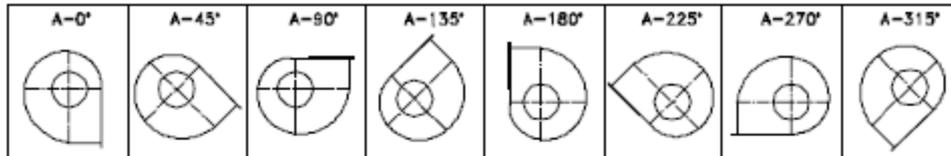
## **ANEXO 10.**

### **POSICIONES DE LOS VENTILADORES.**

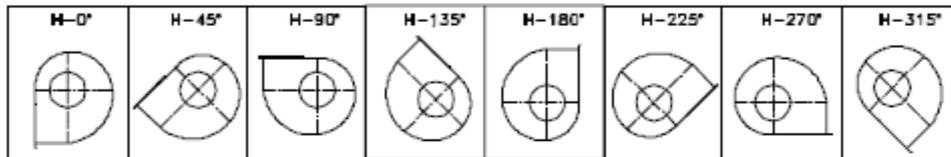
**FORMAS CONSTRUCTIVAS PARA VENTILADORES DE ASPIRACION SIMPLE**

**DESIGNACION DE ROTACION Y DESCARGA**

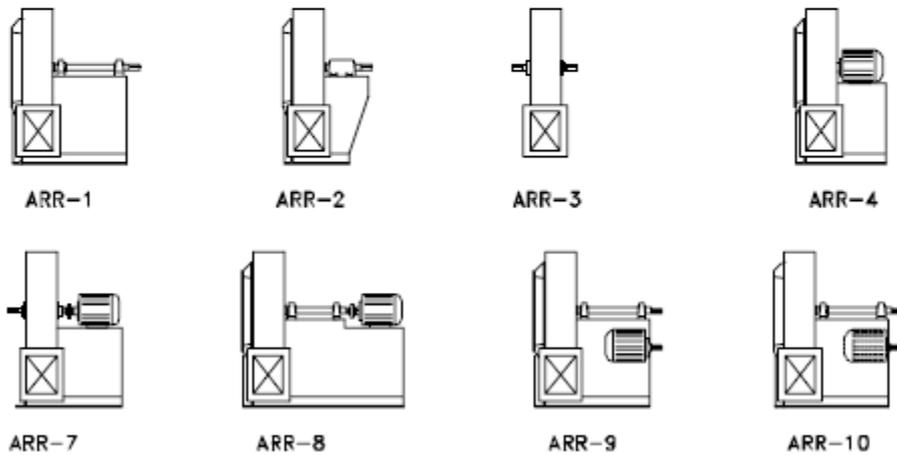
**SENTIDO DE ROTACION ANTIHORARIO**



**SENTIDO DE ROTACION HORARIO**



**DESIGNACION SEGUN ARREGLOS DE TRANSMISION**



ARR-1: PARA TRANSM. POR BANDAS O DIRECTA, IMPULSOR EN VOLADIZO. DOS CHUMACERAS MONTADAS EN LA BASE.

ARR-2: PARA TRANSM. POR BANDAS O DIRECTA, IMPULSOR EN VOLADIZO. RODAMIENTOS EN SOPORTE MONOBLOQUE.

ARR-3: PARA TRANSMISION POR BANDAS O DIRECTA CHUMACERA A CADA LADO DEL IMPULSOR Y SOPORTADA EN LA VOLUTA.

ARR-4: PARA TRANSM. DIRECTA. IMPULSOR EN VOLADIZO EN EL EJE DEL MOTOR.

ARR-7: PARA TRANSM. POR BANDAS O DIRECTA, IGUAL AL ARREGLO 3, CON ADICION DE UNA BASE PARA EL MOTOR.

ARR-8: PARA TRANSM. POR BANDAS O DIRECTA, IGUAL AL ARREGLO 1, PERO CON BASE EXTENDIDA PARA EL MOTOR.

ARR-9: PARA TRANSM. POR BANDAS. IMPULSOR EN VOLADIZO Y MOTOR MONTADO EN EL EXTERIOR DE LA BASE.

ARR-10: IGUAL QUE EL ARREGLO 9, PERO CON EL MOTOR MONTADO EN EL INTERIOR DE LA BASE.

**FIGURA 1. POSICIONES DE LAS VOLUTAS DE LOS VENTILADORES**

**ANEXO 11.**

**FOTOS.**

CONFIDENCIAL

**ANEXO 12.**

**COTIZACION DE LOS DIFERENTES  
EQUIPOS DEL SISTEMA.**

## **ANEXO 13.**

### **CANTIDAD DE AIRE A DESEMPOLVAR.**

TABLA 1. CANTIDAD DE AIRE A DESEMPOLVAR SEGÚN EL EQUIPO

Equipo	Tam. (mm)	m <sup>3</sup> /h	Recomendaciones
Alimentador Vibratorio	600	900	
	800	1'500	
	1'000	2'400	
	1'200	3'600	
Bomba de Aire Comp.		60	Por t } Por t } 1.5 veces de volumen Por t } de aire comprimido Por t }
Bomba		50	
Recipiente de Presión		40	
Buhler		30	
Recipiente de Almacenamiento	Grande > 100 t/h	1'000	Alimentación Mecánica
	Pequeño a 100 t/h	500	Alimentación Mecánica
Almacenamiento Clinker		12 - 20'000	Silo Cilindrico
		40 - 60'000	Silo Circular (Cúpula Clinker)
Trituradora de Rodillo	to 50 t/h	36	Por t
	50 - 100 t/h	60	Por t
Trituradora de Mandíbula	to 100 t/h	60	Por t
	100 - 400 t/h	45	Por t
	400 - 700 t/h	30	Por t
Trit. de Martillo	to 100 t/h	120	Por t
Trituradora de Impacto	to 100 t/h	90	Por t
	to 300 t/h	60	Por t
	> 300 t/h	40	Por t
Trituradora Giratoria o Trituradora de Cono	to 100 t/h	60	Por t
	100 - 400 t/h	45	Por t
	400 - 700 t/h	30	Por t
Maquina de Embalaje		8'000	8-Empacador de Boquilla Rotativa
		6'000	6-Empacador de Boquilla Rotativa
		300	Alimentador
		2'500	Por línea de envasadora de embudo
	1'500	Giro de Pantalla 1 x 2.5m para llevar Cinta Transportadora la bolsa de Unidad de Limpieza	
	2'000		
	2'500		
Carga Movil		5'000	Aire 400 mm Tornillo 1630/1800 Tolvas Moviles Dobles Articulado
		5'000	
		1'500	
		4'000	
Carga de Cabeza		900	Cement 300 m <sup>3</sup> /h
		1'500	Cement 600 m <sup>3</sup> /h
		12'000	Clinker 300 m <sup>3</sup> /h
Cisterna de Vehiculos		540 - 660	Ruta 60 t/h at 2.5 bar
		660	Tren 60 t/h at 2.5 bar