



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“REDISEÑO DEL SISTEMA PARA LA RECUPERACIÓN DE  
PLÁSTICO EN UNA EMPRESA DE MOLDEO”**

Acosta Dania

Vaccarini María

**VALENCIA, ABRIL DE 2008**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“REDISEÑO DEL SISTEMA PARA LA RECUPERACIÓN DE  
PLÁSTICO EN UNA EMPRESA DE MOLDEO”**

Tutor Académico:  
Prof.: Arístides Boada

Presentado por  
Acosta C. Dania A.  
*Vaccarini M. María R.*

**VALENCIA, ABRIL DE 2008.**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado *“REDISEÑO DEL SISTEMA PARA LA RECUPERACIÓN DE PLÁSTICO EN UNA EMPRESA DE MOLDEO”*, realizado por los bachilleres: Acosta Dania, titular de la cedula de identidad 15.226.654 y Vaccarini María, titular de la cedula de identidad 12.607.856; hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

---

Prof. Arístides Boada  
**Tutor**

---

Prof. Javier Arruti  
**Jurado**

---

Prof. David Ojeda  
**Jurado**



## AGRADECIMIENTOS

Llegó la oportunidad de agradecerle a aquellos que aportaron algo para ayudarme a conseguir mi triunfo y me apoyaron en todo momento sin juzgarme.

A Dios quien me tomó de su mano para ayudarme a llegar hasta aquí, mostrándome que solo es el comienzo del cumplimiento de mis metas

A mis familiares que estuvieron conmigo y me brindaron su apoyo en todo momento.

A mis amigos y compañeros de clases, que son los que realmente saben cuan difícil es alcanzar esta meta, pero juntos lo logramos, los felicito.

Al Profesor Arístides Boada, quien como tutor académico de este trabajo de grado, aportó su granito de arena para hoy poder estar aquí disfrutando de este triunfo.

Al Ingeniero Marcos Rodríguez y a Alejandro Sequera, por su valiosa colaboración y facilidades que me brindaron en la Cervecería Polar Planta Metalgráfica S.A. durante la realización del proyecto, celebrando mis aciertos, corrigiendo cualquier detalle, y aportándome su conocimiento, capacitándome así, para afrontar futuras situaciones con la intención de alcanzar el más alto nivel profesional.

A todos muchas gracias...

**Dania A. Acosta C.**



## AGRADECIMIENTOS

*Principalmente a Dios por darme la sabiduría, fortaleza, paciencia y cordura para terminar esta etapa de mi vida (el ser ingeniero).*

*A toda mi Familia, por que siempre me brindaron todo su amor comprensión cuando más lo necesité, a todos mis amigos que han estado junto a mí en las buenas y malas.*

*Agradezco a todos las personas que junto a mí me ayudaron a lograr cumplir con esta meta de mi vida, ser Ingeniero, y en especial a la Señora Cira y la Señora Amada al Señor Carlos Ecorihuela y a todos mis profesores (en especial Manuel Duarte).*

*Gracias a todos y cada una de las personas que no nombro por que no terminaría nunca Gracias a todos....*

*Vaccarini Martínez Maria Rosalía.*



## DEDICATORIA

Con esto cumplo el último requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico. Se lo quiero dedicar a todos los que estuvieron conmigo durante este periodo de mi vida, donde he vivido tantas cosas, espero no olvidarme de nadie.

A mis abuelos Patricio Acosta, Paula de Acosta, Filomeno Chirinos, que ya no están, porque se que habrían disfrutado conmigo de este momento y les llenaría de orgullo decir que su nieta ya se está graduando, y a mi abuela María de Chirinos quien sé que día a día me ha incluido en sus oraciones colaborando así con mi triunfo.

A mi padre Fernando Acosta, que se que ha hecho un gran esfuerzo trabajando hasta lograr darme una carrera para que nunca me falte nada, papá ya puedes decir que tu hija es Ingeniero. A mi madre Migdalys de Acosta, con todos sus regaños que ayudaron de alguna manera para asegurar estar hoy escribiendo esto y mi hermano Danny Acosta que siempre me ha brindado su apoyo aunque estamos poco tiempo juntos, no solo por ser el único que tengo, sino porque siempre has estado cuando te necesito, hermano te quiero mucho.

Todos ellos me han dado siempre lo mejor para que a mi nunca me falte nada y pueda cumplir mi meta, es una familia pequeña pero es lo más grande que tengo. Los quiero muchísimo.

A mis sobrinos María Fernanda, Dilan y Helen, para que este logro les sirva de ejemplo a seguir, para que cuando se propongan algo sepan que si se puede. Los adoro y espero que dios les regale lo mejor.

A mi tío Edgar Acosta, que aunque ahora está en Noruega nunca ha dejado de darme su apoyo, y para nadie es un secreto que es mi tío favorito porque siempre me



ha hecho sentir como su hija, y doy gracias a Dios por darme la oportunidad de regalarle este momento, tío estoy muy cerca de lograr lo que quiero. Gracias por estar siempre pendiente de mí.

A mi mejor Amiga Arquitecto Yenny Pinho, porque aún cuando lleva una vida muy ocupada siempre ha tenido un espacio para estar en las buenas y en las malas con esta loca. Gracias a dios todos estos años de amistad no han sido en vano y por tener una amiga como tu. Te quiero mucho.

A mi novio bello, quien me ha brindado su brazo para levantarme en los malos momentos y ha disfrutado conmigo de los mejores. Le doy gracias a dios por haberte encontrado, porque no es fácil encontrar a un hombre, un amigo que me tenga toda la paciencia que me has tenido tu en todo este tiempo, nunca podré olvidar cada momento que he vivido contigo ni cada consejo que son porque quieres lo mejor para mi, solo por eso Pedro Miguel Fazenda Mejias TE AMO DE CORAZÓN y lo sabes.

A toda esa gente, familiares y amigos, que han estado conmigo y confiaron en que lo podía lograr sin señalarme nunca. A la Señora Aracelis Mejias de Fazenda, la Señora Esperanza Gil, y todos los que se preocuparen en no dejarme caer en ningún momento.

También se lo dedico a los que no pensaron que lo lograría, y solo estuvieron pendiente de mis errores sin tomar en cuenta mis triunfos, si, hay un espacio para ustedes, lamento decirles que si pude, tarde o temprano pero ya me voy a graduar, que tal? En fin gracias a todos los que me ayudaron y aportaron su granito de arena. Mil gracias pero el título es para mi, jajajajaja.

**Dania A. Acosta C.**



DEDICATORIA

*Principalmente a Dios por darme la sabiduría, fortaleza, esperanza, y cordura que necesité para cumplir esta meta, nunca me cansaré de agradecer a Dios, y en especial por darme a la familia que tengo, porque gracias a ellos he logrado terminar esta etapa de mi vida que es tan anhelada no solo por mi sino por ellos también.*

*Agradezco a toda mi familia que siempre me ha dado todo su amor, apoyo y comprensión sin pedir ni esperar nada a cambio. A mi Madre (Martina Martínez) por todo su amor incondicional por todo el sacrificio que hizo para que su hija lograra su meta ser Ingeniero (gracias mami Te Amo), porque eres una mujer digna de admirar, todo un ejemplo a seguir de fortaleza constancia y sobre todo de mucho amor, mami eres la mejor del mundo.*

*Agradezco a mi Padre (Nino Vaccarini) por su amor y dedicación, por todo lo que me has enseñado (bueno y malo), porque eres el mejor papá del mundo. A mis dos Hermanos (Antonio Vaccarini y Mauro Vaccarini) por todo el amor y cariño que me han dado, por enseñarme a ser una mujer de bien, por mostrarme la parte humana de la vida porque ustedes dos son los seres más nobles que existen en el mundo, los amos.*

*Agradezco a José Ygnacio Gamboa Santana, por brindarme su apoyo y amor por estar a mi lado en la buena y en la mala por ser un hombre espectacular, increíble, por*



*brindarme sus brazos cuando más lo necesité por levantarme cuando creí que ya no podía más por eso y mil cosas más agradezco a Dios y a la vida porque cruzarlo en mi camino.*

*A mis amigos y compañeros de estudio que junto a mí saben lo difícil que es lograr terminar esta carrera gracias por el apoyo que de una u otra forma siempre me han dado.*

*Gracias a todos...*

*Maria Rosalía Vaccarini Martínez*



## **RESUMEN**

Cervecería Polar Planta Metalgráfica, es una empresa que se caracteriza por ser líder en el mercado nacional en la fabricación y comercialización de productos plásticos tales como: gaveras, pailas, huacales, entre otros. En el proceso de reciclaje del material recuperado, existen partículas de polvo, originado por el cizallamiento que produce el molino sobre el material. Esto genera problemas de obstrucción en los filtros de los equipos de inyección ocasionando paradas no planificadas de producción. Debido a esta situación la empresa implementó un sistema de separación que no cumplió con las expectativas deseadas. Razón por la cual, la empresa desea rediseñar el sistema actual. Para llevar a cabo el rediseño se evaluaron las condiciones actuales del sistema, para luego plantear las alternativas de solución al problema. Se encontró que aunque el sistema actual estaba activo, este no contaba con los elementos necesarios para realizar un buen desempeño y por otra parte la empresa no tenía los planos ni los datos de diseño del sistema actual. La propuesta seleccionada consta de dos sub-sistemas independientes que se encargan de separar el polvillo, para los cuales se realizó la selección de los equipos necesarios para su correcto funcionamiento. Finalmente, se hizo una evaluación económica con el fin de determinar la rentabilidad del proyecto.



## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Figura 2.1 Esquema de Material en corriente de aire (Clase I).</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.2 Sistema Clase II.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.3 Sistema Clase III.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.4 Cámara de Sedimentación</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.5. Cámara de Choque.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.6. Ciclón.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Tabla 2.1 Rendimiento del ciclón.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.7. Multiciclón.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.8 Distintos tipos de mallas para el medio filtrante.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.9 Filtración por torta</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.10 Filtración en lecho profundo.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.11 Tipos de mangas</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.12. Filtro de manga.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.13 Ventilador centrífugo</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.14 Alabes de los ventiladores centrífugos</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 2.15 Ventilador Axial.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.1 Tomas o ramales del sistema actual.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.2 Diagrama de uno de los sub-sistemas actualmente instalado.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.3 Esquema representativo de la alternativa 1.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.4 Esquema representativo de la Alternativa 2.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.5 Esquema representativo de la Alternativa 3.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.6 Esquema representativo de la Alternativa 4.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Tabla 4.1 Evaluación de Restricciones</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Tabla 4.2 Ponderación de Criterios y alternativas de acuerdo a los criterios.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Tabla 4.3 Evaluación de alternativas de acuerdo a los criterios.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Tabla 4.4. Características de los ciclones de alta eficiencia.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.7. Parámetros dimensionales de un ciclón.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Tabla 4.5. Datos para el cálculo de las dimensiones del ciclón del sistema A.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Tabla 4.6 Dimensiones del ciclón del sistema A.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.8 Contenedor rectangular para la recolección de desechos sólidos.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.9 Separación de soportes en el sub-sistema A.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4.10 Separación de soportes en el sub-sistema B.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Tabla 5.1 Costos diarios de pérdidas de producción.</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>Tabla 5.2. Costo de los equipos, accesorios e instalación del sistema de extracción de polvos.</b>	¡Error! Marcador no definido.



## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA .....	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>1</b>
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS .....	¡Error! Marcador no definido.
NOMENCLATURA .....	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO I.....	¡Error! Marcador no definido.
TÍTULO .....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.- OBJETIVO GENERAL.....	¡Error! Marcador no definido.
1.3.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	¡Error! Marcador no definido.
1.4.- LIMITACIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
1.5.- DELIMITACIONES. ....	¡Error! Marcador no definido.
1.6.- JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO II .....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN: .....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.- BASES TEÓRICAS: .....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.1.- Las partículas de polvo.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2.- Origen y clasificación del polvo.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.3.- Efectos fisiológicos del polvo .....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.- Elementos que conforman un sistema de separación de polvos. ¡Error!	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.1. Transporte Neumático .....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.1.1.- Material en corriente de aire. (Clase I).....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.1.2.- Aire en material. (Clase II). ....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.1.3.- Mezcla de aire y material. (Clase III). ....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.1.4.- Generalidades sobre el cálculo de sistemas neumáticos.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.2.- Separadores por fuerzas de inercia ..	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.2.1.- Cámara de sedimentación.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.2.2.- Cámara de Choque. ....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.2.3.- Ciclones .....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.2.4.- Multiciclón.....	¡Error! Marcador no definido.



2.2.4.3.- Filtros .....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.4.- Ductos .....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.4.1.- Diseño de Ductos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.4.2.- Pérdidas en el sistema.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.4.2.1.- Pérdidas en la línea.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.4.2.2.- Pérdidas en el ciclón.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.4.2.3.- Pérdidas en filtros.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.4.2.4.- Pérdidas en mangueras.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.4.2.4.1.- Diámetro y velocidad de la manguera.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.4.2.5.- Pérdidas debido a la succión.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.5.- Ventiladores .....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.5.1.- Clasificación de los ventiladores.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.- GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO III.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1 TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.4.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO IV .....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.- EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN DE POLVOS PROVENIENTES DE LAS MÁQUINAS.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.- ALTERNATIVAS PARA EL REDISEÑO DEL SISTEMA DE ABSORCIÓN DE POLVOS.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.-Consideraciones iniciales.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2.- Planteamiento de alternativas de solución.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2.1.- Alternativa 1.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2.2.- Alternativa 2.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2.3.- Alternativa 3.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2.4.- Alternativa 4.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.3.- Cálculo del caudal total.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.4.- Cálculos típicos de las pérdidas en el sistema.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.5.- Selección de los equipos.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.5.1.- Selección del separador de partículas tipo ciclón.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.5.2.- Selección del separador tipo filtro de mangas.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.5.3.- Cálculo de potencia y selección del ventilador .....	¡Error! Marcador no definido.



4.2.6.- Especificaciones de construcción de los ductos del sistema. ....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.7.- Sistemas de disposición final del polvillo. ¡Error! Marcador no definido.	
4.2.7.1.- Cantidad de polvo recolectado. ....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.7.2.- Diseño de las tolvas para la disposición final de los polvos.. ¡Error!	
Marcador no definido.	
4.2.8.- Selección de anclaje y soporte.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.9.- Determinación del peso de los ramales. ...	¡Error! Marcador no definido.
4.2.9.1.- Cálculos Típicos. ....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.10.- Selección y distribución de soportes.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO V.....	¡Error! Marcador no definido.
5.1.- EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA APLICACIÓN DEL REDISEÑO PROPUESTO. .	¡Error! Marcador no definido.
5.1.1.- Valor actual por los costos de pérdidas de producción generados por las paradas de planta no planificadas en el proceso de inyección debidas al sistema actual.....	¡Error! Marcador no definido.
5.1.2.- Valor actual para los costos generados por la implementación de la alternativa de solución planteada. ....	¡Error! Marcador no definido.
5.1.3.- Tiempo de pago de la alternativa de solución planteada. ....	¡Error! Marcador no definido.
Marcador no definido.	
CONCLUSIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
RECOMENDACIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
BIBLIOGRAFIA.....	¡Error! Marcador no definido.
APENDICE.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS .....	¡Error! Marcador no definido.



## **INTRODUCCIÓN**

Cervecería Polar, Planta Metalgráfica instalada en la zona industrial sur de la ciudad de Valencia, Estado Carabobo, inicia sus actividades como una franca contribución al desarrollo del país, en especial de la región carabobeña, donde se ha convertido en artífice de la creación de numerosas fuentes de empleos, llevando con orgullo sus productos a otros mercados, nacionales e internacionales. Inicialmente la empresa cubre con su producción la necesidad de gaveras para la industria cervecera, con lo cual se garantiza el envase para la cerveza y el retorno de las botellas.

En un principio la empresa dirige exclusivamente su actividad económica hacia la fabricación de tapas corona y litografía sobre metal, teniendo como clientes principales a las plantas cerveceras y manufactureras de malta del país. Procesos que realiza con maquinarias y equipos de avanzada e insumos de calidad, suministrado por suplidores nacionales, sin olvidar que el desarrollo tecnológico alcanzado, permite ofrecer una amplia gama de productos. De esta manera, la empresa abre un período de renovados esfuerzos hacia el progreso constante, orientado en la consolidación de excelencia en la calidad y productividad en todas sus operaciones cotidianas.

El área de desarrolló de esta investigación fue producción, específicamente en la sección plástico. En esta área se elaboran todos los productos de Envases Plásticos con diversos materiales (Polietileno de alta Densidad PEAD, Pigmentos, Aditivos, Master Batch, etc.) en Industrias Metalgráfica S.A., destinados a la Cervecería Polar y otros Clientes como industrias alimenticias y químicas.

El problema que actualmente se presenta se hace notorio durante el proceso de inyección, ya que el polvo presente en el material reciclado ocasiona paradas no



planificadas. Este polvo generalmente se produce durante el de molido del material, a causa del cizallamiento de las cuchillas al cortar el polietileno.

La contaminación ocasionada por este polvillo se esparce por toda el área de molienda, afectando así la salud del personal que opera las máquinas y además es arrastrado hacia las adyacentes al aérea, afectando también al personal que labora en ellas.

En la actualidad en la planta se encuentra instalado un equipo de separación de polvillo, el cual ya no está cumpliendo con lo requerido por la producción. Razón por la cual, es necesario realizar un estudio de dicho equipo y el rediseño del mismo logrando así reducir al mínimo los problemas que se presentan.

En este trabajo se contemplan 5 capítulos que describen la evaluación y el rediseño de un sistema de separación de polvo. En el capítulo I, se presenta el estudio de la situación problemática, a partir del cual se plantea un objetivo general y varios objetivos específicos, así como también las limitaciones y delimitaciones del proyecto.

En el capítulo II se describe el marco teórico y se hace mención de tres trabajos, que forman parte de los antecedentes del proyecto. En el capítulo III se aborda la metodología adoptada, donde se define el tipo de investigación, además de las técnicas y procedimientos que se lleva a cabo para la ejecución del proyecto.

En el capítulo IV se hace la evaluación del sistema de separación de polvillo actual y se plantean las alternativas para el rediseño del mismo. Para finalizar, en el capítulo V se encuentra el estudio económico para la verificación de la rentabilidad del proyecto.



## CAPÍTULO I

### TÍTULO

“Rediseño del sistema para la recuperación de plástico en una empresa de moldeo”

#### 1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Metalgráfica es fabricante de productos plásticos moldeados por inyección, así como también de productos metálicos como tapas coronas para botellas de la industria cervecera, de refresco y agua mineral, con diversas aplicaciones industriales.





El moldeo por inyección de plástico se realiza usando material virgen o material recuperado. Al principio la empresa solo trabajaba con material virgen para realizar el moldeo por inyección de plástico y en el área de molienda solo se recuperaba el material rechazado por fallas de moldeo. Este material era molido y usado como material recuperado para la inyección de cestas o productos, que no requerían de tantos parámetros de calidad.

En la actualidad, con el aumento de costo del material virgen, se compran gaveras usadas, para luego ser premolidas, pasadas por un sistema de lavado y secado y finalmente molidas y llevadas a los silos para usarse en el proceso de inyección. También se compra a distribuidores externos material premolido, y una vez sometido al proceso de lavado y secado, es molido y usado en el proceso de inyección. Otra opción para minimizar gastos es la compra de material ya molido, ya que éste resulta mucho más económico. Sin dejar de usar material virgen como elemento secundario para completar su producción.

En el momento de efectuar la molienda del material reciclado o recuperado se produce un polvillo convirtiéndose en la causa de las paradas no planificadas en los equipos de inyección.

Todas las maneras de obtener material distinto al material virgen explicadas anteriormente, culminan una vez que el mismo es dirigido a un sistema de separación, donde el material es separado del polvillo.

Cuando el diseño actual del sistema de separación de polvillo fue elaborado, la cantidad de material que circulaba era menor, su rendimiento era el máximo y el material que salía del sistema de separación era óptimo para ser usado en el proceso de inyección.



La eficiencia del sistema de separación de polvillo disminuyó por causa del aumento en la cantidad de material que se transporta, ya que no permite que el flujo de aire separe el polvillo del material recuperado, y debido a esto el material no es óptimo para ser usado en el proceso de inyección ya que esto está generando obstrucción en los filtros, ocasionando el aumento de las paradas no planificadas en la producción, (un 25%, según datos de la empresa). Esto ha llevado a usar material virgen, para la inyección de plástico.

Ante esta situación, la empresa plantea la posibilidad de elaborar el rediseño del sistema de separación de polvillo actual, ubicado en el área de molienda para mejorar el desempeño de los recursos inherentes a este proceso y así aumentar de forma significativa el rendimiento de la planta.

### **1.2.- OBJETIVO GENERAL.**

Rediseñar el sistema para la separación de plástico en una empresa de moldeo.

### **1.3.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar los parámetros característicos para la separación del polvillo.
- Evaluar el actual proceso de separación de polvillo para establecer las variables que intervienen en su ejecución, así como también las necesidades de producción.
- Rediseñar el sistema de separación de acuerdo con los parámetros característicos determinados y las necesidades actuales de producción.



- Realizar el estudio de la factibilidad económica para llevar a cabo el rediseño del equipo.

#### **1.4.- LIMITACIONES.**

- El rediseño debe limitarse al área que ocupa el diseño actual.
- El tiempo concedido para este proyecto está limitado a dos semestres lectivos.
- No se posee información suficiente sobre el sistema de separación de polvillo actual.

#### **1.5.- DELIMITACIONES.**

- El rediseño del sistema se realizará sólo para la separación de polvillo.
- Sólo se plantea el rediseño del sistema, la construcción del mismo depende sólo de la empresa.

#### **1.6.- JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.**

La presencia de un ambiente de trabajo limpio es un factor muy importante para los trabajadores ya que los motiva a desempeñarse mejor en sus actividades laborales, trayendo como consecuencia el aumento de la eficiencia en la producción y en la calidad del producto. Un ambiente libre de polvo reduciría el índice a contraer enfermedades respiratorias y otros trastornos fisiológicos, así como también disminuiría el riesgo a sufrir accidentes, lo que asegura el bienestar de los trabajadores.

Con el rediseño propuesto para la separación del polvillo se evitarían los problemas en la línea de inyección ocasionados actualmente por el material



contaminado que llega a los silos y de esta manera poder evitar paradas no planificadas y aumentar la eficiencia del sistema, pudiendo así continuar con la producción utilizando material recuperado y evitando así pérdidas de producto.

Por estas razones expuestas anteriormente, es importante la realización de esta investigación como un aporte a la empresa “Cervecería Polar, Planta Metalgráfica C.A.”.

## CAPÍTULO II

A continuación se presenta un resumen de investigaciones realizadas en el área de estudio, las cuales servirán de base para el desarrollo del presente trabajo especial de grado.

### 2.1.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

Cuando se realiza una investigación, muchas veces es necesario recurrir a otras fuentes tales como trabajos realizados con anterioridad por otros autores ya que pueden servir de respaldo a la hora de obtener datos e información referente al tema de interés.

En virtud al problema presentado en el capítulo anterior, se citan algunos autores que han realizado investigaciones que guardan relación directa o indirecta, con el tema a desarrollar:

En 2.002 se realizó un estudio en la Universidad de Carabobo por Urquía R. y Seba J. se basó en el **“Diseño de un Sistema de Extracción y Recolección de Polvo”** cuyo fin es el de reducir el polvo generado durante la producción, creando un ambiente más confortable para los empleados que laboran en Cerámicas Carabobo, S.A.C.A, específicamente en las áreas de pasta-masa y prensa. El primer capítulo se refiere a los aspectos generales de la empresa con una reseña histórica de la misma y una breve descripción de ella, incluyendo sus productos y procesos; además se plantea el problema existente, los objetivos de estudio, la justificación de los mismos, sus alcances, limitaciones y un breve detalle de la metodología utilizada para la realización del Trabajo Especial de Grado. En el segundo capítulo se hace referencia a algunos temas inherentes a la concentración y los efectos fisiológicos del polvo. También se hace una breve descripción de los elementos que intervienen en un

sistema de aspiración y recolección de polvo, como lo son los diferentes tipos de colectores, ventiladores y campanas de aspiración. El tercer capítulo, está basado en el cálculo y diseño de los sistemas de extracción y recolección de polvo, en donde se plantean los sistemas de redes propuestos, se diseñan las cabinas y campanas de cerramiento, se determina el peso del sistema y se seleccionan los equipos: un colector de mangas y un ventilador centrífugo impulsado por un motor para cada una de las zonas de estudio. En el cuarto capítulo se presenta el resultado del costo del proyecto donde se incluyen todos aquellos involucrados en el diseño propuesto, el cual alcanzó un monto de 151.990.775,8. El quinto capítulo se refiere a la forma de proceder para la calibración del sistema, indicando los instrumentos y equipos, la metodología empleada para el balanceo, además de un plan de mantenimiento en donde se indican cada uno de los componentes que intervienen en el mismo.

En 2000 se realizó un estudio en la Universidad de Carabobo (UC), en el área de diseño, dirigido por Rodríguez, L. y Rodríguez J. Este se basó en el **“Diseño del sistema para la extracción del polvo de jabón en las máquinas de trefilado de alambre c. a. z.”**, el cual surge debido a los altos niveles de contaminación existente en el proceso por la utilización de lubricantes en forma de polvo, inicialmente la empresa no posee un mecanismo eficiente para combatir este problema, hoy en día el proceso de limpieza está a cargo de una empresa de mantenimiento, la cual no posee los elementos suficientes para lograr una recolección efectiva sin que el polvo se esparza por el ambiente de trabajo, y así los operarios se encuentren en condiciones más confortables. En primer lugar se exponen los conceptos básicos del proceso de producción de alambre, así como el problema de la generación de polvo en el proceso de trefila, seguidamente se realiza un estudio de los efectos fisiológicos de los polvos y los elementos que conforman el sistema de aspiración, para posteriormente realizar un ensayo granulométrico del polvo a extraer para determinar el tamaño de la partícula; y luego seguir con los cálculos y diseñar el sistema, haciendo uso de las normas de ventilación industrial. En este último paso se establecen varias alternativas

de solución al problema, para luego así, obtener la más favorable para la empresa en cuanto a ventaja y costos se refiere.

El diseño se inicia con la determinación de la densidad del polvo, para luego obtener mediante las normas de ventilación, el sistema más indicado para su transporte y recolección.

Por último se realiza el cálculo del costo aproximado de los sistemas diseñados, tomando en cuenta la inversión requerida como consecuencia de la adquisición de equipos y accesorios.

En el 2003 se realizó un estudio en la Universidad de Carabobo (UC), en el área de diseño, realizado por Mendoza, José y Salazar Julián. Este se basó en el **“Diseño del sistema de separación de polvo en la molienda de feldespatos”**, con la finalidad de clasificar las partículas menores o iguales a 150  $\mu\text{m}$ . de aquellas que no tienen este tamaño, en la planta de Productos Minerales de Venezuela C.A. (PROMIVECA), ubicada en la Urbanización El Socorro, vía de servicio # 182-80, autopista Valencia- Campo Carabobo. La clasificación ejecutada actualmente, involucra las siguientes operaciones: cribado del material, almacenaje de las partículas superiores a los 150 $\mu\text{m}$  y una trituración adicional de las partículas almacenadas, dichas operaciones traen como consecuencia un ambiente impregnado de polvo, lo que constituye un potencial foco de enfermedades respiratorias y al mismo tiempo disminuye en forma general, la productividad de la planta. El diseño de un nuevo sistema, conlleva a alcanzar los siguientes objetivos específicos: evaluar rediseño del sistema actual en función de la mejor alternativa de solución y evaluar la rentabilidad de dicha alternativa. Alcanzar los objetivos antes planteados, requiere de una organización y planificación de la estrategia a seguir, para aplicar las técnicas de recolección de datos, tal estrategia consistió, en la aplicación de un ensayo granulométrico, a fin de determinar un diagnóstico preciso, de la situación actual y

determinar el régimen de flujo, así como la influencia que ejerce, la forma y tamaño de las partículas. Una vez solventadas las restricciones impuestas por los objetivos, se puede concluir que el diseño, presenta las siguientes características: aumenta la productividad de la planta, prescinde de las operaciones de cribado, almacenaje y posterior trituración del material almacenado. También se depura el ambiente de trabajo de una atmosfera pulvurenta. Para que el sistema funcione a cabalidad se recomienda, procesar feldespato o en su defecto, materiales con características similares.

## **2.2.- BASES TEÓRICAS:**

### **2.2.1.- Las partículas de polvo. <sup>[1]</sup>**

Polvo es un nombre genérico para las partículas sólidas con un diámetro menor a los 500 micrómetros y, en forma más general, materia fina. En general, es el término que se designa a las partículas sólidas finamente divididas, de dimensiones y procedencia diversas.

El polvo puede definirse como un sistema disperso (aerosol) de partículas sólidas heterogéneas en un gas (aire) cuya distribución grosera por tamaño es predominantemente la de un coloide.

Una partícula suficientemente pequeña como un grano de polen, inmersa en un líquido, presenta un movimiento aleatorio, observado primeramente por el botánico Brown en el siglo XIX. El movimiento browniano pone de manifiesto las fluctuaciones estadísticas que ocurren en un sistema en equilibrio térmico. El movimiento aleatorio de estas partículas se debe a que su superficie es bombardeada incesantemente por las moléculas del fluido sometidas a una agitación térmica. Este bombardeo a escala atómica no es siempre completamente uniforme y sufre

variaciones estadísticas importantes. Así la presión ejercida sobre los lados puede variar ligeramente con el tiempo provocando el movimiento observado.

Las propiedades físicas de una sustancia finamente suspendida en el aire y las que posee la misma sustancia cuando forman masas compactas son muy distintas. La diferencia se debe a que las partículas presentan una superficie de contacto con el aire mucho mayor, lo cual aumenta enormemente el número de moléculas activas tanto física como químicamente. Si un cubo de un (1) centímetro de lado y seis (6) centímetros cuadrados de superficie se divide en cubos de 1,0  $\mu\text{m}$  de lado, la superficie total de los cubos pequeños aumenta hasta seis metros cuadrados.

### **2.2.2.- Origen y clasificación del polvo.<sup>[2]</sup>**

El polvo es un enemigo muy pequeño - con tamaño entre 0,1 y 0,5 micrones (un micrón es la milésima parte del milímetro) - pero que puede causar grandes males. En muchos casos no se ve y sólo es detectable a la vista cuando viene acompañado.

Se produce una inmensa cantidad de polvo al triturar (beneficio de minerales), moler, barrenar, cribar, cambiar material de una correa transportadora a otra, transportar y también al maquinar, tanto al rectificar como al terminar o pulir mineral.

El contenido de polvo en el aire se caracteriza por el peso del polvo por unidad de volumen  $\left(\frac{mg}{m^3}\right)$  o por el número de partículas contenidas en un  $\text{cm}^3$  y para que el polvo quede totalmente definido es preciso conocer ambas cantidades.

Las diferentes clases de polvo se distinguen también por sus propiedades físicas, a saber: tamaño de partícula, densidad, forma, consistencia, carga eléctrica, capacidad de absorción, inflamabilidad y explosividad.

En condiciones industriales, las partículas de una nube de polvo pueden cubrir una amplia gama de tamaños que va desde fracciones de una (1) micra hasta cien (100) micras o más. La distribución por tamaño se determina por su origen, el tipo de maquinado, nivel de explosión, etc.

Son posibles tres formas básicas de partículas: laminar, fibrosa y granular. Los polvos industriales, generalmente constan de partículas de las tres formas.

Las partículas de polvo tienen un tamaño que varía desde media micra hasta muchas veces ese tamaño. Se mantienen suspendidas en el aire durante largos períodos y pueden ser transportadas a grandes distancias.

El tamaño de las partículas es de especial importancia, así como su forma, densidad y carga eléctrica, es decir, aquellas propiedades que determinan el comportamiento de las partículas en el ambiente de trabajo, tanto de un punto de vista tecnológico como higiénico. Desde el punto de vista tecnológico afectan al procedimiento para recogerlos en su fuente y a la forma de eliminarlos del aire. Las partículas grandes se asientan con rapidez. Estas partículas grandes y pesadas, no penetran el aparato respiratorio del hombre. El polvo ligero, fibroso, acicular y también el que se forma por condensado en partículas blandas y floculentas, quedan suspendidos en el aire por largos períodos de tiempos, asentándose lentamente.

La clasificación del polvo por tamaño se consigue mediante cernido por una serie de tamices de tela metálica, clasificado por aberturas de malla ascendente a partir de 42 $\mu$ m. El porcentaje en peso de las diversas fracciones se determinan

pesando los residuos de los tamices. Las fracciones más finas, menores de 42  $\mu\text{m}$ , son tratadas en clasificadores de aire a presión que permiten la determinación del porcentaje en peso de las fracciones individuales y también la clasificación de las fracciones según la velocidad de sedimentación.

Los peligros más importantes asociados con el polvo industrial son el riesgo de explosión, y el peligro para la salud.

La explosión puede ocurrir cuando el polvo se encuentre en el aire en concentración suficiente y se someta a una fuente de ignición. Este riesgo se encuentra en materiales de origen natural (almidón, harina, azúcar, madera...), en plásticos, productos químicos o metales ligeros (aluminio, magnesio...) y en el azufre. Por lo tanto puede ocurrir en actividades de agricultura, minería, química y metal.

Las técnicas que se aplican son: eliminación, sustitución por una materia menos peligrosa, separación y aislamiento de los procesos polvorientos, humedecimiento de los materiales para evitar que las partículas queden suspendidas en el aire, ventilación y filtración.

### **2.2.3.- Efectos fisiológicos del polvo <sup>[3]</sup>.**

Dentro del grupo de enfermedades causadas por la inhalación de partículas de polvo, las que más destacan son la neumoconiosis, que son una reacción no neoplásica del intersticio del pulmón, que se deben a la inhalación de polvos minerales o de otras sustancias, que también pueden ser de tipo orgánico, y tienen en general la característica de que se encuentran en el lugar de trabajo del individuo.

La neumoconiosis se debe fundamentalmente a la cantidad de polvo que está siendo inhalado por vía aérea. En este aspecto es muy importante el tamaño y la

forma de las partículas; las partículas no deben ser extremadamente pequeñas, pero tampoco pueden ser demasiado grandes. Así, entonces, partículas grandes se quedan en la parte alta del tracto respiratorio y son eliminadas por los cilios; las partículas de tamaño intermedio y que habitualmente tienen algún grado de solubilidad, son las que llegan finalmente a la pared del alveolo y se quedan allí, y las demasiado pequeñas vuelven a salir y no producen depósito.

#### **2.2.4.- Elementos que conforman un sistema de separación de polvos.**

Para conformar un sistema de aspiración de polvos, se requiere del diseño y selección de un conjunto de dispositivos, de acuerdo al tipo y características del material que va a ser transportado, además de otras variables involucradas en el proceso.

A continuación se presentan los diferentes dispositivos que conforman un sistema de separación de polvo:

##### **2.2.4.1. Transporte Neumático <sup>[4]</sup>.**

Estos sistemas consisten básicamente en una corriente de aire (u otro gas) a alta velocidad que se hace pasar a través de una tubería, de modo que cuando un material es alimentado a la misma, este es transportado por la fuerza impulsora del aire.

La velocidad del aire debe ser lo suficientemente alta para garantizar que el material se mantenga en suspensión y sea efectivamente arrastrado a lo largo del sistema. Si la velocidad es baja una parte del material se depositará en el fondo de la tubería produciéndose el efecto “duna”.

Se emplean comúnmente para el manejo de materiales granulares o en polvo, tanto en trayectorias horizontales como verticales, pudiendo acceder a sitios remotos que serían difíciles de alcanzar económicamente con otros transportadores mecánicos.

Básicamente existen tres tipos de sistemas neumáticos, los cuales se mencionan a continuación:

#### **2.2.4.1.1.- Material en corriente de aire. (Clase I)**

En estos sistemas el material es alimentado dentro de una corriente de aire creada por una fuente de presión positiva o inducida por una fuente de vacío. Es la clase más versátil ya que permite manejar una amplia variedad de materiales con un amplio rango de velocidades. La baja relación material/ aire permite el traslado de materiales de formas diversas: terrones, astillas, escamas y granos, así como sólidos granulares o en polvo con un mínimo de roce entre las partículas.

Dentro de este grupo se distingue tres tipos básicos:

- De presión negativa o de succión: Usados normalmente para extraer materiales de camiones o montones empleando para ello mangueras de succión. Permite transportar desde varios orígenes (uno a la vez). Ver figura 2.1.b.
- De presión positiva: Empleados para transportar materiales desde almacenamiento hasta varios receptores que pueden estar situados distantes unos de otros (uno a la vez). Ver figura 2.1.a.
- Combinado: Este tipo de transportador combina los dos anteriores, un sector es de succión y el otro de presión. Así, usando un solo sistema de impulsión es posible

extraer material desde varios sitios (por succión) y transportarlo hasta uno o más receptores (por presión).ver figura 2.1.c.

Los rangos de presión de trabajo en este grupo están limitados a 68947,57 Pa. en los sistemas de presión positiva y a 3234,92 Pa. en los de succión. Para los sistemas combinados las presiones pueden variar entre 3234,92 Pa. y 68947,57 Pa.

La figura 2.1 muestra un esquema ilustrativo de cada una de las configuraciones señaladas anteriormente.

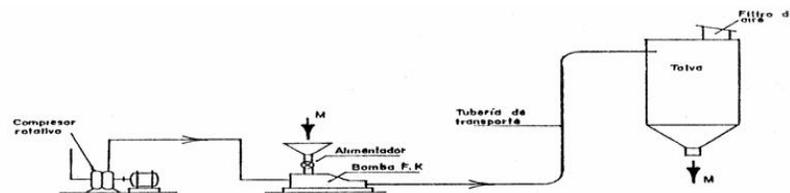


Figura 2.1.a. Sistema de Presión.

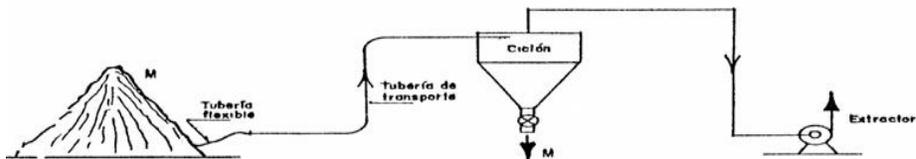


Figura2.1.b. Sistema de succión.

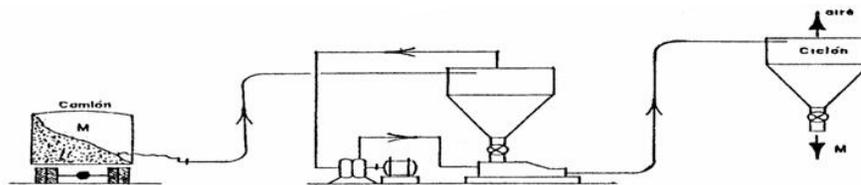


Figura 2.1.c Sistema Combinado.

Figura 2.1 Esquema de Material en corriente de aire (Clase I). Fuente: Rachadel y Gómez (1.997)

#### 2.2.4.1.2.- Aire en material. (Clase II).

El material es alimentado dentro de un recipiente (tanque de presión) hasta un volumen específico, después de lo cual se cierra la entrada de material. Seguidamente se admite aire a través de la tubería. Una vez que el material es descargado se cierra la válvula de descarga, se despresuriza el tanque y se repite nuevamente el ciclo.

La alimentación debe ingresar al tanque lo más rápidamente posible y el volumen debe ser seleccionado de tal manera que el tiempo total de ciclo permita obtener la rata de transporte deseada.

Estos sistemas son esencialmente de presión positiva y su uso esta limitado a materiales pulverizados, granulares o mixtos que se fluidizan y que emergen como una corriente densa de baja velocidad en presencia del aire. Es ideal para transportar materiales abrasivos o desmenuzables.

El volumen del tanque puede variar entre uno y 400 pies<sup>3</sup>, mientras que las presiones de descarga deben ser superiores a los 10 psig, en la figura 2.2 se muestra un esquema.

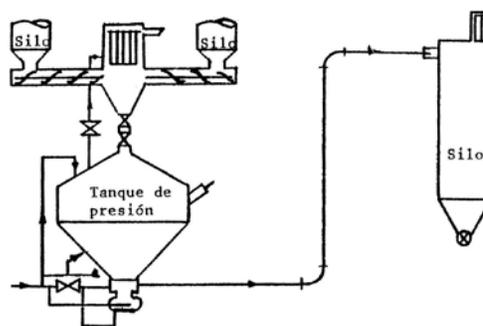


Figura 2.2 Sistema Clase II. Fuente: Rachadel y Gómez (1.997)

### 2.2.4.1.3.- Mezcla de aire y material. (Clase III).

Aquí, tanto el material como el aire se suministran simultáneamente y en forma continua, a una cámara de mezclado; cuando la presión es lo suficientemente alta dentro de la cámara, la mezcla fluye a través de una válvula conectada a la tubería.

Por lo general el material se suministra mediante un alimentador helicoidal, mientras que el aire entra a través de una serie de boquillas distribuidas convenientemente en el cuerpo de la cámara, como se muestra en la figura 2.3.

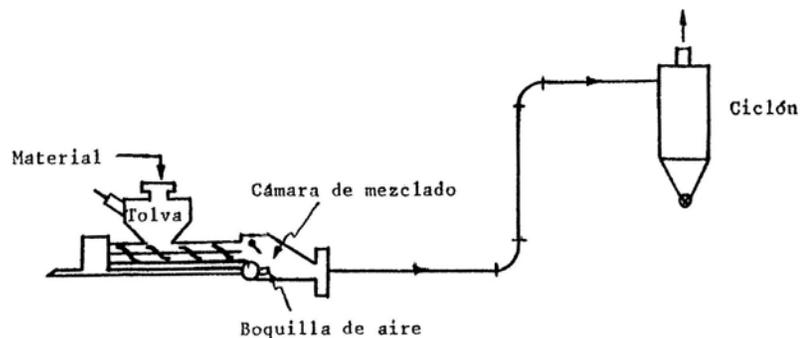


Figura 2.3 Sistema Clase III. Fuente: Rachadel y Gomez (1.997)

A continuación se mencionan algunos elementos fundamentales en un proceso de recolección y transporte de mezcla aire-polvo.

### 2.2.4.1.4.- Generalidades sobre el cálculo de sistemas neumáticos. <sup>[4]</sup>

De los sistemas descritos anteriormente, los más versátiles en cuanto a aplicación son aquellos en los cuales el material es suministrado dentro de una corriente de aire (clase I). En virtud de ello, se detallará en esta parte, el procedimiento de cálculo para dichos sistemas.

Es necesario señalar que, independientemente de su configuración: de presión, succión o combinados; se reconocen dentro de este grupo: los sistemas de baja presión, llamados también de alto volumen, y los de alta presión o bajo volumen.

Los de baja presión se emplean para el transporte de materiales livianos (peso promedio de 0,88 g/ cm<sup>3</sup> o menos) cuyos requerimientos de manejo no excedan las 8ton/h. En estos, por lo general, se usan como medios de impulsión, ventiladores centrífugos capaces de generar presiones hasta de 0,60 m.c.agua.

Los sistemas de alta presión permiten manejar hasta cientos de toneladas por hora de material (independientemente del peso promedio) y requieren del empleo de compresores como fuente generadora de la corriente de aire.

El procedimiento general de cálculo, para cualquiera de ellos, se resume a continuación:

1. Determinar la velocidad y caudal de aire requerido, tomando como base la cantidad de material a manejar y las propiedades del mismo.
2. Calcular el diámetro de la tubería que garantice el caudal requerido a la velocidad determinada previamente.

Esto se hace partiendo de la expresión:

$$Q = V * A \quad (2.1)$$

Donde:

Q= Caudal de aire (m<sup>3</sup>/min).

V= Velocidad de la corriente (m/min).

A= Área seccional de la tubería (m<sup>2</sup>).

Para una tubería circular de diámetro D (m).

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (2.2)$$

Luego:

$$Q = \frac{V * \pi * D^2}{4} \quad (2.3)$$

De donde:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (2.4)$$

El valor así obtenido de D debe ser ajustado a un diámetro comercial, para lo cual se sugiere escoger como diámetro definitivo el valor estándar por encima más cercano.

3. Recalcular la velocidad o el caudal según convenga. En este sentido es necesario considerar el ajuste del diámetro referido anteriormente, con el objeto de garantizar que la velocidad y el caudal de trabajo sean al menos iguales a los determinados en el punto 1. Así, si el diámetro se ajusta por exceso se recalcula el caudal y si por el contrario, el ajuste se hace por defecto se recalcula la velocidad.
4. Cuando se usen mangueras (sistemas de succión), determinar el diámetro de éstas y la velocidad requerida para el levantamiento efectivo del material.

Se estima que la velocidad en la manguera debe ser aproximadamente 1,6 veces la velocidad en la línea; como consecuencia de ello y para que se mantenga el caudal, el diámetro debe ser de 70% a 80% el diámetro de la tubería.

5. Calcular las pérdidas de presión en el sistema. En este punto deben identificarse todas las posibles fuentes de fricción con el fin de obtener el mejor estimado, utilizando para ello las fórmulas correspondientes al caso.
6. Calcular la potencia requerida del motor a partir de las pérdidas totales.
7. Seleccionar el equipo de impulsión.

Cabe destacar que los pasos descritos conforman el procedimiento general de cálculo; los detalles de aplicación para cada tipo (baja o alta presión) difieren notablemente.

#### **2.2.4.2.- Separadores por fuerzas de inercia <sup>[5]</sup>.**

Los separadores por fuerza de inercia, son dispositivos capaces de remover las partículas abrasivas de mayor tamaño de gases contaminados con residuos sólidos.

Estos se clasifican en:

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de choque.
- Ciclones.
- Multiciclones

Este tipo de colector se utiliza el principio que la masa efectiva de las partículas puede incrementarse mediante la aplicación de la fuerza centrífuga. El tipo más característico es el ciclón.

#### 2.2.4.2.1.- Cámara de sedimentación.<sup>[5]</sup>

Su empleo se limita a la extracción de polvo relativamente grueso, del orden de las 200 $\mu$ m y como paso previo de una depuración más fina.

Las ventajas de estos equipos radican en los bajos costos de mantenimiento (no tienen partes móviles) y de operación (pérdidas de presión mínimas). Entre sus desventajas tenemos que, son equipos de un volumen considerable, no pueden manejar materiales pegajosos, y la baja eficiencia que presentan para partículas medianas y pequeñas.

El aire cargado de polvo entra en la cámara de sedimentación disminuyendo así su velocidad, con lo que una parte de las partículas abandonan la corriente de aire debido a la fuerza gravitatoria. El rendimiento de este tipo de separadores es relativamente bajo, menor del 50%. Este dispositivo se puede observar en la figura 2.4

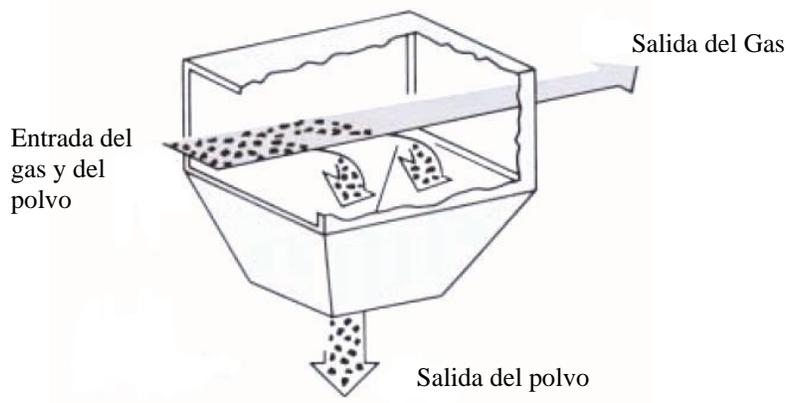


Figura 2.4 Cámara de Sedimentación Fuente: Manual de ventilación Salvador Escoda S.A.

Estos mecanismos están siendo sustituidos por ciclones, debido a su mayor eficiencia y menor volumen.

#### 2.2.4.2.2.- Cámara de Choque. <sup>[5]</sup>

Las cámaras de choques constan de un conjunto de pantallas intercaladas contra las que choca el aire cargado de partículas, logrando de esta manera que los residuos sólidos decanten. El tamaño de las partículas que es capaz de separar este tipo de separador se encuentra comprendido entre 50 y 150 $\mu$ m. Este dispositivo se puede observar en la figura 2.2

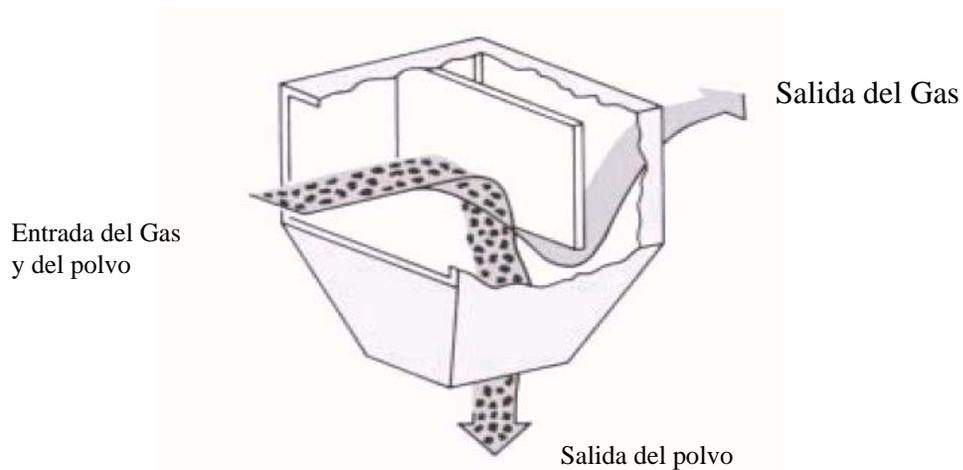


Figura 2.5. Cámara de Choque. Fuente: Manual de ventilación Salvador Escoda S.A.

#### 2.2.4.2.3.- Ciclones <sup>[10]</sup>.

El equipo de recolección de polvo que se usa con mayor frecuencia es el ciclón.

Los ciclones remueven el material particulado de la corriente gaseosa, basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga.

La figura 2.6 muestra el movimiento de las partículas mayores hacia las paredes del ciclón debido a la fuerza centrífuga.

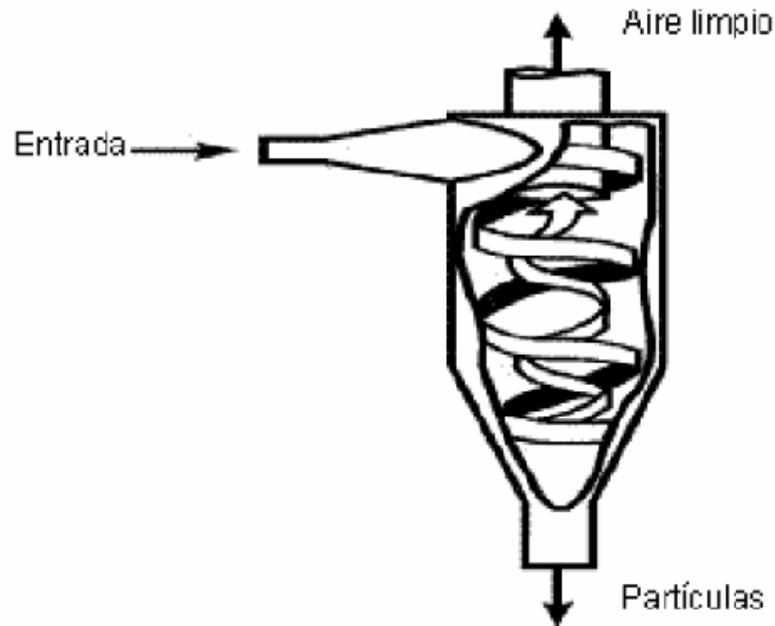


Figura 2.6. Ciclón. Fuente: Manual de ventilación Salvador Escoda S.A.

El ciclón es esencialmente una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga.

Los ciclones son adecuados para separar partículas con diámetros mayores de  $5 \mu\text{m}$ ; aunque partículas muchos más pequeñas, en ciertos casos, pueden ser separadas.

Los ciclones presentan eficiencias mayores que la cámara de sedimentación gravitacional.

Los ciclones constituyen uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión. Estos son básicamente construcciones simples que no cuentan con partes móviles, lo cual

facilita las operaciones de mantenimiento; pueden ser hechos de una amplia gama de materiales y pueden ser diseñados para altas temperaturas y presiones de operación.

El aire cargado de polvo entra tangencialmente por la parte superior cilíndrica. La corriente de aire sigue una trayectoria en espiral que primero se dirige hacia el fondo del tronco del cono, ascendiendo después por el centro del mismo. El aire, una vez depurado, abandona el ciclón por la parte superior. Las partículas separadas se descargan por el fondo del ciclón.

El rendimiento de un ciclón depende del diámetro del mismo y del tamaño de las partículas a separar tal como puede verse en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Rendimiento del ciclón

Diámetro del ciclón mm	Rendimiento TOTAL%	RENDIMIENTO % SEGÚN TAMAÑO PARTÍCULAS			
		Tamaño partículas $\mu\text{m}$	Rendimiento %	Tamaño partículas $\mu\text{m}$	Rendimiento %
150	90	<5	66	<5	98
230	83	<10	60	<10	99
610	70	<20	47	<20	98

Otro elemento fundamental para un óptimo rendimiento de este tipo de separador de polvo es el correcto dimensionado del mismo. En la figura anterior se han dibujado las dimensiones relativas para el diseño de un ciclón.

Los ciclones son un dispositivo de control de material particulado bastante estudiado, el diseño de un ciclón se basa normalmente en familias de ciclones que tienen proporciones definidas.

Las principales familias de ciclones de entrada tangencial son:

- Ciclones de alta eficiencia.
- Ciclones convencionales.
- Ciclones de alta capacidad.

Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales.

Los ciclones de alta eficiencia pueden remover partículas de 5  $\mu\text{m}$  con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Los ciclones de alta eficiencia tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

Los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de 20  $\mu\text{m}$ , aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas. Se ha reportado que los multiciclones han alcanzado eficiencias de recolección de 80 a 95 % para partículas de 5  $\mu\text{m}$ .

Se usan principalmente para separar partículas sólidas tales como polvo, aserrín, polvo de cemento, etc. No deben ser utilizados para partículas menores de 10 micras.

#### **2.2.4.2.4.- Multiciclón.** <sup>[5]</sup>

En la tabla 2.1 se muestra que el diámetro del ciclón es determinante para aumentar, tanto el rendimiento como el poder de separación de pequeñas partículas.

La velocidad tangencial en el espiral principal puede ser varias veces el flujo del aire. Hay un gradiente de velocidad desde la tangencial hasta la velocidad casi cero en el fondo del ciclón. Los ciclones de pequeño diámetro tienen pequeños radios de curvatura por lo que producen mayores aceleraciones radiales para una misma velocidad tangencial. Esto unido a la menor distancia radial que el polvo debe recorrer hasta alcanzar la pared del ciclón hace que los pequeños ciclones sean mucho más eficientes para colectar pequeñas partículas que los ciclones mayores.

Por el contrario, ciclones de pequeño tamaño solo son aptos para el tratamiento de pequeñas cantidades de aire. Una solución al dilema anterior se ha conseguido instalando un conjunto de pequeños ciclones en paralelo con lo que, sin disminuir el rendimiento y el poder separador, se pueden tratar caudales de aire de cualquier orden. La figura 2.7 muestra un esquema de una instalación de este tipo denominado multiciclón.

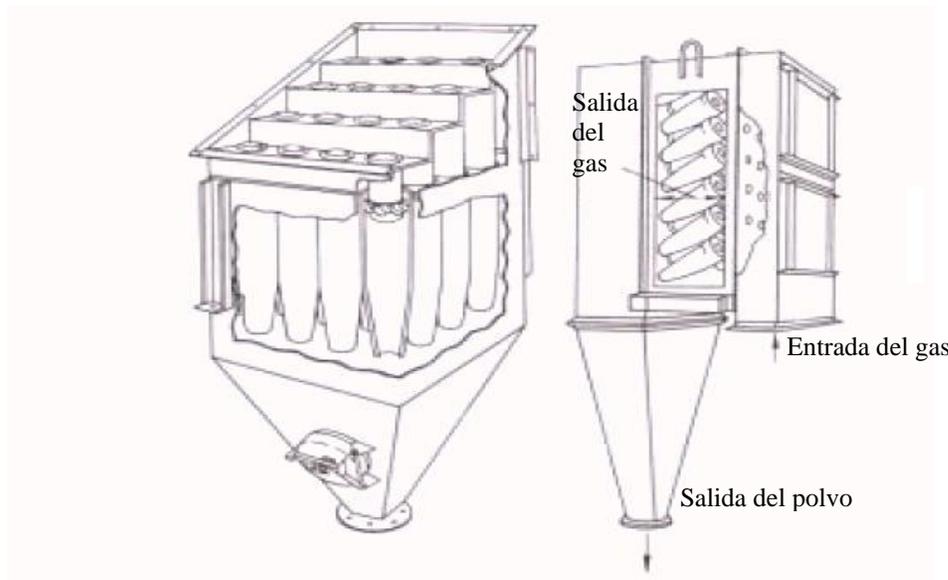


Figura 2.7. Multiciclón. Fuente: Manual de ventilación Salvador Escoda S.A.

### 2.2.4.3.- Filtros <sup>[6]</sup>

Los filtros son equipos en los que se lleva a cabo la operación de separación sólido-gas denominada filtración. Esta operación consiste en una separación física donde no existe transferencia de materia sino que lo que se da es una separación entre distintos estados de agregación.

El medio filtrante es la barrera que retiene los sólidos y deja pasar el gas, puede ser un tamiz, una tela, un tejido de fibras, fieltro, membranas poliméricas o un lecho de sólidos. El gas que atraviesa el medio filtrante se denomina filtrado. En la figura 2.8 se pueden observar los distintos tipos de mallas para el medio filtrante.



Figura 2.8 Distintos tipos de mallas para el medio filtrante

Un proceso de filtración presenta diversas características que se han de tener en cuenta para clasificar el proceso y seleccionar el equipo adecuado. Los distintos criterios de clasificación que se siguen son de acuerdo a:

La fuerza impulsora de la filtración:

- gravedad
- presión o vacío
- centrífuga

El mecanismo de filtración:

- Filtración por torta: si la proporción de sólidos es muy elevada, las partículas quedan retenidas en la superficie del medio filtrante estableciéndose gradualmente una torta de espesor creciente sobre el medio filtrante, con lo que en realidad la filtración se va a realizar a través de la torta. Por tanto la mayor parte de partículas se recogen en la torta filtrante y posteriormente ésta se separa del medio. Ver figura 2.9.

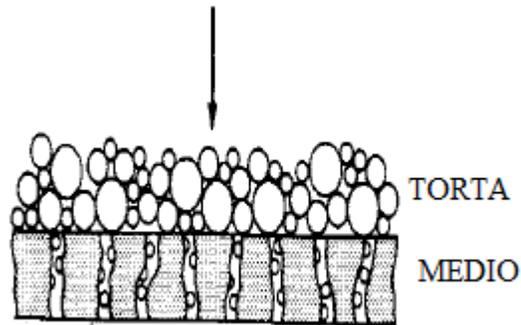


Figura 2.9 Filtración por torta

- Filtración en lecho profundo: la proporción de partículas sólidas es muy pequeña y con frecuencia su diámetro es menor que el de los poros del medio filtrante por lo que las partículas penetran hasta una profundidad considerable antes de ser atrapadas. Ver figura 2.10.

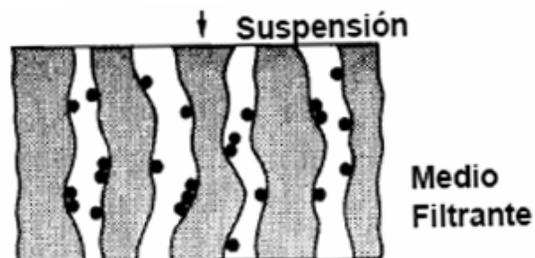


Figura 2.10 Filtración en lecho profundo.

Los filtros de mangas son considerados como los equipos más representativos de la separación sólido-gas a través de un medio poroso. Su función consiste en recoger las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa, esto se consigue haciendo pasar dicha corriente a través de un tejido.

El tamaño de las partículas a separar por los filtros de mangas será entre 2 y 30  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, no es usual disponer de medios filtrantes con poros tan pequeños como para retener las partículas que transporta el gas, debido a que los diámetros de éstas son extraordinariamente pequeños. Por tanto la filtración no comienza a efectuarse de manera efectiva hasta que no se han acumulado una cierta cantidad de partículas sobre la superficie de la bolsa en forma de torta filtrante. En la figura 2.11 se pueden observar varios tipos de mangas.



Figura 2.11 Tipos de mangas

Así puede decirse que el sistema de filtración que se da en los filtros de mangas es análogo al de los filtros por torta, donde el medio filtrante actúa únicamente como soporte de la torta y es ésta la que realiza realmente la operación.

La separación del sólido se efectúa haciendo pasar el aire con partículas en suspensión mediante un ventilador, a través de bolsas de telas (mangas), donde las partículas quedan retenidas entre la fibra de tela, formando una superficie filtrante

que con la acumulación de polvo se va engrosando generando la progresiva pérdida de carga del sistema. Para evitar disminuciones en el caudal se procede a efectuar una limpieza periódica de las mangas.

Los filtros de mangas constan de una serie de bolsas con forma cilíndrica, normalmente de fibra sintética o natural, colocadas en unos soportes para darle consistencia. Contienen además una serie de paneles para redireccionar el aire, un dispositivo para la limpieza de las mangas y una tolva para recoger las partículas captadas. Ver figura 2.12.

La característica principal que diferencia unos tipos de filtros de mangas de otros, es la forma en que se lleva a cabo su limpieza. Esto además condiciona que los filtros sean continuos o discontinuos.

- Continuos: la limpieza se realiza sin que cese el paso del aire por el filtro.
- Discontinuo: es necesario aislar temporalmente la bolsa de la corriente de aire.

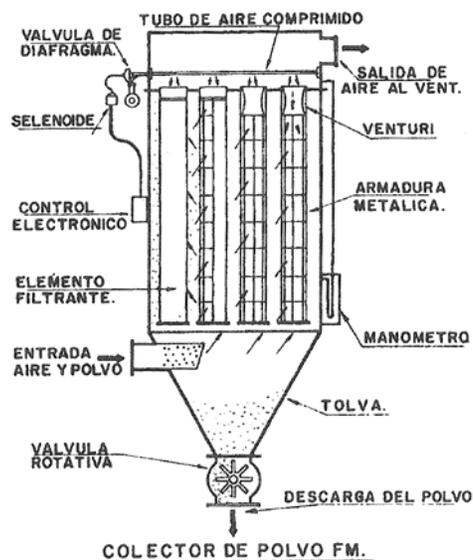


Figura 2.12. Filtro de manga. Fuente: <http://www.osha.gov>

Para seleccionar el tipo de manga necesaria se debe tener en cuenta que debe cumplir una serie de condiciones como:

- ser resistente química y térmicamente al polvo y al gas.
- que la torta se desprenda fácilmente.
- que la manga recoja el polvo de manera eficiente.
- que sea resistente a la abrasión ocasionada por el polvo.
- el caudal y la velocidad del gas.

#### **2.2.4.4.- Ductos <sup>[7]</sup>.**

Los ductos transportan el polvo bien sea por la campana del extractor o por una manguera hacia unos separadores de partículas que se encargan de filtrar el aire. El transporte eficiente del polvo capturado es necesario para la operación de sistemas eficaces y confiables.

##### **2.2.4.4.1.- Diseño de Ductos.**

La selección de las dimensiones del conducto se basa en mantener la velocidad necesaria (velocidad de transporte recomendada que depende del material a transportar) para llevar el polvo desde su origen hasta su deposición final. Con esta información se calculan las pérdidas de carga en los tramos y elementos que conforman la red de flujo para luego determinar el tamaño y el tipo de ventilador, así como también la velocidad y potencia del motor que se va a acoplar.

La primera labor de diseño de una red de flujo de aire, es levantar u obtener un plano de la planta donde claramente se ubiquen los puntos de demanda del aire, anotando si es posible el consumo y presión requerida en cada punto. Es importante

realizar una buena distribución, ya que una vez establecido dicho arreglo, este influiría en las futuras ampliaciones y mantenimiento de la red.

Para el diseño de la red de flujo, se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Diseñar la red en base a la arquitectura del edificio y en los requerimientos de aire.
2. Procurar que la ductería sea lo más recta posible con el fin de disminuir la longitud de las mismas, número de codos, ramales, y cambios de sección que aumentan la pérdida de carga en el sistema.
3. La ductería siempre debe ir instalada aéreamente. Puede sostenerse de techos y paredes. Esto con el fin de facilitar la instalación de accesorios, puntos de drenajes, futuras ampliaciones, fácil inspección y fácil accesibilidad para el mantenimiento. Una tubería enterrada no es práctica, dificulta el mantenimiento e impide la evacuación de condensados.
4. La ductería no debe entrar en contacto con los cables eléctricos para así evitar accidentes.
5. En la instalación deberá tenerse en cuenta cierta libertad para que la ductería se expanda o contraiga ante variaciones de la temperatura.
6. Antes de implementar extensiones o nuevas demandas de aire en la red debe verificarse que los diámetros de la ductería soporten el nuevo caudal.

7. Una buena selección del diámetro de la ductería principal evita problemas ante una ampliación de la red. La línea principal debe tener una leve inclinación en el sentido de flujo del aire para instalar sitios de evaluación de condensados.
8. Para el mantenimiento, es de gran ayuda ubicar cierres de paso de flujo en la red. Con esto se evita detener el suministro de aire en la red cuando se hagan reparaciones o nuevas instalaciones.

El material de construcción de los ductos es otro parámetro importante a considerar. Entre los más comunes se destacan: acero galvanizado para condiciones ligeras de trabajo (aire libre de impurezas), hierro negro para condiciones intermedias (abrasión intermedia y corrosión moderada), acero inoxidable para condiciones severas de trabajo (alta abrasión y corrosión) y fibra de vidrio para condiciones extremas de trabajo (generalmente transporte de gases a presión).

#### **2.2.4.4.2.- Pérdidas en el sistema.**

En los sistemas de separación de polvo existen pérdidas de carga en las ducterías, accesorios (codos, ramales, expansiones), entre otros.

En este aspecto se identifican cinco renglones básicos:

- Pérdidas en la línea.
- Pérdidas en el ciclón.
- Pérdidas en filtros.
- Pérdidas en mangueras.
- Succión de levantamiento.

#### 2.2.4.4.2.1.- Pérdidas en la línea.

En este renglón es necesario calcular las pérdidas por fricción en el sector de la línea que conduce la mezcla aire-material. Determinando la longitud equivalente de los codos, la longitud de la línea y el factor de fricción.

La longitud de cada sector se puede calcular, a partir de la siguiente ecuación:

$$L = l + L_{eq} \quad (2.5)^{[3]}$$

Donde:

$l$  = longitud total de los tramos rectos.

$L_{eq}$  = longitud equivalente de los codos.

En el anexo 3 (Longitud equivalente para cada codo), se puede calcular la longitud equivalente de los codos en función del diámetro y el radio de curvatura del mismo.

El factor de pérdidas por fricción en ducterías debidas al aire ( $f_0$ ), en pulgadas de agua por cada 100 pies de tubería, se obtiene del gráfico del anexo 4 (Perdidas por fricción en los ductos debidas al aire) y depende del caudal y del diámetro de la tubería. El factor de pérdidas debidas a la mezcla ( $f_1$ ) se calcula mediante la ecuación:

$$f_1 = \left( \frac{4,9}{Q_u} + 1 \right) * f_0 \quad (2.6)^{[3]}$$

La pérdida por fricción se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$P = f * L \quad (2.7)^{[3]}$$

#### **2.2.4.4.2.2.- Pérdidas en el ciclón.**

Se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$P_c = 0,0024 * \rho * V^2 \quad (2.8)^{[3]}$$

En la cual:

$P_c$ = Pérdidas en el ciclón (pulgadas de agua)

$\rho$ = Densidad del aire; 0,075 lbs/pies<sup>3</sup> (1,20kg/m<sup>3</sup>), ver anexo 5, (propiedades del aire)

$V$ = Velocidad de la corriente en pies/seg.

#### **2.2.4.4.2.3.- Pérdidas en filtros.**

Experimentalmente se ha encontrado que estas fluctúan entre 3 y 4 pulgadas (0,075 y 0,10 m) de agua, por cada filtro.

#### **2.2.4.4.2.4.- Pérdidas en mangueras.**

Dada la naturaleza flexible y rugosa de las paredes de la manguera, la fricción en ellas es equivalente a 3 veces la fricción en una tubería del mismo diámetro.

##### **2.2.4.4.2.4.1.- Diámetro y velocidad de la manguera.**

Como se indicó en el procedimiento general, la velocidad del aire en la manguera ( $V_m$ ) debe estar alrededor del valor de 1,6 veces la velocidad en la línea, es decir, como lo indica la ecuación:

$$V_m \cong 1,6 * V \quad (2.9)^{[3]}$$

El diámetro puede ser calculado a partir de la ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_m}} \quad (2.10)^{[3]}$$

Al igual que en tuberías, se escoge el diámetro comercial más cercano y en este caso, se hace el ajuste de velocidad.

#### **2.2.4.4.2.5.- Pérdidas debido a la succión.**

El sistema de impulsión debe proveer la energía necesaria para vencer la inercia de las partículas, es decir, para levantarlas e imprimirles velocidad. La magnitud de la presión requerida depende en gran medida del peso de la partícula.

Las pérdidas totales del sistema será la suma de los valores calculados (perdidas en la línea, en los ciclones, en los filtros, debidas a la succión, las mangueras)

#### **2.2.4.5.- Ventiladores <sup>[8]</sup>.**

Son equipos que permiten formar una corriente de aire y trasladarlo de un punto a otro, éstos son de gran importancia en los sistemas de recolección de polvo porque imparten el movimiento a la masa de aire contaminado, trasladándolo desde los focos de contaminación hasta el colector.

##### **2.2.4.5.1.- Clasificación de los ventiladores.**

Los ventiladores que se emplean comúnmente se pueden dividir en dos tipos generales. Estos son: axiales y centrífugos. Los ventiladores se pueden disponer con

variedad de posiciones de descarga y con rotación del impulsor, ya sea en el sentido de las agujas del reloj o viceversa.

*Ventilador centrífugo:* En este tipo de ventiladores la corriente de aire se establece radialmente a través del rodete. Estos equipos son generalmente utilizados en sistemas de conductos o en la mayoría de aplicaciones, debido a su amplio margen de funcionamiento y alto rendimiento. Figura 2.13

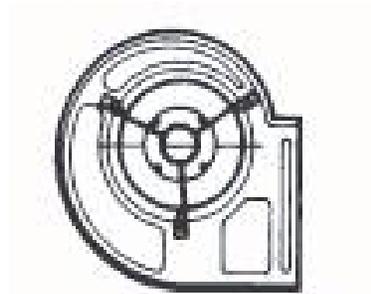


Figura 2.13 Ventilador centrífugo

Los ventiladores centrífugos son los más indicados para altas presiones y bajos caudales. Ya que aspiran el flujo lateralmente, a través de una o varias aberturas y lo expulsan a una voluta que juega el papel de difusor. Sus rendimientos máximos son del orden de 0,6 y 0,7.

Para seleccionar un ventilador, después de haber calculado el caudal, debe consultarse a las curvas características establecidas por el constructor y tomar nota para cada tipo de máquina el rendimiento y la velocidad deseada.

Los alabes de estos ventiladores pueden ser:

- Alabes curvados hacia delante,  $\beta_2 > 90^\circ$ . La presión aumenta desde cero a presión de caudal nulo, con una depresión en la curva característica. Funciona a velocidad relativamente baja y es más pequeño que los demás. Figura 2.14.1
- Alabes de salida radial,  $\beta_2 = 90^\circ$ . La potencia es directamente proporcional al caudal. Se puede sobrecargar el motor cuando las condiciones de descarga son cercanas a la descarga libre. Se limpia por si mismo. Puede ser proyectado para que tenga elevada resistencia mecánica estructural, a fin de obtener altas velocidades. Se utilizan con gran eficiencia, en ambientes con mucho polvo o elementos sólidos suspendidos en el aire. Figura 2.14.2
- Alabes curvados hacia atrás,  $\beta_2 < 90^\circ$ . La presión aumenta igual que los curvados hacia delante, pero no presenta depresiones en la curva característica. No se genera sobrecarga al motor. La curva característica es más abrupta que los curvados hacia delante, lo que origina una menor variación de presión. Es más silencioso. Figura 2.14.3

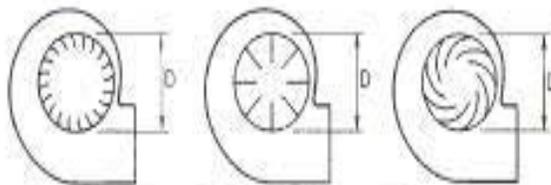


Figura 2.14.(1) Salida hacia adelanté, (2) Salida radial, (3) Salida hacia atrás

Figura 2.14 Alabes de los ventiladores centrífugos

*Ventilador axial:* El ventilador axial es de diseño aerodinámico. Este tipo de ventilador consiste esencialmente en una hélice encerrada en una envolvente cilíndrica. La facilidad de montaje y el flujo del aire en línea recta (en el sentido de eje), los hace ideales para muchas aplicaciones; por encima de 75 a 100 m.c.a. de presión estática. Los ventiladores axiales se usan pocas veces para servicios de

ventilación. Un modelo de este tipo de ventiladores se puede observar en la siguiente figura.



Figura 2.15 Ventilador Axial

En ellos, la corriente o flujo de aire se establece axialmente a través del rodete. Son excelentes para aplicaciones de gran volumen de aire en los que no importan los niveles de ruido. Se dividen a su vez en:

- De hélice.- No se pueden utilizar si hay una resistencia apreciable. Son usados para ventilación en pared, en descarga libre.
- De tubo axial.- Es un ventilador axial normal, con alojamiento tubular, sin aletas guías o con ellas. Estas mejoran la eficiencia del equipo; se ubican antes y después de los alabes del ventilador y su finalidad es recuperar parte de la energía cinética tangencial del aire.

### **2.3.- GLOSARIO DE TÉRMINOS.**

- Colector de polvo: Es un dispositivo capaz de separar las partículas sólidas del aire, con el fin de que sean desechadas y el aire sea expulsado al ambiente con el menor grado de contaminación posible.

- Polvo: Residuo que queda de otras cosas sólidas, moliéndolas hasta reducirlas a partes muy menudas.
  
- Movimiento Browniano: es el movimiento que lleva a cabo una partícula muy pequeña que está inmersa en un fluido. Este movimiento se caracteriza por ser continuo y muy irregular.
  
- Polvillo: Diminutivo de polvo.
  
- Sistema neumático: consiste en una corriente de aire a alta velocidad que se hace pasar a través de una tubería, de modo que cuando un material es alimentado a la misma, este es transportado por la fuerza impulsora de aire.



## CAPÍTULO III

En este capítulo se presenta la metodología que se utiliza para el desarrollo del proyecto. Se muestran aspectos como el tipo de investigación, las técnicas y procedimientos que se llevarán a cabo.

### **3.1 TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.** <sup>[12]</sup>

El tipo de la investigación se clasifica según el fin, el nivel y la estrategia; cada trabajo investigativo se diferencia de acuerdo a las necesidades y a los parámetros que se deseen cubrir con respecto a un tema específico.

En lo referente a proyectos factibles, consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar una problemática, o las necesidades de una determinada organización o grupo social”.

### **3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.** <sup>[15]</sup>

Las investigaciones descriptivas utilizan criterios sistemáticos que permiten poner en manifiesto la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando de ese modo información sistemática y comparable con la de otras fuentes.

Por lo tanto, según el nivel, esta investigación es descriptiva, porque su criterio de análisis se basa en definir los hechos que caracterizan una situación planteada, tomando como punto de enfoque criterios o modelos de estudios anteriores.



### 3.3.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.<sup>[16]</sup>

La investigación de campo se define como “el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los enfoques de investigación conocida o en desarrollo”.

En este sentido, según la estrategia, es una investigación de campo, porque el levantamiento de información se realizará propiamente en el espacio donde se presenta el problema a estudiar en las instalaciones de la empresa.

El desarrollo de la investigación se realiza a través de los siguientes pasos:

1. Fundamentos teóricos.
  - Definición de conceptos y variables relacionadas con el proyecto.
  - Revisión bibliográfica de los dispositivos utilizados para la separación del polvo.
2. Evaluación del sistema de separación de polvo actual.
  - Revisión de planos y manuales de operación.
  - Equipos utilizados para la aspiración y separación de las partículas de polvo.
3. Determinación de las condiciones requeridas por el sistema.



- Verificar si las condiciones de operación del sistema actual son adecuadas.
  - Expandir el sistema de separación actual para ajustarlo a las necesidades actuales.
4. Establecer las condiciones iniciales necesarias para proponer el rediseño del sistema.
- Realizar un estudio a las partículas de polvo para determinar su abrasividad, corrosividad y densidad.
  - Conocer la distribución actual de operación por grupo de máquina.
5. Proponer alternativas para el rediseño del sistema.
- Determinar los elementos necesarios para el desarrollo de cada alternativa de rediseño.
  - Seleccionar la mejor alternativa de solución de acuerdo a un conjunto de criterios que deben definirse.
6. Diseñar el sistema de disposición final de los polvos.
7. Estudio de la factibilidad económica.

### **3.4.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.<sup>[17]</sup>**

La técnica de obtención de datos a utilizar es la observación directa y el análisis documental.



La observación es una técnica útil cuando se necesita obtener, la forma en que se manejan los documentos y se llevan a cabo los procesos.

En esta investigación se utilizará la observación directa, de esta forma se logró determinar los diferentes pasos del sistema actual, para realizar las mejoras al mismo.

Esta técnica permite al investigador recabar la información mediante su propia observación, sin ninguna clase de interrelación; revisión de documentos: con la finalidad de obtener la información necesaria del problema planteado se utilizó esta técnica, durante el período de conocimiento del proceso, *reuniones con los grupo de trabajo*: se realizó de manera directa reuniones con los operarios de producción, todo esto con la finalidad de obtener información sobre las causas que generan la deficiente productividad en el área, *material bibliográfico*: comprende todos aquellos libros especializados o de referencia.



## CAPÍTULO IV

### **4.1.- EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN DE POLVOS PROVENIENTES DE LAS MÁQUINAS.**

Actualmente la empresa no cuenta con los planos de diseño e instalación referentes al sistema de separación de polvos ni los manuales de operación de los equipos asociados a dicho sistema. Debido a esta situación, es necesario realizar una observación directa en planta, del sistema actual y de sus equipos para poder determinar (y en algunos casos estimar) sus características.

El sistema de separación de polvos instalado, se encuentra en funcionamiento aun cuando presenta inconvenientes, por esta razón, hay que realizar mantenimiento a los filtros de los equipos de inyección, lo cual genera paradas no programadas de la producción.

Una vez realizada la inspección en planta de la red de flujo actual, inspección que se realizó solo de manera visual ya que por razones de costos al detener la producción, la empresa no nos permitió realizar ninguna clase de ensayos para completar el estudio. Además de las conversaciones con el personal de mantenimiento de la empresa, se destacan las siguientes características:

- El área de estudio está conformada por tres sub-sistemas de separación de polvo, los cuales están destinados a la aspiración de cada uno de los molinos.
- Se manejan dos tipos de materiales: el primer tipo lo constituye el material reciclado (gaveras recicladas), y el segundo tipo lo integra el material recuperado (pailas y huacales rechazados por calidad debido a que presentan defectos de inyección).



- Las líneas de aspiración se encuentran ubicadas a una altura aproximada de 6 metros.
- Las tomas de aspiración o ramales del sistema cuentan con un diámetro de 25 cm (10 pulg.). Como se muestran en la figura 4.1. Esta medida es común para los tres sub-sistemas de separación.



Figura 4.1 Tomas o ramales del sistema actual.

- El material de construcción de las ducterías es de hierro negro.
- La unión de los tramos de ductería es por soldadura.
- El sistema cuenta con un separador de partículas tipo filtro de mangas (de 9 mangas).
- El sistema cuenta con tres ventiladores centrífugos (uno para cada subsistema) con las características que se presentan a continuación:

Álabes rectos

Potencia: 11,18 kW (15 hp).

Otras características del ventilador son desconocidas debido a que los datos de la placa son ilegibles.

- El sistema no cuenta con accesorios para la recolección de sólidos (trampas para sólidos), como por ejemplo piezas metálicas, que pudieran ser aspiradas y generar severos daños en el ventilador o algún otro equipo.
- El sistema opera con tres molinos en servicio de 2 turnos diarios y 7 días a la semana.

Luego de conocer las características principales de la red de flujo actual, se procede a analizar también de manera visual y verificar sus condiciones de operación. Del análisis realizado resulta lo siguiente:

- El funcionamiento del equipo de separación de polvo es el siguiente: el material (plástico molido y polvillo) es aspirado desde el molino, hasta el ciclón, el cual tiene conexión con el sistema de aspiración tipo filtro de mangas; el cual absorbe las partículas más finas y el resto del material se dirige a la parte inferior del ciclón, luego es transportado a un sistema tipo cascada donde una corriente de aire culmina con el proceso de separación de polvo, dirigiendo el plástico hacia los silos y el polvillo hacia una tolva que realiza su descarga en unas sacas. Ver figura 4.2

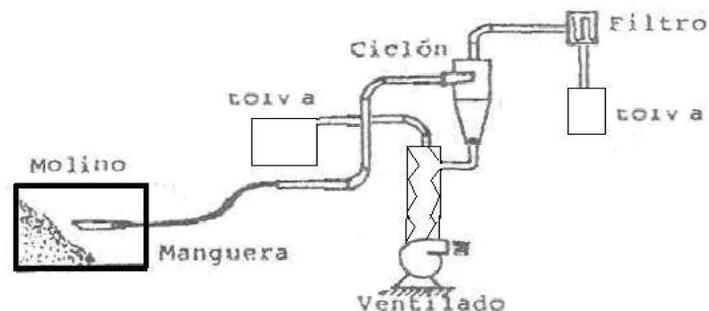


Figura 4.2 Diagrama de uno de los sub-sistemas actualmente instalado



- La unión de los tramos de la ductería es por soldadura, lo cual dificulta la desconexión de los mismos al momento de realizar el mantenimiento al equipo, al presentar alguna falla.
- El sistema de aspiración actual no cuenta con accesorios para recolección de sólidos (trampas de sólidos), siendo estos elementos necesarios en un adecuado diseño de red de flujo. Cabe destacar que con esto se podría evitar la presencia de pequeños objetos metálicos que puedan ocasionar fallas en el sistema.
- El sistema actual tiene una capacidad de funcionamiento de 30.000 kg/día (según datos de la empresa), aspirando solo un porcentaje de la capacidad con la cual opera actualmente (40.000 kg/ día). Dicha capacidad se distribuye entre los tres molinos, aunque no equitativamente debido a que uno de los molinos opera durante más tiempo que los dos molinos restantes.

Debido a que todas estas evaluaciones se realizaron a través de una observación directa (por causa de los costos que generaría detener la producción solo por realizar el estudio del sistema), y no por ensayos donde determinaríamos los niveles de operación y funcionamiento de cada uno de los equipos, el criterio de diseño adoptado fue, sustituir todos los equipos sin importar su estado.

#### **4.2.- ALTERNATIVAS PARA EL REDISEÑO DEL SISTEMA DE ABSORCIÓN DE POLVOS.**

Antes de plantear alternativas de solución para el rediseño del sistema de absorción de polvos, es necesario tomar en cuenta ciertas consideraciones iniciales.



#### 4.2.1.-Consideraciones iniciales.

El material crítico a extraer en el sistema a diseñar es el polvillo, que queda como residuo del proceso de cizallado del plástico (polietileno) por los molinos, el cual ocasiona problemas de obstrucción de los filtros en las máquinas de inyección de plástico.

En el laboratorio de calidad de la empresa se determinaron las siguientes propiedades del material (polietileno molido). Ver Anexo 14 (Cálculo de densidad del material a estudiar).

Nivel de abrasividad: Media.

Nivel de corrosividad: Mínima.

Densidad del polvillo: 1,22 g /ml

Densidad del material (plástico y polvo): 0,5306 g/ml.

Para efectos de cálculos, escogemos en el anexo 1 (pérdidas de carga por levantamiento de algunos materiales típicos) un material cuyas propiedades sean semejantes a las del material en estudio, y así poder contar con la información necesaria para completar rediseño del equipo. Para efectos de cálculos se toma la malta como el material a estudiar, ya que presenta una densidad promedio de 0,56 g/ml, siendo este el valor más cercano.

Una vez conocida la zona de trabajo y teniendo en cuenta que se necesita realizar limpieza al material que procesan tres equipos de molino (como puede observarse en el plano 1 del anexo 12), es necesario realizar un planteamiento de alternativas efectivas, de gran importancia para la empresa, fijando como criterios principales de selección: funcionamiento, mantenimiento y economía.



Las alternativas planteadas para realizar la separación de polvo, cuentan con las características de diseño necesarias para garantizar un correcto funcionamiento de la red de flujo, las cuales se mencionan a continuación:

- La aspiración de los molinos se realizará a través de tuberías hasta el sistema de separación con un ciclón, ya que no se puede colocar una campana de aspiración directamente desde los molinos, ni multiciclones debido al reducido espacio del área.
- La unión de los tramos de ductería se realizará por medio de bridas (flanges), para así facilitar la limpieza y reemplazos en caso que se presente daño en algún tramo del sistema de la manera más rápida.
- El sistema de aspiración contará con accesorios para la recolección de sólidos (trampa para sólidos). Por ejemplo podrían ser Aros imantados ubicados en secciones de las parte internas de las tuberías para así retener las partículas metálicas que puedan estar presentes.
- El sistema se diseñará para garantizar la separación de polvillo del material proveniente de los tres molinos.
- El material seleccionado para la construcción de los ductos es el hierro negro, ya que es uno de los más económicos y brinda las condiciones necesarias para soportar las propiedades abrasivas del polvo. Además de que estable a altas temperaturas por lo que crea una protección interna en toda la ductería.

Para el diseño del sistema de separación de polvos se consideró lo siguiente:

- La ductería se ubicará aéreamente a una altura aproximada de 8 m., debido a disponibilidad de espacio y facilidad de su anclaje.

#### 4.2.2.- Planteamiento de alternativas de solución.

Luego de mencionar las características necesarias y recomendadas para el diseño del sistema de separación de polvos, se plantean las siguientes alternativas de solución:

##### 4.2.2.1.- Alternativa 1.

Consiste en diseñar un único sistema de red de flujo el cual contará con una única disposición final. La aspiración se realizará con la ayuda de un ciclón a través de una tubería, y será capaz de aspirar la totalidad del material que contengan los tres molinos, trabajando con una condición crítica de tres puntos de aspiración simultanea. Su distribución puede observarse en la figura 4.3.

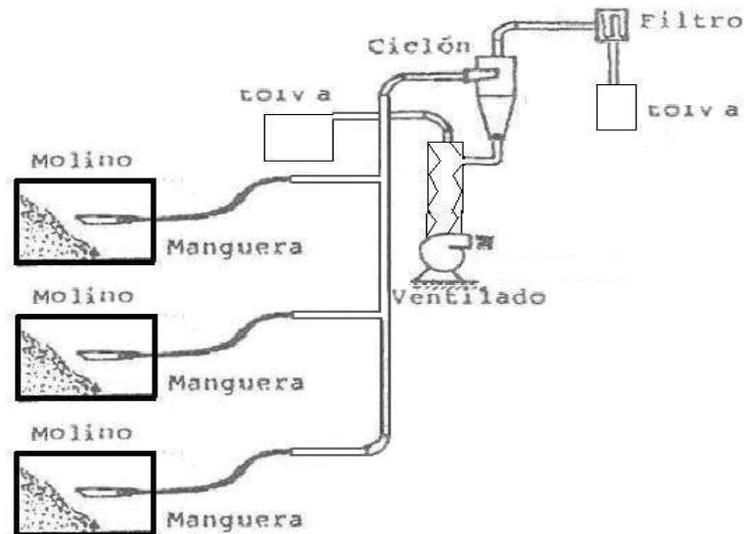


Figura 4.3 Esquema representativo de la alternativa 1.



Entre los dispositivos y equipos con los cuales contará la alternativa 1 se destacan los siguientes:

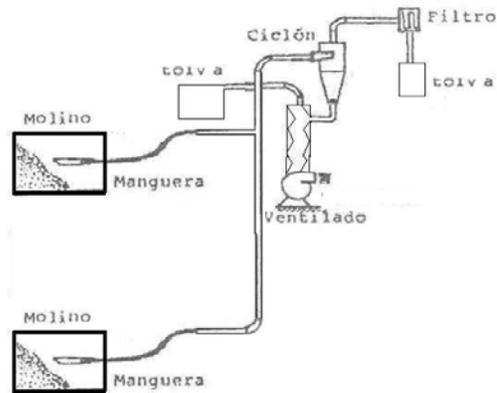
Un sistema de separación de polvo final, el cual cuenta con lo siguiente:

- Un ventilador
- Un separador de partículas tipo filtro de mangas.
- Un separador de partículas tipo ciclón.
- Un sistema de cascada.
- Tuberías y manguera.

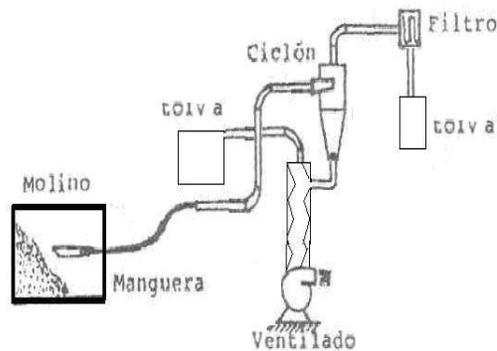
La distribución de esta alternativa se propone basada en la distribución del diseño establecida luego de observar de manera detallada el sistema actual.

#### **4.2.2.2.- Alternativa 2**

Consiste en dividir la red de flujo en dos sub-sistemas que trabajarán en paralelo y serán conocidos como sub-sistema A y sub-sistema B, donde el sub-sistema A será destinado a la aspiración de dos de los molinos, por lo tanto, tendrá dos tomas de material (este trabajará con los molinos de material recuperado), trabajando con una condición crítica de dos puntos de aspiración simultáneos y el sub-sistema B será destinado a la aspiración un solo molino, es decir, que tendrá una sola toma de material (material reciclado), trabajando así en su condición crítica. Cada uno de estos sistemas cuenta con su correspondiente disposición final. Su distribución puede observarse en la figura 4.4



Sub-sistema A



Sub-sistema B

Figura 4.4 Esquema representativo de la Alternativa 2.

Entre los equipos y dispositivos con los cuales contará la alternativa 2 se destacan los siguientes:

Dos sub-sistemas de separación de polvo final, los cuales en conjunto cuentan con lo siguiente:

- Dos ventiladores (una unidad asociada a cada disposición final).
- Dos separadores de partículas tipo filtro de mangas (una unidad asociada a cada disposición final).
- Dos separadores de partícula tipo ciclón (una unidad asociada a cada disposición final).

- Dos sistemas de cascada (una unidad asociada a cada disposición final).
- Tuberías y manguera.

La distribución de esta alternativa se propone basada en la distribución del diseño establecida luego de observar de manera detallada el sistema actual.

#### 4.2.2.3.- Alternativa 3.

Consiste en dejar la red de flujo con la cual se está trabajando actualmente, adaptándola a las condiciones de producción que tiene la empresa. Es decir, tres sub-sistemas de aspiración, un sub-sistema A, un sub-sistema B y un sub-sistema C; cada uno de los cuales tendrá una toma de aspiración desde los molinos. Su distribución puede observarse en la figura 4.5.

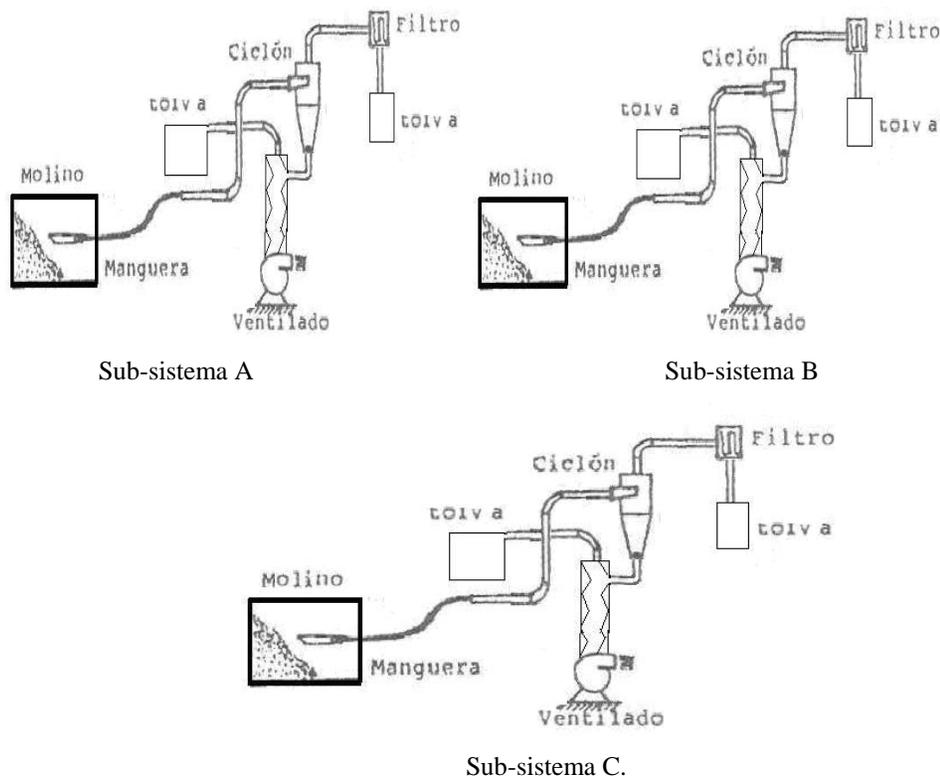


Figura 4.5 Esquema representativo de la Alternativa 3.



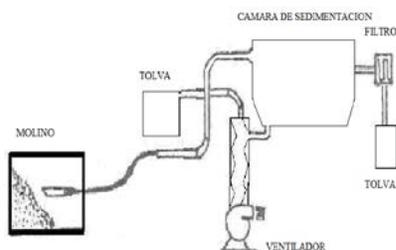
Entre los equipos y dispositivos con los cuales contará la alternativa 3 se destacan los siguientes:

Tres sub-sistemas de separación de polvo final, los cuales en conjunto cuentan con lo siguiente:

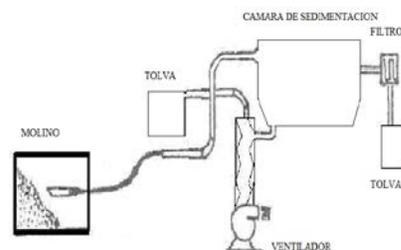
- Tres ventiladores centrífugos de alabes rectos (una unidad asociada a cada disposición final).
- Tres separadores de partículas tipo filtro de mangas (una unidad asociada a cada disposición final).
- Tres separadores de partícula tipo ciclón (una unidad asociada a cada disposición final).
- Tres sistemas de cascada (una unidad asociada a cada disposición final).
- Tuberías y manguera.

#### 4.2.2.4.- Alternativa 4.

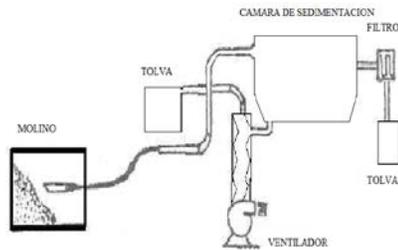
Consiste en aspirar el material de los molinos hasta una cámara de sedimentación donde las partículas de plástico decanten a la parte inferior de la cámara y las partículas finas se dirijan hasta un filtro de manga. Las partículas de plástico libre de polvo son llevadas hacia los silos, para ser usadas por las máquinas de inyección. Este equipo se emplearía para cada uno de los molinos, sustituyendo el actualmente instalado en la empresa. Su distribución puede observarse en la figura 4.6.



Sub-sistema A



Sub-sistema B



Sub-sistema C

Figura 4.6 Esquema representativo de la Alternativa 4.

Entre los equipos y dispositivos con los cuales contará la alternativa 4 se destacan los siguientes:

Tres sub-sistemas de separación de polvo final, los cuales en conjunto cuentan con lo siguiente:

- Tres ventiladores centrífugos de alabes rectos (una unidad asociada a cada disposición final).
- Tres separadores de partículas tipo filtro de mangas (una unidad asociada a cada disposición final).
- Tres separadores de partícula tipo cámara de sedimentación (una unidad asociada a cada disposición final).
- Tuberías y manguera.

Por medio de la evaluación de criterios y restricciones, es posible escoger entre las diferentes alternativas, la solución que resulte más adecuada para elaborar el rediseño.

Para elegir la solución entre estas posibles soluciones se realiza una comparación de acuerdo a las restricciones y criterios del proyecto para así poder seleccionar verdaderas soluciones del problema.



Restricciones:

- Espacio físico: R1
- La materia prima no se puede mezclar: R2
- Menor costo de instalación: R3

Tabla 4.1 Evaluación de Restricciones

Restricciones \ Alternativas	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
R1	Si	Si	Si	No
R2	No	Si	Si	
R3		Si	Si	

Quedando así descartada la alternativa 1 y la alternativa 4. Para seleccionar la mejor se evalúan las soluciones de acuerdo a los criterios de selección determinados para elaborar este diseño.

Como criterios de selección se tienen:

El dispositivo debe ser: resistente (C1), fácil de usar (C2), fácil de instalar y desinstalar (C3), poco mantenimiento (C4) y que brinde la seguridad necesaria para el operario (C5).

A estos criterios se les da una ponderación de acuerdo a su prioridad, al igual que se ponderan las soluciones para luego evaluarlas y seleccionar la mejor solución.



Tabla 4.2 Ponderación de Criterios y alternativas de acuerdo a los criterios

Criterios	Ponderación	Ponderación de las Alternativas de acuerdo a los criterios (orden descendente)
C1	5	1
C2	3	2
C3	2	
C4	1	
C5	4	

Evaluando las soluciones de acuerdo a los criterios de diseño nos queda:

Tabla 4.3 Evaluación de alternativas de acuerdo a los criterios

Criterio/alternativa	Alternativa 2	Alternativa 3
C1	2	2
C2	2	1
C3	1	1
C4	2	1
C5	2	2

Luego de evaluar las alternativas de acuerdo a los criterios de selección se comparan los resultados y luego se escoge la mejor solución.

Alternativa 2

$$A_2 = 5*2 + 3*2 + 2*1 + 1*2 + 4*2 = 28$$

Alterativa 3

$$A_3 = 5*2 + 3*1 + 2*1 + 1*1 + 4*2 = 24$$



La solución que se recomienda es la alternativa 2.

La alternativa 2 se presenta como la mejor solución ante el resto de las alternativas debido a que al realizar el estudio de las restricciones, la alternativa 1 es descartada ya que en esta se mezclarían los materiales y eso no es lo requerido por la empresa. La alternativa 4, también es descartada debido a que se requiere de un espacio muy amplio para la implementación de esta propuesta. Luego se evalúan los criterios de acuerdo a las alternativas 2 y 3, resultando la primera de estas la mejor debido que ésta ocasiona menos gastos tanto en instalación como en mantenimiento bien sea preventivo o correctivo.

Una vez presentadas las alternativas de solución a la gerencia y al departamento de mantenimiento de la empresa, y cumpliendo con los criterios y restricciones antes mencionadas, se decide desarrollar la alternativa 2.

Debido a las condiciones de operación del material (manejo de 0,95Ton/h de material) se realizarán los cálculos para sistemas neumáticos de baja presión o alto volumen.

El peso promedio del material se obtiene ubicándolo en el anexo 1 (pérdidas por levantamiento para algunos materiales típicos).

Peso promedio para la malta: 0,56g /ml (35 lbs/pies<sup>3</sup>).

Con el peso promedio y el anexo 2 (Curva de Velocidad y Caudal unitario) ubicamos el caudal unitario y la velocidad máxima de transporte del material.

$Q_u = 39 \text{ pies}^3 \text{ de aire/ lbs de material (2,435m}^3\text{/kg)}$



$$V = 5750 \text{ pies/min } (29,21 \text{ m/s}).$$

#### 4.2.3.- Cálculo del caudal total.

Los requerimientos de aire para impulsar un material se obtiene multiplicando el caudal unitario ( $Q_u$ ) por la cantidad de material ( $C$ ). Como lo indica la siguiente ecuación:

$$Q(\text{pies}^3 / \text{min}) = Q_u(\text{pies}^3 / \text{lb}) * C(\text{lbs} / \text{min}) \quad (4.1)^{[3]}$$

Siendo  $C$  la cantidad de material a transportar por cada sub-sistema, el cual tiene un valor de 20.000 kg/día, según datos que arroja la empresa. Para efectos de diseño y a fin de asegurar el funcionamiento del sistema se estima un aumento de la producción. Para ello se realizarán los cálculos tomando un 15% más de la cantidad que se transporta actualmente.

Siendo entonces  $C = 23.000$  kg/día por cada sub- sistema.

Donde:

$$C = 23.000(\text{Kg} / \text{dia}) * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} * \frac{1 \text{ Ton}}{1000 \text{ kg}} = 0,95 \text{ Ton/hr}$$

$$C = 0,95 \frac{\text{Ton}}{\text{Hr}} * \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} * \frac{2000 \text{ lb}}{1 \text{ Ton}} = 31,66 \text{ lb/min}$$

Entonces:

$$Q(\text{pies}^3 / \text{min}) = 39(\text{pies}^3 / \text{lb}) * 31,66(\text{lbs} / \text{min}) = 1.234,74 \text{ pies}^3 / \text{min} (34,96 \text{ m}^3/\text{min}).$$



Cálculo del diámetro.

Se obtiene sustituyendo el valor del caudal y la velocidad en la ecuación 2.4 obteniendo:

$$D=6,25'' (0,159 \text{ m})$$

Seleccionando el valor estándar más cercano:

$$D=8'' = 0,2032 \text{ m} = (0,666 \text{ pies})$$

Luego el área seccional de la tubería se obtiene usando la ecuación 2.2:

$$A= 0,0324 \text{ m}^2 (0,348 \text{ pies}^2)$$

En la ecuación 2.1 se sustituye y se obtiene:

$$Q=2001 \text{ pies}^3/\text{min} (56,66 \text{ m}^3/\text{min}).$$

Reajuste del valor del caudal unitario:

$$Q_u= 63,20 \text{ pies}^3/\text{lbs}. (3,94 \text{ m}^3/\text{kg}).$$

En resumen:

$$V= 5750 \text{ pies}/\text{min} (29,21 \text{ m}/\text{s}).$$

$$Q= 2001 \text{ pies}^3/\text{min} (56,66 \text{ m}^3/\text{min}).$$

$$Q_u= 63,20 \text{ pies}^3/\text{lbs} (3,94 \text{ m}^3/\text{kg}).$$

$$D= 8'' (0,159 \text{ m})$$



#### 4.2.4.- Cálculos típicos de las pérdidas en el sistema.

*Pérdida en la línea después del ciclón del sub-sistema A de la alternativa seleccionada.*

$$P_1 = f_o * L_1^{[4]}$$

En este tramo:

$$L_1 = l_1 + L_{eq1}$$

Donde:

$l_1$  = Es la sumatoria de la longitud de los tramos de las tuberías que se encuentran después del ciclón. (Ver apéndice A, plano 1)

$$l_1 = 837,94 + 612,19 + 1000 = 2450,13 \text{ mm (8,036 pies)}$$

$L_{eq1}$  = Corresponde a la longitud equivalente de un codo de radio de curvatura de 2,0D (Ver anexo 3, Longitud equivalente de codos de 90°)

$$L_{eq1} = 3,048 \text{ m (10 pies)}$$

$$L_1 = 8,03 + 3 * (10) = 38,03 \text{ pies (11,59 m)}$$

Donde  $f_o$  se conoce haciendo uso del anexo 4 (Pérdidas por fricción en los ductos).

$$f_o = 6'' \text{ de agua / 100 pies}$$



Quedando:

$$P_1 = \frac{6'' \text{ de agua}}{100 \text{ pies}} * 38,03 \text{ pies} = 2,28'' \text{ de agua} (0,05 \text{ m.c. agua})$$

*Pérdida en la línea antes del ciclón del sub-sistema A de la alternativa seleccionada.*

$$P_2 = f_1 * L_2^{[4]}$$

Donde:

$$f_1 = \left( \frac{4,9}{63,20} + 1 \right) * 6 = \frac{6,46'' \text{ de agua}}{100 \text{ pies}}$$

En este tramo:

$$L_2 = l_2 + L_{eq2}$$

Donde:

$l_2$  = Es la sumatoria de la longitud de los tramos de las tuberías que se encuentran antes del ciclón. (Ver apéndice A, plano 1)

$$l_2 = 3000 + 500 = 3500 \text{ mm} (11,48 \text{ pies})$$

$L_{eq2}$  = Corresponde a la longitud equivalente de un codo de radio de curvatura de 2,0D (Ver anexo 3, Longitud equivalente de codos de 90°)

$$L_{eq2} = 3,048 \text{ m} (10 \text{ pies})$$



$$L_2 = 11,48 + 0 * (10) = 11,48 \text{ pies (3,50 m)}$$

Entonces:

$$P_2 = \frac{6,46'' \text{ de agua}}{100 \text{ pies}} * 11,48 \text{ pies} = 0,74'' \text{ de agua (0,018 m.c. agua)}$$

*Pérdidas en el Ciclón para el sub-sistema A de la alternativa seleccionada.*

$$P_3 = 0,0024 * 0,075 * \left( \frac{5750}{60} \right)^2 = 1,653'' \text{ de agua (0,041 m.c. agua)}$$

*Pérdidas debidas a los filtros para sub-sistema A de la alternativa seleccionada.*

El sub-sistema cuenta con un solo filtro, por lo tanto:

$$P_4 = 4'' \text{ de agua (0,1 m.c. agua).}$$

Según lo recomendado por los fabricantes.

*Pérdidas debidas a las mangueras para el sub-sistema A de la alternativa seleccionada.*

$$V_m \cong 1,6 * 5750 = 9200 \text{ pies} / \text{min (2804,16 m/min)}$$

Con  $Q = 2001 \text{ pies}^3 / \text{min}$  y usando la ecuación 2.10 tenemos:



$$D = \sqrt{\frac{4 * 2001}{\pi 9200}} = 0,5 \text{ pies} = 6'' (0,15 \text{ m})$$

Las pérdidas se calculan en forma similar a las pérdidas en tuberías, así:

$$P_m = f * L \quad (4.8)^{[3]}$$

Con  $Q = 2001 \text{ pies}^3/\text{min.}$  y  $d = 6''$  se busca el factor de pérdidas por fricción correspondiente a tubería en el anexo 4 (Pérdidas por fricción en ductos), teniendo que:

$$f_0 = 11'' \text{ de agua}/100 \text{ pies}$$

Como en las mangueras la fricción es equivalente al triple de este valor.

$$f = 33'' \text{ de agua}/100 \text{ pies}$$

Como la longitud de la manguera es de 3 m (9,84 pies), se obtiene:

$$P_5 = \frac{33'' \text{ de agua}}{100 \text{ pies}} * 9,84 \text{ pies} = 3,24'' \text{ de agua} (0,0812 \text{ m.c. agua})$$

*Pérdidas debidas a la succión del sub-sistema A de la alternativa seleccionada.*

En el anexo 1 (Pérdidas por levantamiento para algunos materiales típicos) se obtiene:



$P_6 = 3''$  de agua. (0,076 m.c.agua)

*Las pérdidas totales para el sub-sistema A serán la suma de los valores calculados:*

$$P_A = 2,28 + 0,74 + 1,65 + 4 + 3,24 + 3 = 14,91'' \text{ de agua (0,38 m.c.agua).}$$

El cálculo de las pérdidas del sub-sistema B de la alternativa seleccionada se realiza de la misma manera que el sub-sistema A.

*Pérdida en la línea después del ciclón del sub-sistema B de la alternativa seleccionada.*

$$P_1 = f_o * L_1^{[4]}$$

En este tramo:

$$L_1 = l_1 + L_{eq1}$$

Donde:

$l_1$  = Es la sumatoria de la longitud de los tramos de las tuberías que se encuentran después del ciclón. (Ver apéndice A, plano 2)

$$l_1 = 837,94 + 612,19 + 1000 = 2450,13 \text{ mm (8,036 pies)}$$

$L_{eq1}$  = Corresponde a la longitud equivalente de un codo de radio de curvatura de 2,0D (Ver anexo 3, Longitud equivalente de codos de 90°)



$$L_{eq1}=3,048 \text{ m (10 pies)}$$

$$L_1 = 8,036 + 3*(10) = 38,03 \text{ pies (11,59 m)}$$

Donde  $f_o$  se conoce haciendo uso del anexo 4 (Pérdidas por fricción en los ductos).

$$f_o = 6'' \text{ de agua / 100 pies}$$

Quedando:

$$P_1 = \frac{6'' \text{ de agua}}{100 \text{ pies}} * 38,03 \text{ pies} = 2,28'' \text{ de agua (0,05 m.c. agua)}$$

*Pérdida en la línea antes del ciclón del sub-sistema B de la alternativa seleccionada.*

$$P_2 = f_1 * L_2^{[4]}$$

Donde:

$$f_1 = \left( \frac{4,9}{63,20} + 1 \right) * 6 = \frac{6,46'' \text{ de agua}}{100 \text{ pies}}$$

En este tramo:

$$L_2 = l_2 + L_{eq2}$$

Donde:



$l_2$  = Es la sumatoria de la longitud de los tramos de las tuberías que se encuentran antes del ciclón. (Ver apéndice A, plano 2)

$$l_2 = 3000 \text{ mm (9,84 pies)}$$

$L_{eq2}$  = Corresponde a la longitud equivalente de un codo de radio de curvatura de 2,0D (Ver anexo 3, Longitud equivalente de codos de 90°)

$$L_{eq2} = 3,048 \text{ m (10 pies)}$$

$$L_2 = 9,84 + 0 * (10) = 9,84 \text{ pies (2,99 m)}$$

Entonces:

$$P_2 = \frac{6,46'' \text{ de agua}}{100 \text{ pies}} * 9,84 \text{ pies} = 0,63'' \text{ de agua (0,016 m.c. agua)}$$

*Pérdidas en el Ciclón para el sub-sistema B de la alternativa seleccionada.*

$$P_3 = 0,0024 * 0,075 * \left( \frac{5750}{60} \right)^2 = 1,653'' \text{ de agua (0,041 m.c. agua)}$$

*Pérdidas debidas a los filtros para sub-sistema B de la alternativa seleccionada.*

El sub-sistema cuenta con un solo filtro, por lo tanto:

$$P_4 = 4'' \text{ de agua (0,1 m.c. agua).}$$



Según lo recomendado por los fabricantes.

*Pérdidas debidas a las mangueras para el sub-sistema B de la alternativa seleccionada.*

$$V_m \cong 1,6 * 5750 = 9200 \text{ pies} / \text{min} \text{ (2804,16 m/min)}$$

Con  $Q=2001 \text{ pies}^3/\text{min}$  y usando la ecuación 2.10 tenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 2001}{\pi * 9200}} = 0,5 \text{ pies} = 6'' \text{ (0,15 m)}$$

Las pérdidas se calculan en forma similar a las pérdidas en tuberías, así:

$$P_m = f * L \quad (4.8)^{[3]}$$

Con  $Q= 2001 \text{ pies}^3/\text{min}$ . y  $d= 6''$  se busca el factor pérdidas por fricción correspondiente a tubería en el anexo 4 (Pérdidas por fricción en los ductos), teniendo que:

$$f_0 = 11'' \text{ de agua}/100 \text{ pies}$$

Como en las mangueras la fricción es equivalente al triple de este valor.

$$f = 33'' \text{ de agua}/100 \text{ pies}$$

Como la longitud de la manguera es de 3m (9,84pies), se obtiene:



$$P_5 = \frac{33'' \text{ de agua}}{100 \text{ pies}} * 9,84 \text{ pies} = 3,24'' \text{ de agua} (0,0812 \text{ m.c. agua})$$

*Pérdidas debidas a la succión del sub-sistema B de la alternativa seleccionada.*

En el anexo 1 (Pérdidas por levantamiento para algunos materiales típicos) se obtiene:

$$P_6 = 3'' \text{ de agua. } (0,076 \text{ m.c. agua})$$

*Las pérdidas totales para el sub-sistema B serán la suma de los valores calculados:*

$$P_B = 2,28 + 0,63 + 1,65 + 4 + 3,24 + 3 = 14,8'' \text{ de agua } (0,37 \text{ m.c. agua}).$$

#### **4.2.5.- Selección de los equipos.**

##### **4.2.5.1.- Selección del separador de partículas tipo ciclón. <sup>[4]</sup>**

Diversos autores han investigado la duración teórica del movimiento de las partículas en el ciclón y estimaron un desempeño teórico del equipo. Varias expresiones han sido propuestas para el dimensionamiento de ciclones de alta eficiencia, pero basadas en la teoría de Echeverri. Estos ciclones tienen las siguientes características:

Tabla 4.4. Características de los ciclones de alta eficiencia

Dimensión	Nomenclatura	Echeverri
Diámetro del ciclón	$D_c/D_c$	1,0
Altura de entrada	$Kb=a/D_c$	0,5
Ancho de entrada	$Kb=b/D_c$	0,25
Altura de salida	$S/D_c$	0,625
Diámetro de salida	$D_s/D_c$	0,5
Altura parte cilíndrica	$h/D_c$	1,5
Altura parte cónica	$z/D_c$	2,5
Altura total del ciclón	$H/D_c$	4,0
Diámetro salida partículas	$B/D_c$	0,375
Factor de configuración	$G$	585,71
Número cabezas de velocidad	$NH$	6,4
Número de vórtices	$N$	5,5

Estas dimensiones se pueden observar en la figura 4.7.

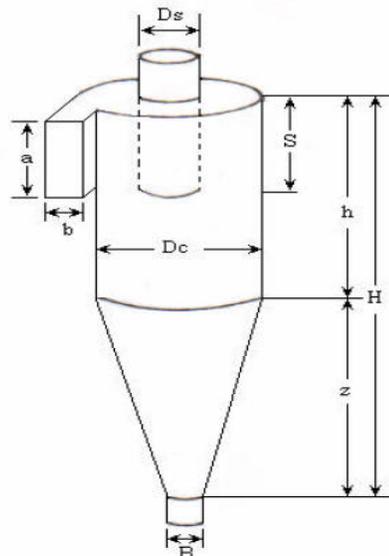


Figura 4.7. Parámetros dimensionales de un ciclón.



Para el cálculo de cada uno de los valores mencionados anteriormente, se recomienda utilizar la relación de Rossin, definida por la siguiente ecuación:

$$D' = \sqrt{\frac{9 * \mu * B}{2 * \pi * N * V * (\rho_s - \rho)}} \quad (4.2)^{[5]}$$

En donde según la relación que establece Rossin:

$D'$  = Diámetro de corte para el tamaño de partícula en el que la eficiencia del ciclón es de 50% (cm).

$B$  = Diámetro del ducto de entrada al ciclón (cm).

$N$  = Número de vueltas dadas por el gas en el interior del ciclón (5 vueltas).

$\rho$  = Densidad del gas ( $\text{g/cm}^3$ ).

$\rho_s$  = Densidad del sólido ( $\text{g/cm}^3$ ).

$\mu$  = Viscosidad dinámica del gas ( $\text{g/cm}^*\text{s}$ ).

$V$  = Velocidad de transporte del material (cm/s).

Una vez calculado ( $D'$ ), se calcula el diámetro del cuerpo del ciclón ( $D_c$ ) a través de la siguiente ecuación:

$$D_c = \frac{13,96 * V * (\rho_s - \rho) * D'^2}{\mu} \quad (4.3)^{[5]}$$

A través de un medidor de temperatura (termómetro), se determinó que la temperatura promedio del aire en el área de trabajo es:

$$T_{\text{aire}} = 35^\circ\text{C}$$



Con este valor de temperatura (considerado a la largo de todo el sistema) y haciendo uso del anexo 5 (tablas de propiedades del aire) se obtuvo:

$$\rho = 1,1455 \text{ kg/m}^3.$$

$$\mu = 1,8855 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}.$$

Para determinar las dimensiones del ciclón del sub-sistema A, se consideran los valores mostrados en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Datos para el cálculo de las dimensiones del ciclón del sistema A.

T (°C)	$\mu$ (g/cm*s)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	N	V(cm/s)	B(cm)
35	$1,8855 \cdot 10^{-5}$	0,0011455	0,56	5	2921	20,32

Sustituyendo los valores en la ecuación 4.2 se obtiene el diámetro de corte ( $D'$ ) usando la relación de Rossin:

$$D' = 2,59 \cdot 10^{-4} \text{ cm}.$$

Sustituyendo valores en la ecuación 4.3 se obtiene el diámetro del cuerpo del ciclón ( $D_c$ ) para el sub-sistema A:

$$D_c = 81,25 \text{ cm}.$$

Luego, al sustituir el valor de ( $D_c$ ), en las características de los ciclones de alta eficiencia, se obtienen el resto de las dimensiones del equipo separador de partículas (ciclón) para el sistema A. Estos valores se pueden observar en la tabla 4.6.



Tabla 4.6 Dimensiones del ciclón del sistema A.

Dimensión	Nomenclatura	Dimensión (cm)
Diámetro del ciclón	$D_c$	81,25
Altura de entrada	a	40,62
Ancho de entrada	b	20,31
Altura de salida	S	50,78
Diámetro de salida	$D_s$	40,62
Altura parte cilíndrica	h	121,87
Altura parte cónica	z	203,12
Altura total del ciclón	H	325
Diámetro salida partículas	B	30,46
Factor de configuración	G	585,71
Número cabezas de velocidad	NH	6,4
Número de vórtices	N	5,5

El diámetro de la ductería de entrada al ciclón del sub-sistema B es igual al del sub-sistema A ( $\Phi = 0.2032 \text{ m} = 8 \text{ pulg}$ ), por lo tanto el sistema del separador de partículas ciclónico del sub-sistema B es el mismo.

Con las dimensiones obtenidas anteriormente, se realiza la selección de los separadores ciclónicos los cuales tienen las siguientes características:

Marca: Mangaire.

Material: Lámina de hierro negro.

Calibre: 16.

Cada uno de estos ciclones llevarán una válvula rotativa con un motor reductor de 559,05 W (3/4 hp), la cual tiene una velocidad de giro de 40 r.p.m. Dicha



válvula se utilizará para controlar el caudal de material que va a descargar hacia el sistema de cascada.

#### 4.2.5.2.- Selección del separador tipo filtro de mangas.

La selección del colector de polvos (filtro de mangas) depende de las siguientes características:

- Caudal requerido.
- Velocidad de filtración.

El caudal total manejado por el sistema de separación de polvos, depende del conjunto de tomas de aspiración simultánea con el que este disponga. El caudal total se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{sistema} = N^{\circ}_{t.s.} * Q \quad (4.4)^{[6]}$$

Donde:

$N^{\circ}ts$ = Número de tomas de aspiración.

$Q$ = Caudal que se aspira de dicho número de tomas.

Para efectos de diseño, y considerando que el sub-sistema A opera solo durante el tiempo en el que existe en almacén material reciclado, y que el subsistema B está mayor tiempo en funcionamiento ya que constantemente hay gaveras en el depósito para ser molidas. Se estima que ambos operan con el mismo caudal, para así garantizar el buen funcionamiento de los mismos, esto basándonos en el rango de seguridad tomado al momento de realiza los cálculos del rediseño.



Por lo que:

Caudal manejado por el sub-sistema A:

$$Q_{\text{sistema A}} = 2 * 0,47 = 0,94 \text{ (m}^3/\text{s)}.$$

Caudal manejado por el sub-sistema B:

$$Q_{\text{sistema B}} = 1 * 0,94 = 0,94 \text{ (m}^3/\text{s)}.$$

Tomando como factor de seguridad un 10 % del caudal total manejado, se tiene que:

$$Q_r = 1,1 * Q_{\text{sistema}} \quad (4.5)^{[6]}$$

Sustituyendo el valor del caudal del sub-sistema A en la ecuación 4.5, se obtiene:

$$Q_{rA} = 1,1 * 0,94 = 1,03 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Sustituyendo el valor del caudal del sub-sistema B en la ecuación 4.5, se obtiene:

$$Q_{rB} = 1,1 * 0,94 = 1,03 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Luego, seleccionando una velocidad de filtración recomendada (para la aplicación bajo estudio usamos cereales) en el anexo 7 (velocidad de filtración), tomando el promedio del intervalo recomendado, se tiene que:



$$V_f = 0,0736 \text{ m/s} = 14,5 \text{ pies/min.}$$

Donde el área de filtración ( $A_f$ ) se obtiene por medio de la ecuación 2.2, de la cual se tiene:

Para el sub-sistema A:

$$A_{fA} = 13,99 \text{ m}^2$$

Para el sub-sistema B:

$$A_{fB} = 13,99 \text{ m}^2$$

Una vez conocida el valor del área de filtración, se selecciona el equipo colector de polvos con la ayuda del anexo 8 (especificaciones técnicas de colectores de polvos).

Luego de revisar las especificaciones técnicas de los colectores de polvos. A continuación se presenta el modelo de filtro de mangas seleccionado:

Marca: Mangaire.

Material: Lamina de hierro negro.

Área filtrante para el sub-sistema A: 13,99 m<sup>2</sup>.

Nº de mangas para el sub-sistema A: 16

Área filtrante para el sub-sistema B: 13,99 m<sup>2</sup>

Nº de mangas para el sub-sistema B: 16.



#### 4.2.5.3.- Cálculo de potencia y selección del ventilador <sup>[8]</sup>

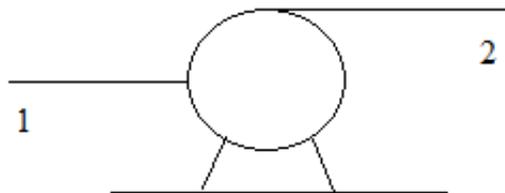
Para seleccionar el ventilador no solo se toma en cuenta el caudal con el que opera y las pérdidas que genera el sistema. También se debe realizar el cálculo de la ecuación de Bernoulli, donde se toma la diferencia de presiones, la variación de velocidad y de altura; este valor debe sumarse al de las pérdidas calculadas anteriormente. Esto nos arroja el valor de la disponibilidad con la cual se debe seleccionar el ventilador a usar.

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + h_f$$

Donde:

La diferencia de presiones la despreciamos, la variación de velocidad es nula, ya que la misma se mantiene constante. Quedando entonces:

$$H = (0,20\text{m} - 0,16\text{m}) + h_f$$



Finalmente para *el sub-sistema A*:

$$Q = 2001 \text{ pies}^3/\text{min} = 56,66 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$H_t = 16,53'' \text{ de agua} = 0,42 \text{ m.c. agua}$$



Marca: FREDIVE C.A.

Modelo SFPP-500

N= 2845 rpm

BHP=10,04

Diámetro entrada= 284 mm

Rueda diámetro= 500 mm

Salida= 247 x 271 mm

*Para el sub-sistema B:*

$Q = 2001 \text{ pies}^3/\text{min} = 56,66 \text{ m}^3/\text{min}$

$H_t = 16,14 \text{ '' de agua} = 0,41 \text{ m.c.agua}$

Marca: FREDIVE C.A.

Modelo SFPP-500

N= 2845 rpm

BHP= 10,04

Diámetro entrada= 284 mm

Rueda diámetro= 500 mm

Salida= 247 x 271 mm

#### **4.2.6.- Especificaciones de construcción de los ductos del sistema.**

Como material de construcción para los ductos se selecciona hierro negro, clase II, según anexo 9 (espesor recomendado para láminas de hierro), debido a que el polvillo del polietileno es abrasivo, según datos del fabricante.

Los ductos se construirán de hierro negro clase II, calibre 20, ya que esta clase se usa para materiales no abrasivos en altas concentraciones, materiales



moderadamente abrasivos y pequeñas concentraciones de materiales muy abrasivos. Transporte de productos químicos, aserrín abundante, arena de fundiciones, polvos de semillas y granos, polvo de carbón, polvo de esmerilado y pulido. Y los accesorios deben construirse de calibre 18 ya debido a que los ductos son de hierro negro y soldados eléctricamente, por esta razón estas láminas no podrán ser de menor calibre a este.

#### **4.2.7.- Sistemas de disposición final del polvillo.**

Las partículas de polvo proveniente del molido del material son separadas del plástico, con la ayuda del aire, a través de un ciclón y un sistema de mangas. El material molido proveniente de la ductería principal entra tangencialmente al ciclón para producir un efecto vórtice, lo cual genera que las partículas más pesadas decanten a la parte inferior del equipo dirigiéndose a una ductería con canales internos ubicados tipo cascada. El diseño del mismo no se muestra en este trabajo ya que luego de algunas investigaciones, se concluye en que el mismo es solo para uso de la aplicación. El mismo consiste simplemente en una ductería cuadrada la cual en su parte interior consta de unos canales ubicados de manera tal, que material al salir del ciclón, choque con estos canales y así las partículas pierdan velocidad y las partículas finas que pudieron haber pasado por el ciclón, se desprendan y se dirijan hacia las tolvas y las más gruesas (el plástico) decanten hacia los silos, siendo este su destino final en el proceso de separación.

El aire contaminado con las partículas más finas abandona el ciclón, para luego dirigirse a un filtro de mangas, donde el aire es filtrado para salir al ambiente lo más limpio posible. Las partículas finas capturadas por este equipo de separación son recogidas en una tolva de recolección.



A continuación se realizará un cálculo para determinar la cantidad de polvo a separar.

#### 4.2.7.1.- Cantidad de polvo recolectado.

La condición crítica para la formación de polvo es cuando las cuchillas del molino se encuentran desgastadas, ya que la fricción durante el cizallamiento es mayor.

Según información suministrada por la empresa, actualmente se muelen 40.000 kg de material diario, pero para efectos de diseño y por lo explicado anteriormente se tomará 23.000 Kg de material por cada sub.sistema, el cual genera 690 kg de polvo al día. Esta cantidad es recolectada para dos turnos por máquina.

Tomando como referencia lo antes mencionado, se estima que la cantidad diaria de polvo a separar de los tres equipos de molino es la siguiente:

$$m_{pt} = 690 * 2 = 1380kg / dia$$

Esta cantidad de material será aspirado por el sistema A y B en conjunto. La premisa para estimar la cantidad de polvo a extraer por cada sistema de aspiración depende del número de máquinas que cada uno posea. El sistema A cuenta con dos máquinas y el sistema B con una.

Para el sub-sistema A:

$$m_{pt} = 690kg / dia$$



Este valor representa el 50% del total.

Para el sub-sistema B:

$$\dot{m}_{pt} = 690 \text{ kg / dia}$$

Este valor representa el 50% del total.

La densidad del polvillo es de  $\rho_p = 1,22 \text{ g/ml} = 1.220 \text{ kg/m}^3$  (Ver sección 4.2.1 del presente capítulo). Con dicho valor de densidad y haciendo uso de la ecuación 4.17, se obtiene la cantidad aproximada de polvo aspirado por cada sistema.

$$Q_p = \frac{\dot{m}_p}{\rho_p} \quad (4.6)^{[3]}$$

Donde:

$\dot{m}_p$  = Flujo másico de polvo.

$\rho_p$  = densidad del polvo.

Para cada sistema, se estima (criterio propio de diseño debido a no tener referencias para este tipo de aplicaciones) que la cantidad de polvo recolectada por cada sistema de filtros de mangas es dos veces la cantidad de polvo recolectada por el sistema de cascada. Por lo tanto:

$$Q_p = Q_{p \text{ filtro}} + Q_{p \text{ cascada}} \quad (4.7)$$



Donde:

$$Q_p \text{ filtro} = 2 Q_p \text{ cascada}$$

Es decir:

$$Q_p \text{ filtro} = 0,66 Q_p$$

$$Q_p \text{ cascada} = 0,33 Q_p$$

Sustituyendo los valores de flujo másico de polvo ( $\dot{m}_{pt}$ ) y densidad ( $\rho_p$ ) en la ecuación 4.6, se obtiene:

Para el sub-sistema A.

$$Q_{pA} = 0,565 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para el sub-sistema B.

$$Q_{pB} = 0,565 \text{ m}^3/\text{día}$$

Haciendo uso de la ecuación 4.7, se obtiene la cantidad de polvo recolectado para cada sistema:

$$Q_{p\text{filtroA}} = Q_{p\text{filtroB}} = 0,37 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{p\text{cascadaA}} = Q_{p\text{cascadaB}} = 0,195 \text{ m}^3/\text{día}$$



#### 4.2.7.2.- Diseño de las tolvas para la disposición final de los polvos.

Debido a que el sistema de partículas tipo ciclón tiene como punto de descarga la entrada del sistema de cascada, estos tienen una única tolva de recolección. A la cual, descarga solo la ductería con canales internos tipo cascada. El sistema de filtros de mangas y la ductería tipo cascada realizan su descarga a tolvas de recolección distintas, y esto ocurre para todos los sistemas. Dichas tolvas deben tener las dimensiones necesarias para asegurar una eficiente recolección y así evitar el desbordamiento de las partículas.

Actualmente, la empresa dispone de contenedores rectangulares para el depósito de distintos desperdicios, las cuales cuentan con unas asas que acoplan con el montacargas y así facilitar el traslado por parte de los operarios. En vista de esto, se requiere determinar si dichos contenedores tienen la capacidad de ser utilizados como recolectores de partículas. Las dimensiones de dicho contenedor se muestran en la figura 4.8.

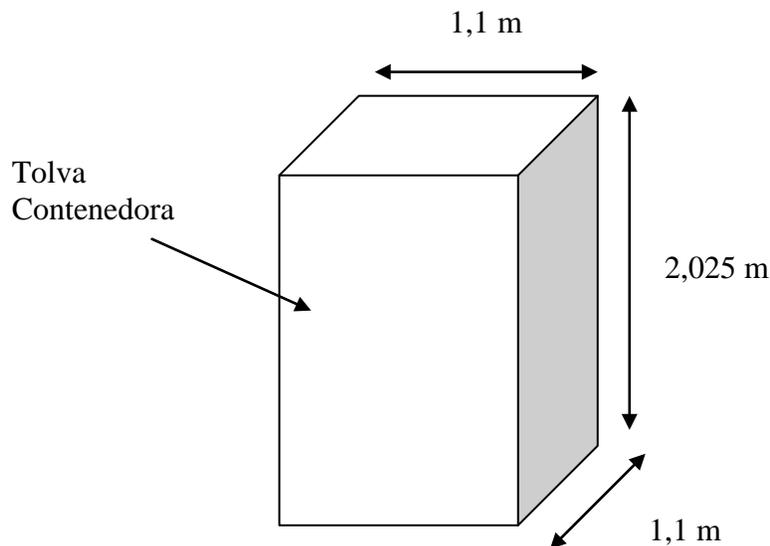


Figura 4.8 Contenedor rectangular para la recolección de desechos sólidos.



El volumen de la tolva rectangular descrita anteriormente es el siguiente:

$$V_{rec} = h * b * p \quad (4.8)$$

Donde:

h= Altura del contenedor.

b= Base del contenedor.

p= Profundidad del contenedor.

Sustituyendo los valores correspondientes de altura, base y profundidad, se obtiene:

$$V_{rec} = 2,45 \text{ m}^3$$

Al comparar el volumen de la tolva de la figura 4.8 con el volumen ocupado por las partículas recolectadas por los separadores de cualquiera de los sub-sistemas (ya que es el mismo) en un día, se observa que cumple con las dimensiones necesarias para recolectar los desechos provenientes del sistema. Se recomienda vaciar dichos contenedores una vez al día para mayor seguridad, y de esta manera garantizar, que a causa de un descuido laboral se desborden dichos contenedores y contaminen el área de trabajo.

Finalmente, se seleccionan los contenedores de la figura 4.8 para la recolección de polvo en ambos sistemas, ya que estos cumplen con las condiciones necesarias y además evitan gastos a la empresa por la adquisición de nuevas tolvas.



#### 4.2.8.- Selección de anclaje y soporte.

Para determinar el tipo de soporte a utilizar se debe tomar en cuenta el peso de la estructura, el tipo de material al cual se va a anclar y el diámetro de los ductos (ver anexo 10).

Además se deben tomar en cuenta algunos detalles como:

- El sistema de ductos debe afianzarse mediante un número suficiente de soportes: cada 3,6m (12pies) para ductos de 200mm (8pulg) o menos, y 6m (20pies) para ductos mayores.
- Debe dejarse un mínimo de espacio libre de 150mm (6pulg) entre los ductos y el cielo raso, muros, vigas o suelo.

#### 4.2.9.- Determinación del peso de los ramales.

El peso de las tuberías depende de los siguientes datos:

- Calibre de la tubería.
- Diámetro de la tubería.
- Material de construcción.

Para el cálculo del peso de los ramales y con el uso de los datos anteriormente planteados se ubica en el anexo 11, donde se obtiene el factor peso-metro para luego aplicar la siguiente ecuación:

$$Plc = Plc' * Ld \quad (4.20)^{[11]}$$



Donde:

Plc= Peso del ramal.

Plc'= factor de peso-metro.

Ld= longitud del ramal.

#### 4.2.9.1.- Cálculos Típicos.

Para el sub-sistema A de la alternativa seleccionada.

Calibre de la tubería: 20

Diámetro de la tubería: 8 pulg (0,20 m).

Material de construcción: Hierro negro.

Factor peso-metro: 6,70 kg./m.

Longitud del conducto tramo recto: 3,5m. (Tomada del plano 1 en el Apendice A)

Sustituyendo en la ecuación 4.20 se obtiene.

$$Plc_B = 3,5 \text{ m} * 6,70 \text{ kg/m} = 23,45 \text{ kg.}$$

Para el sub-sistema B de la alternativa seleccionada.

Calibre de la tubería: 20

Diámetro de la tubería: 8 pulg.(0,20 m)

Material de construcción: Hierro negro.

Factor peso-metro:6,70 kg./m.

Longitud del conducto tramo recto: 3m. (Tomada del plano 2 en el apéndice A)

Sustituyendo en la ecuación 4.20 se obtiene.



$$Plc_B = 3 \text{ m} * 6,70 \text{ kg/m} = 20,1 \text{ kg.}$$

#### 4.2.10.- Selección y distribución de soportes

Haciendo uso de los pesos determinados en la sección anterior, los diámetros de la ductería ( $\Phi = 8''$ ) y los detalles de instalaciones se seleccionan los soportes haciendo uso del anexo 10.

La distribución y colocación de los soportes se realiza utilizando los detalles antes mencionados. De allí que para cada sistema se obtiene:

	Número de Soportes	Separación
Sub-sistema A	4	Ver figura 4.9
Sub-sistema B	2	Ver figura 4.10

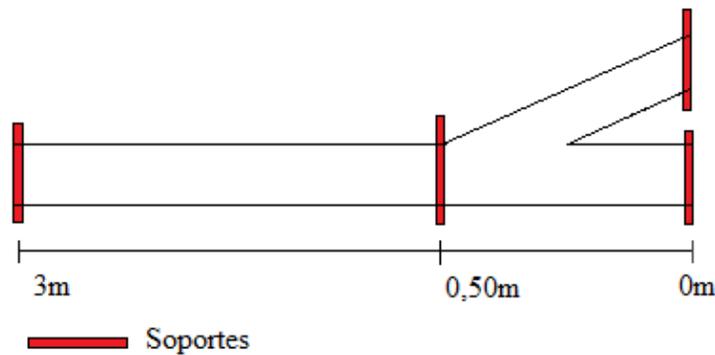


Figura 4.9 Separación de soportes en el sub-sistema A



Figura 4.10 Separación de soportes en el sub-sistema B



## CAPÍTULO V

En este capítulo se presenta el análisis económico del proyecto, con el fin de determinar su rentabilidad.

### 5.1.- EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA LA APLICACIÓN DEL REDISEÑO PROPUESTO.

El análisis de factibilidad económica se realiza con el fin de obtener previsiones de los gastos e ingresos de un determinado proyecto en distintos periodos de tiempo del futuro o presente, para calcular la rentabilidad esperada o atractiva del mismo.

La rentabilidad de un proyecto es la medida que permite conocer, de manera anticipada el resultado global de operación de un proyecto desde el punto de vista económico.

Para determinar la rentabilidad de proyectos de inversión existen varios modelos, tales como: la tasa mínima de rendimiento, el valor actual, equivalente anual y el tiempo de pago. En el caso de este estudio, se utilizó como modelo de rentabilidad el valor actual y tiempo de pago, ya que son los modelos más confiables para conocer la factibilidad de un proyecto.

El valor actual VA expresa la rentabilidad de un proyecto de inversión en forma de una cantidad de dinero en el presente (t=0), y se calcula utilizando la ecuación 5.1.

$$VA = \sum_{t=0}^n F_t (1+i)^{-n} \quad (5.1)^{[13]}.$$



El tiempo de pago, es un modelo de evaluación que mide el tiempo, en años requeridos para que los flujos monetarios netos recuperen la inversión inicial a una tasa mínima de rendimiento igual a cero.

$$TP = \sum_{t=0}^n F_t = 0 \quad (5.2)^{[13]}.$$

Donde  $F_t$  son los flujos monetarios netos al año;  $t$  es el tiempo en años;  $y$ ,  $n$  es el tiempo de pago en años.

Para determinar la rentabilidad del proyecto, se calcula el valor actual (VA) para los costos generados por la pérdida diaria de producción, y posteriormente se calcula el valor actual (VA) para los costos generados por la implementación de la alternativa de solución planteada. La alternativa más rentable, será la que genere menor valor actual.

#### **5.1.1.- Valor actual por los costos de pérdidas de producción generados por las paradas de planta no planificadas en el proceso de inyección debidas al sistema actual.**

Los costos generados por la pérdida diaria de producción se muestran en la tabla 5.1 (datos generados por la empresa).



Tabla 5.1 Costos diarios de pérdidas de producción.

Producción diaria por máquina de inyección	Numero de máquinas de inyección	Precio Unitario de pieza inyectada (Bs.)	Total de producción diaria (Bs.)
3000	11	2.000,00	66.000.000,00

Debido a que la planta opera los 365 días del año, los costos son únicos. Y estimando un día de pérdida de producción mensual, generando esto un costo anual de 792.000.000,00 bolívares.

Asumiendo un tiempo de vida de 5 años con una tasa mínima de rendimiento  $i$  del 15% anual, se calcula el valor actual (VA) utilizando la ecuación 5.1.

$$VA = -792000000 - 792000000 * (1 + 0.15)^{-1} - 792000000 * (1 + 0.15)^{-2} - 792000000 * (1 + 0.15)^{-3} - 792000000 * (1 + 0.15)^{-4} - 792000000 * (1 + 0.15)^{-5}$$

$$VA_1 = 2.358.522.711,560Bs$$

### **5.1.2.- Valor actual para los costos generados por la implementación de la alternativa de solución planteada.**

Los costos de los equipos, accesorios e instalación para la inversión inicial del proyecto se pueden observar en la tabla 5.2 (ver anexo 13, Costo de los equipos, accesorios de instalaron del sistema de extracción de polvos).



Tabla 5.2. Costo de los equipos, accesorios e instalación del sistema de extracción de polvos

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Total (Bs)
Colector de polvo con mangas	2	8.745.000	17.491.000
Separador de partículas tipo ciclón	2	2645000	5.290.000
Válvula rotativa para el ciclón y colector de polvo	4	3450.000	13.800.000
Ventilador Centrífugo (12hp)	1	15.247.500	15.247.500
Ventilador Centrífugo (12hp)	1	15.247.500	15.247.500
Ductería y accesorios	1	133.312.500	133.312.500
Soporte para ducterías y ángulos	1	28.050.000	28.050.000
Suministro e instalación mecánica, tornillería	1	73.125.000	73.125.000
		Sub- total	301.563.500
		IVA (9%) + sub-Total	328.704.215

Los costos operativos del sistema de extracción de polvos solo se limitan a la inspección y mantenimiento de los equipos cada seis meses, lo cual origina un costo de 1.1100.000Bs semestrales, es decir, 2.200.000 Bs. anuales. Dichos costos cubren el mantenimiento de los colectores de polvo, así como también los ventiladores centrífugos y los equipos utilizados en la disposición final de los polvos.

Se estima un aumento del 10% anual en estos costos debido a la inflación. Asumiendo que el proyecto tendrá un tiempo de vida de 5 años, con una tasa mínima



de rendimiento  $i$  del 15% anual, se calcula el valor actual (VA) utilizando la ecuación 5.1.

$$VA = -328.704.215 - 2.200.000 * (1 + 0.15)^{-1} - 2.420.000 * (1 + 0.15)^{-2} - 2.662.000 * (1 + 0.15)^{-3} - 2.928.200 * (1 + 0.15)^{-4} - 3.221.020 * (1 + 0.15)^{-5}$$

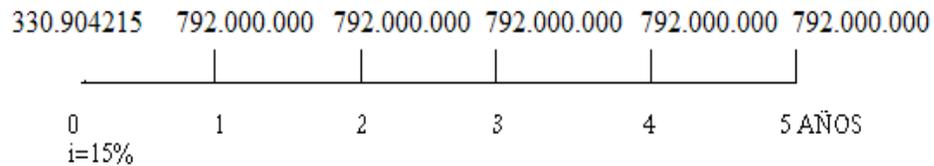
$$VA_2 = 335.650.014,947Bs.$$

Finalmente se tiene que:  $VA_1 > VA_2$ .

**5.1.3.- Tiempo de pago de la alternativa de solución planteada.**

El tiempo crítico de pago es de dos años

La inversión inicial de la empresa para el primer año será el costo de la instalación del nuevo sistema más el costo del mantenimiento en ese primer año de funcionamiento.



$$t= 1 , -330.904215+792.000.000= 461.095.785,00$$

Como  $TP < TPC$ .

Esto quiere decir que es rentable la implementación del sistema de extracción de polvos, debido a que los costos para la ejecución del proyecto son menores que los costos generados por las paradas de plantas para un periodo de cinco años. Y además que la inversión inicial para el diseño planteado sería recuperada en menos del tiempo de pago críticos.



## **CONCLUSIONES**

Luego de analizar a través de la observación directa a cada uno de los componentes que conforman el sistema se determinó que factores como tuberías soldadas y la ausencia de trampas para sólidos son algunos de los detalles que debían ser mejorados en el sistema actual.

El aumento de la capacidad de material a separar es la causa principal de la disminución de la eficiencia del sistema actual.

Con toda la tecnología existente para la separación de polvo, y luego de evaluar las restricciones y criterios del diseño se recomienda el uso de ciclones, por el reducido espacio que ocupan.

Con la puesta en operación de dos sistemas de aspiración de polvos funcionando en paralelo (sub-sistema A y B), se pretende facilitar las labores de aspiración debido a que son independientes y evitan la parada del sistema al momento de realizar mantenimiento a uno de ellos.

El sistema diseñado se realizó con la finalidad de que la limpieza del plástico se logre y se realice el desecho adecuado del polvo recolectado.

La evaluación económica del rediseño es factible, ya que el valor actual (indicador económico) de la inversión inicial del nuevo sistema, es menor que el valor actual referente a los costos en pérdidas de producción que genera una parada no planificada.



## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda diseñar un plan de mantenimiento y manual de procedimientos para operar el sistema de separación de polvo, ya que sería de gran ayuda para el personal de la empresa y facilitaría las labores a todos los operarios que se encuentran asignados al área de molienda.

Se propone que en cada mantenimiento realizado al sistema propuesto, se realice también la descarga de las cargas eléctricas que puedan contener las ducterías, para así evitar que al pasar el tiempo se obstruyan debido al material que se pueda adherir a las paredes de dichas tuberías.

Se recomienda realizar un estudio detallado que permita conocer en exactitud la causa de las fallas en el funcionamiento del sistema instalado actualmente.

Se propone indagar y estudiar la posibilidad de diseñar un sistema automatizado que indique al operario que debe vaciar los colectores de polvo y así evitar derrames de polvo que contaminen el ambiente y así ayudara a mantener más limpio el área de trabajo.



## NOMENCLATURA

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
$A_{fA}$	Área de Filtración de filtros de mangas del Sub-sistema A	$m^2$
$A_{fB}$	Área de Filtración de filtros de mangas del Sub-sistema B	$m^2$
$A_{seccion}$	Área de una sección determinada	$m^2$
$D$	Diámetro del ducto	$m$
$L_{equivalente}$	Longitud equivalente	$m$
$L_{tramo\ recto}$	Longitud de tramo recto	$m$
$m_{maxA}$	Masa máxima de polvo para las tolvas del Sub- sistema A	$kg$
$m_{maxB}$	Masa máxima de polvo para las tolvas del Sub- sistema B	$kg$
$m_p$	Flujo másico de polvo aspirado por el sistema	$Kg/ día$
$N^0_{ts}$	Cantidad de tomas de aspiración simultánea	
$P_1$	Pérdidas en las líneas después del ciclón	$m.c.a$
$P_2$	Pérdidas en las líneas antes del ciclón	$m.c.a$
$P_3$	Pérdidas en el ciclón	$m.c.a$
$P_4$	Pérdidas en los filtros	$m.c.a$
$P_5$	Pérdidas en las mangueras	$m.c.a$
$P_6$	Pérdidas por succión	$m.c.a$
$P_{total}$	Pérdidas totales del sistema	$m.c.a$
$Pot_r$	Potencia requerida por el ventilador	$kw$
$Pot$	Potencia del ventilador del catalogo	$kw$
$Q$	Caudal que circula a través de cada toma de aspiración	$m^3/s$
$Q_p$	Caudal de polvo aspirado por día por cada sistema	$m^3/s$
$Q_{p\ ciclón}$	Caudal de polvo que circula a través del ciclón	$m^3/s$
$Q_{p\ filtro}$	Caudal de polvo que circula a través del colector de polvo de tipo filtro de mangas	$m^3/s$
$Q_r$	Caudal requerido por el ventilador	$m^3/s$
$Q_{SistemaA}$	Caudal total que circula a través del Sub- sistema A	$m^3/s$



<b>Q<sub>SistemaB</sub></b>	<b>Caudal total que circula a través del Sub- sistema A</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
<b>Q<sub>u</sub></b>	<b>Caudal unitario de aire y material</b>	<b>m<sup>3</sup>/kg</b>
<b>Q</b>	<b>Caudal del ventilador del catálogo</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
<b>T<sub>aire</sub></b>	<b>Temperatura del aire</b>	<b>°C</b>
<b>V<sub>tolva</sub></b>	<b>Volumen de la tolva para la disposición final del polvillo</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>V</b>	<b>Velocidad de transporte</b>	<b>m/s</b>
<b>V<sub>r</sub></b>	<b>Velocidad de transporte recalculada</b>	<b>m/s</b>
<b>W</b>	<b>Velocidad de giro del ventilador del catálogo</b>	<b>rpm</b>
<b>Φ<sub>codo</sub></b>	<b>Diámetro del codo</b>	<b>m</b>
<b>ρ<sub>aire</sub></b>	<b>Densidad del aire</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>μ<sub>aire</sub></b>	<b>Viscosidad dinámica del aire</b>	<b>Pa * s</b>



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Universidad del País Vasco. Física con Ordenador. (Documento web).  
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/transporte/brownian/brownian.htm>
- [2] Jose Maria Castañares Gandia. (documento web)  
<http://www.jmcprl.net/GLOSARIO/POLVO.htm>
- [3] GONZÁLEZ, S. Anatomía Patológica del Aparato Respiratorio. (Documento Web).  
<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/Anatomiapatologica/02Respiratorio/2neumocosis.html>
- [4] Felix Rachadell Estrada y Ezequiel Gómez Abreu. Manejo de Materiales. Ediciones UC, Valencia, Venezuela. (Pág. 85)
- [5] Salvador Escoda S.A. Manual practico de ventilación. 2da Edición.(Pág. 121)
- [6] Diquimia. Grupo de tecnología química . (Documento web)  
<http://www.diquima.upm.es/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/FILTROS/PAG6.htm>
- [7] Mott, Robert L. (1996). Mecánica de Fluidos Aplicada. (4ta Ed.). México. Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- [8] American Conference of governmental industrial hygienists. (1992). Industrial Ventilation Manual. (21 Ed.)
- [9] Sistema de Aire comprimido. Seminario (2002). Medellín.Colombia.



- [10] Carlos Alberto Echeverri Londoño (2006), CYCLONES OPTIMAL DESIGN Medellín, Colombia.
- [11] Núñez Sandoval, Franklin y Pérez, Oswaldo. (2001). Sistemas de Ventilación Forzada. (Edic. Original). Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- [12] UPEL. (2003). Manual de Trabajos de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador
- [13] González Inés, Guerra Venturina (1997). Evaluación de Proyectos de Inversión. Segunda Ediciones UC, Valencia, Venezuela
- [14] NÚÑEZ, F. (1.975). Sistema de aspiración y recolección de polvo. Ediciones UC, Valencia, Venezuela.
- [15] Sabino, Carlos (1986) El Proceso de Investigación. Editorial Panapo, Caracas, Venezuela
- [16] Hernández Roberto, Fernández Carlos, Baptista Pilar (1994) Metodología de la Investigación. McGraw-Hill Interamericana de México
- [17] Balestrini, Mirian (2001) Como se elabora el proyecto de investigación. Consultores Asociados Servicio Editorial, Caracas Venezuela.



## ANEXO 1.

Pérdidas de carga por levantamiento para algunos, materiales típicos.

Fuente: Núñez Sandoval, Franklin. Pérez, Oswaldo. Sistemas de ventilación forzada.



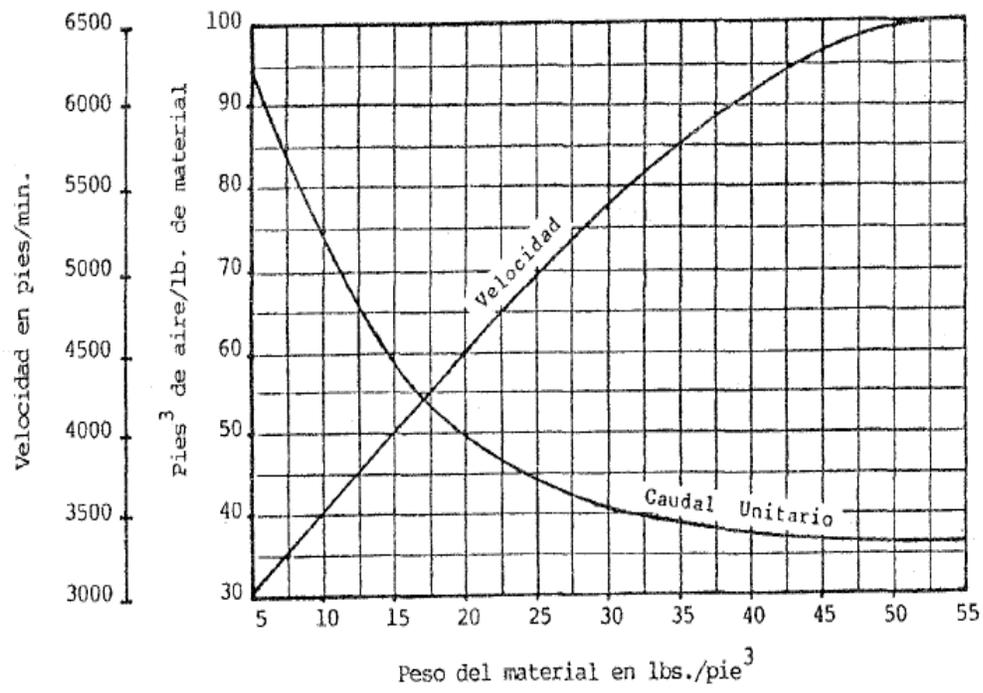
<b>MATERIAL</b>	<b>PESO PROMEDIO ( g/ml)</b>	<b>PÉRDIDAS (mm. de agua)</b>
Algodón	0,08	50,8
Arena	1,68	127
Aserrín	0,19	63,5
Cal	0,48	76,5
Carbón	0,48	76,2
Cebada	0,61	88,9
Cemento	1,60	127
Ceniza	0,48	76,2
Corcho	0,22	38,1
Cortezas	0,32	63,5
Escoria	0,72	101,6
Fríjol	0,45	101,6
Frutas secas	0,48	76,2
Lana	0,08	50,8
Lana mineral	0,19	50,8
Maíz en grano	0,90	114,3
Maíz harina	0,64	88,9
Malta	0,56	76,2
Olote	0,28	63,5
Papel recortes	0,32	76,2
Pelos	0,08	38,1
Plumas	0,08	38,1
Polvo de esmeril	0,48	50,8
Polvo de pulidora	0,48	63,5
Salvado	0,26	50,8
Trapo	0,48	63,5
Trigo	0,74	101,6
Viruta ligera	0,14	63,5
Viruta Pesada	0,38	76,2



## ANEXO 2.

### Curva de Velocidad y Caudal Unitario

Fuente: Félix Rachadell Estrada y Ezequiel Gómez Abreu. Manejo de Materiales.





## ANEXO 3.

### Longitud equivalente de codos de 90° (pies)

: Fuente: Félix Rachadell Estrada y Ezequiel Gómez Abreu. Manejo de Materiales.



Diámetro (pulg)	Radio de Curvatura		
	1.5 D	2.0 D	2.5 D
3	5	3	3
4	6	4	4
5	9	6	5
6	12	7	6
7	13	9	7
8	15	10	8
10	20	14	11
12	25	17	14
14	30	21	17
16	36	24	20
18	41	28	23
20	46	32	26
24	57	40	32
30	74	51	41
36	93	64	52
40	105	72	59
48	130	89	73

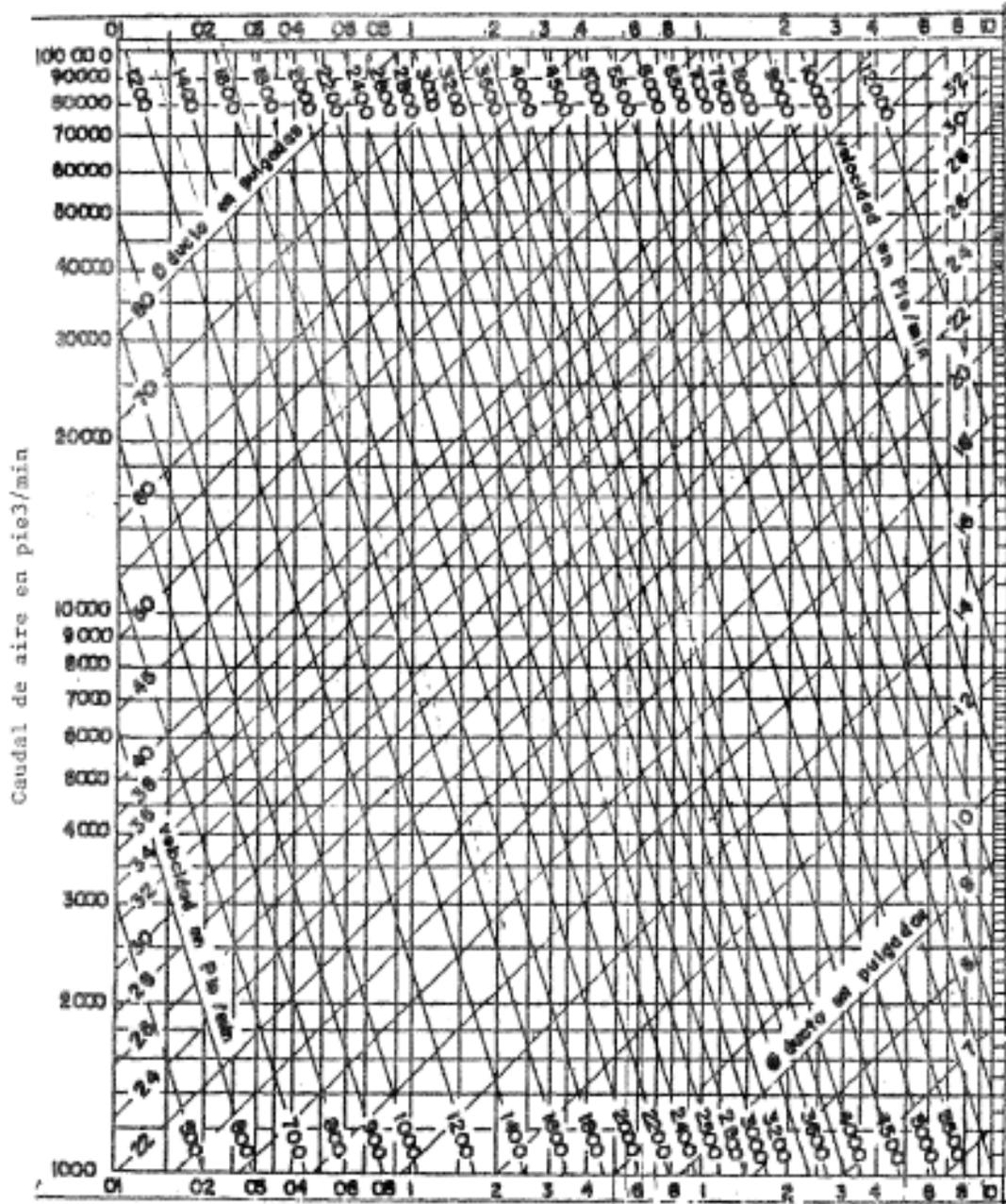
Para codos de 45° y 60° multiplíquese el valor de la tabla por 0.5 y 0.67 respectivamente



## ANEXO. 4

### Pérdidas por fricción en los ductos debido al aire ( $f_0$ )

Fuente: Félix Rachadell Estrada y Ezequiel Gómez Abreu. Manejo de Materiales.



Pérdidas por Fricción en los Ductos en Pulg. de agua/100 Pie de long.



## ANEXO. 5

### Propiedades del aire.

Fuente: Mott, Robert. Mecánica de fluidos aplicada.



TABLA E.1 Propiedades del aire a presión atmosférica.

Temperatura $T$ (°C)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Peso específico $\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\mu$ (Pa · s)	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
-40	1.514	14.85	$1.51 \times 10^{-5}$	$9.98 \times 10^{-6}$
-30	1.452	14.24	$1.56 \times 10^{-5}$	$1.08 \times 10^{-5}$
-20	1.394	13.67	$1.62 \times 10^{-5}$	$1.16 \times 10^{-5}$
-10	1.341	13.15	$1.67 \times 10^{-5}$	$1.24 \times 10^{-5}$
0	1.292	12.67	$1.72 \times 10^{-5}$	$1.33 \times 10^{-5}$
10	1.247	12.23	$1.77 \times 10^{-5}$	$1.42 \times 10^{-5}$
20	1.204	11.81	$1.81 \times 10^{-5}$	$1.51 \times 10^{-5}$
30	1.164	11.42	$1.86 \times 10^{-5}$	$1.60 \times 10^{-5}$
40	1.127	11.05	$1.91 \times 10^{-5}$	$1.69 \times 10^{-5}$
50	1.092	10.71	$1.95 \times 10^{-5}$	$1.79 \times 10^{-5}$
60	1.060	10.39	$1.99 \times 10^{-5}$	$1.89 \times 10^{-5}$
70	1.029	10.09	$2.04 \times 10^{-5}$	$1.99 \times 10^{-5}$
80	0.9995	9.802	$2.09 \times 10^{-5}$	$2.09 \times 10^{-5}$
90	0.9720	9.532	$2.13 \times 10^{-5}$	$2.19 \times 10^{-5}$
100	0.9459	9.277	$2.17 \times 10^{-5}$	$2.30 \times 10^{-5}$
110	0.9213	9.034	$2.22 \times 10^{-5}$	$2.40 \times 10^{-5}$
120	0.8978	8.805	$2.26 \times 10^{-5}$	$2.51 \times 10^{-5}$

Nota: Las propiedades del aire para condiciones estándar a nivel del mar son:

Temperatura	15 °C
Presión	101.325 kPa
Densidad	1.225 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico	12.01 N/m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica	$1.789 \times 10^{-5}$ Pa · s
Viscosidad cinemática	$1.46 \times 10^{-5}$ m <sup>2</sup> /s



## ANEXO. 6

Tabla de selección de ventilador.













## ANEXO. 7

Velocidad de filtración.

Fuente: Catálogo de Mangaire C.A.



## VELOCIDAD DE FILTRACION

TIPO DE POLVO	m/HR	Pie/min
ALUMINA	146 - 183	8 - 10
ASBESTO	183 - 220	10 - 12
ARENA	183 - 220	10 - 12
ASERRIN	220 - 275	12 - 15
AZUCAR	128 - 183	7 - 10
BAUXITA	146 - 183	8 - 10
CARBON	146 - 183	8 - 10
CEMENTO	146 - 183	8 - 10
CEREALES	257 - 275	14 - 15
DETERGENTES	92 - 110	5 - 6
FERTILIZANTES	146 - 165	8 - 9
GRAFITO	92 - 110	5 - 6
HARINA	220 - 275	12 - 15
OXIDO DE PLOMO	110 - 146	6 - 8
OXIDO DE ZINC	92 - 110	5 - 6
OXIDO DE HIERRO	128 - 146	7 - 8
PIGMENTOS	128 - 146	7 - 8
PAPEL	183 - 220	10 - 12
PLASTICOS	128 - 165	7 - 9
SILICA	128 - 165	7 - 9
TABRIO	238 - 275	13 - 15
TALCO	183 - 220	10 - 12

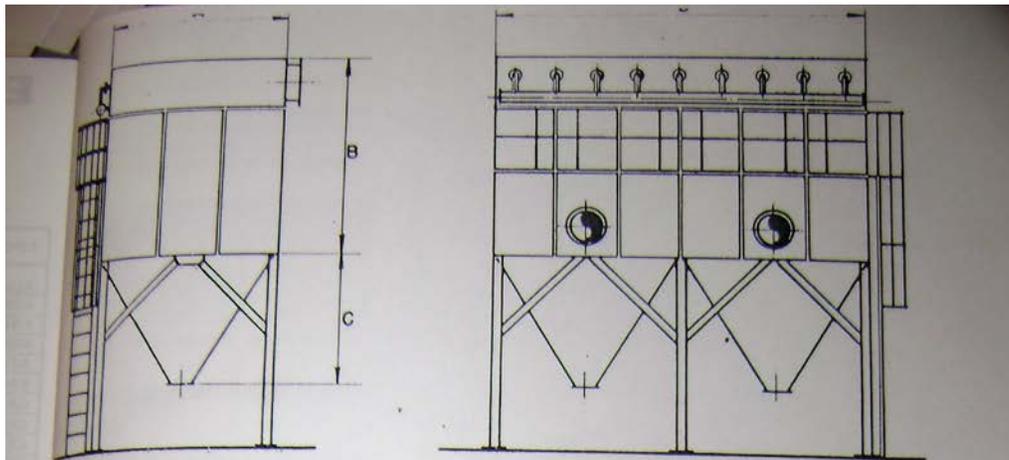
NOTA: Estos valores están basados en una concentración moderada de polvo y un tamaño fino partícula.



## ANEXO. 8.

Especificaciones técnicas del colector de polvos.

Fuente: Catálogo de Mangaire C.A.



INFORMACION TECNICA

MODELO	AREA FILTRANTE		Número de mangas	DIMENSIONES EN m.				Peso aprox. Kg.
	m <sup>2</sup>	Pie <sup>2</sup>		A	B	C	D	
7-12-129	12	129	12	1.30	2.65	0.40	1.50	350
7-16-172	16	172	16	1.50	2.65	0.56	1.50	420
7-20-215	20	215	20	1.50	2.65	0.58	1.73	465
7-25-268	25	268	25	1.73	2.65	0.78	1.73	510
7-30-322	30	322	30	1.73	2.65	0.76	1.95	615
7-36-386	36	386	36	1.95	2.65	0.95	1.95	720
7-42-450	42	450	42	1.95	2.65	0.95	2.18	818
7-49-526	49	526	48	2.18	2.65	1.15	2.18	915
7-56-600	56	600	56	2.18	2.65	1.15	2.40	1028
7-64-687	64	687	64	2.40	2.65	1.35	2.40	1140
7-72-773	72	773	72	2.40	2.65	1.35	2.65	1245
7-81-869	81	869	81	2.65	2.65	1.55	2.65	1350
7-90-966	90	966	90	2.65	2.65	1.55	2.85	1465
7-100-1073	100	1073	100	2.85	2.65	1.75	2.85	1580

NOTA: A pedido del cliente se fabrican colectores en otras capacidades y tamaños.

SELECCION DE UN COLECTOR DE POLVOS

UTILIZACION: Sistema de recolección de polvos (Oxido de Plomo) en una fábrica de baterías.

CAUDAL DE AIRE: 6372 m<sup>3</sup>/HR. (3750 Pie<sup>3</sup>/min) a 25 °C

VELOCIDAD DE FILTRACION: 120 m/HR (6 Pie/m)

AREA FILTRANTE: ~~6372~~ m<sup>3</sup>/HR\_53.1 m<sup>2</sup>  
120 m/HR

EQUIPO SELECCIONADO: MODELO 7-56-600



## ANEXO. 9

Espesor recomendado para láminas de hierro.

Fuente: Nuñez Sandoval, Pérez, Oswaldo. Sistemas de ventilación forzada.



DIAMETRO DEL DUCTO RECTO	ESPESOR DE LA LAMINA DE HIERRO		
	Clase I	Clase II	Clase III
Hasta 8" 200 mm	24	22	20
Desde 8" hasta 18"	22	20	18
Desde 18" hasta 30"	20	18	16
Mayor de 30"	18	16	14

NOTA: 1. Cierta tipo de sistemas de ventilación en la Industria pesada puede requerir espesores mayores.

2. En el caso de que se especifique ductos de hierro negro soldados eléctricamente, el espesor de la lámina no podrá ser menor de calibre # 18

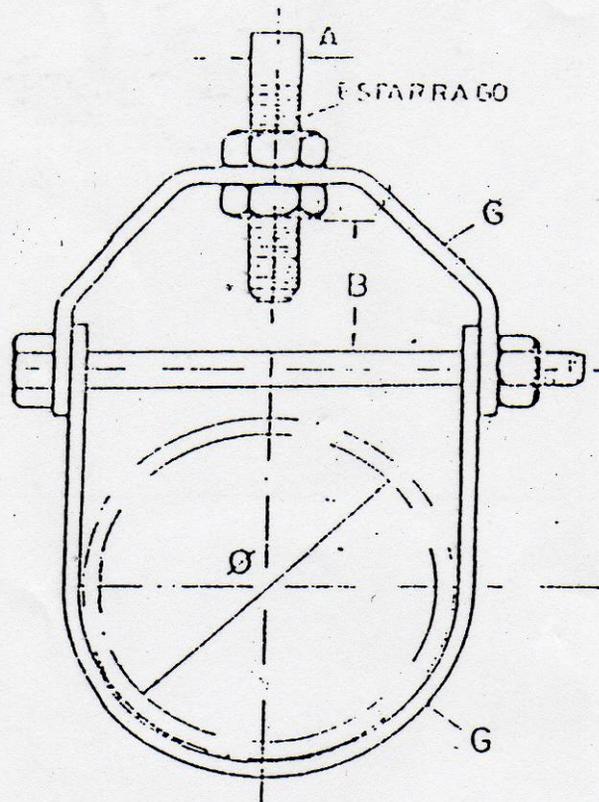
<http://dsfhsz.com/raib/productos>



## ANEXO. 10

Tipo de soporte según el tipo de material

Fuente: Empresa fabricante MAPLOCA



Diametro Pulgadas	Platina G Pulgadas	A Pulgadas	B Pulgadas	Carga Permitible Kg.
2	1/8 x 1	3/8	1 1/2	45
3	3/16 x 1 1/4	1/2	1 3/4	150
4	3/16 x 1 1/4	1/2	1 3/4	150
6	3/16 x 1 1/2	3/4	2	210
8	3/16 x 1 1/2	7/8	2	380
10	1/4 x 1 1/2	7/8	2 1/2	630

Material: Acero negro.

Acabado: Una mano de pintura negra.

Aplicación: Recomendadas para la suspensión de tuberías con o sin aislamiento, especialmente indicadas para la tubería de hierro fundido.

Ajuste: Permite un ajuste vertical de 1 1/2" a 2 1/2", sin remover la tubería instalada.

Fuente: Empresa fabricante MAPLOCA



## ANEXO. 11

### Tabla de superficie y peso de ductos.

Fuente: Núñez Sandoval, Franklin. Pérez, Oswaldo. Sistemas de ventilación forzada.



## 7.2 TABLAS DE SUPERFICIE Y PESO DE DUCTOS

## SUPERFICIE Y PESO DE DUCTOS CILINDRICOS KG/M

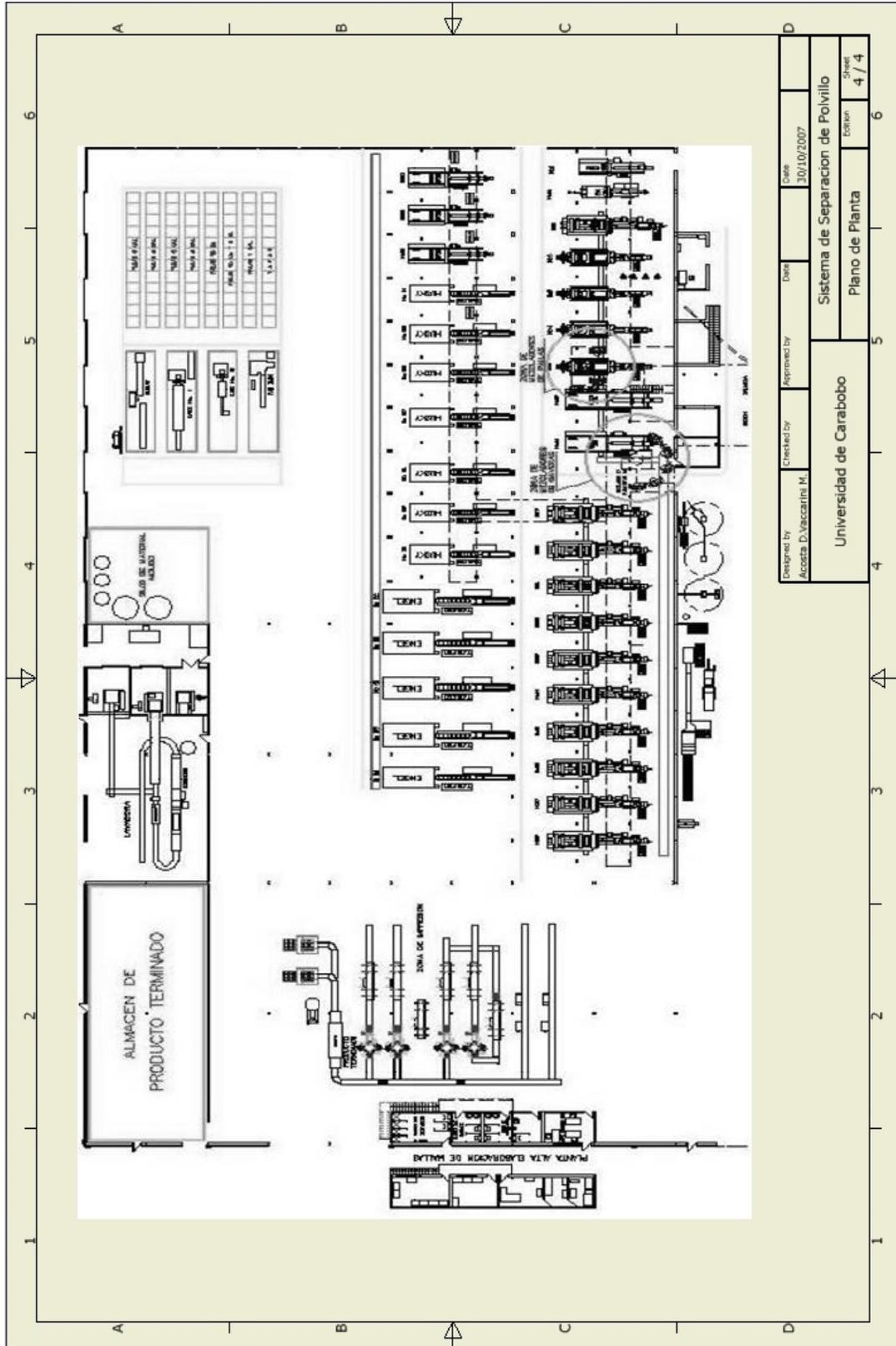
SUPF. m <sup>2</sup>	DUCTO φ	CALIBRES					
		# 26	# 24	# 22	# 20	# 18	# 16
0,239	3"	1,37	1,75	2,13	2,51	3,26	4,02
0,319	4"	1,83	2,33	2,84	3,35	4,36	5,37
0,399	5"	2,29	2,92	3,55	4,19	5,45	6,72
0,478	6"	2,74	3,50	4,26	5,02	6,53	8,05
0,558	7"	3,20	4,09	4,97	5,86	7,63	9,40
0,638	8"	3,66	4,67	5,69	6,70	8,72	10,75
0,718	9"	4,12	5,26	6,40	7,54	9,82	12,10
0,798	10"	4,58	5,84	7,11	8,38	10,91	13,45
0,877	11"	5,04	6,42	7,82	9,21	11,99	14,78
0,957	12"	5,50	7,01	8,53	10,05	13,09	16,13
1,037	13"	5,96	7,60	9,25	10,89	14,18	17,48
1,117	14"	6,42	8,18	9,96	11,73	15,28	18,83
1,197	15"	6,88	8,77	10,67	12,58	16,37	20,18
1,276	16"	7,33	9,35	11,38	13,41	17,45	21,51
1,356	17"	7,79	9,93	12,09	14,25	18,55	22,86
1,436	18"	8,25	10,52	12,80	15,09	19,64	24,20
1,516	19"	8,71	11,11	13,52	15,93	20,73	25,55
1,596	20"	9,17	11,69	14,23	16,77	21,83	26,90
1,675	21"	9,63	12,27	14,94	17,60	22,91	28,24
1,755	22"	10,09	12,86	15,65	18,44	24,00	29,58
1,835	23"	10,55	13,45	16,36	19,28	25,10	30,93
1,915	24"	11,01	14,03	17,08	20,12	26,19	32,28
1,995	25"	11,47	14,62	17,79	20,96	27,29	33,63
2,074	26"	11,92	15,21	18,50	21,79	28,37	34,96
2,154	27"	12,38	15,78	19,21	22,63	29,46	36,31
2,234	28"	12,84	16,37	19,92	23,47	30,56	37,66
2,314	29"	13,30	16,96	20,64	24,32	31,65	39,01
2,394	30"	13,76	17,54	21,35	25,16	32,74	40,36
2,473	31"	14,21	18,12	22,05	25,99	33,83	41,69
2,553	32"	14,67	18,71	22,77	26,83	34,92	43,04
2,633	33"	15,13	19,29	23,48	27,67	36,01	44,39
2,713	34"	15,59	19,88	24,19	28,51	37,11	45,74
2,793	35"	16,05	20,47	24,91	29,35	38,20	47,08
2,872	36"	16,51	21,05	25,61	30,18	39,28	48,42
2,952	37"	16,97	21,63	26,33	31,02	40,38	49,77



## ANEXO. 12

Plano de vista de planta de la zona de trabajo.

Fuente: Industrial Metalgráfica. S.A.





## ANEXO. 13

Costo de los equipos, accesorios.

Fuente: Mangaire.



# MANGAIRE, C.A.

CONSTRUCCION DE VENTILADORES  
AIRE FORZADO-COLECTORES-FILTROS  
BALANCEO ELECTRONICO Y  
METALICA EN GENERAL



PARQUE INDUSTRIAL LA QUIZANDA LOCAL N° 13  
VALENCIA- EDO ,CARABOBO  
TELEFONOS: 0241-8331278  
FAX: 8-331508  
RIF:J07511492-2  
Web Site: [www.mangaire.com](http://www.mangaire.com)  
Correo electronico: [servicio@mangaire.com](mailto:servicio@mangaire.com)

VALENCIA, 26 DE SEPTIEMBRE DE 2007

PRESUPUESTO N° 050926 M  
VALIDO POR: 10 DIAS  
TIEMPO DE ENTREGA:  
FORMA DE PAGO: 35% O/C, C/ENTREGA

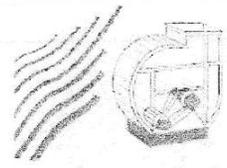
FAX:  
TEL:.

N°	DESCRIPCION	UND	CANT	P. UNITARIO	TOTAL Bs.
1	FABRICACIO DE DUCTERIA, DE AMBOS SISTEMAS CODOS DE 90° Y 60° CONEXIONES EN "YEE",EN SUS DIFERENTES DIMENSIONES, EN LAMINA DE H.N, CON FLANGE, SEGUN PLANOS	UND	1	133312500.00	133312500.00
2	SOPORTERIA EN PLATINA DE H.N Y ANGULO	SG	1	28,050 000.00	28,050 000.00
3	SUMINISTRO E INSTALACION MECANICA, TORNILLERIA Y SELLADO EN MASTIQUE.	S.G	1	73125,000.00	73125,000.00
NOTA: LA DUCTERIA SERA FABRICADA SEGUN PLANO, CUALQUIER PIEZA EXTRA SERA CONSIDERADO COSTO ADICIONAL. NO INCLUYE INSTALACION ELECTRICA, NI OBRA CIVILES <i>Mangaire, C.A.</i> 					
<b>SUB - TOTAL Bs.</b>					<b>309,727,500.00</b>
<b>TOTAL Bs.</b>					
<b>IGSVM 15 %</b>					
<b>TOTAL GENERAL Bs.</b>					<b>337 6 029.75 00</b>



# MANGAIRE, C.A.

PARQUE INDUSTRIAL LA QUIZANDA LOCAL N° 13  
 VALENCIA- EDO. CARABOBO  
 TELEFONOS: 0241-8331278  
 FAX: 8-331508  
 RIF: J-07511492-2  
 Correo electrónico: servicio@mangaire.com  
 web site: [www.mangaire.com](http://www.mangaire.com)



VALENCIA, 26 DE SEPTIEMBRE DE 2007

HOJA 1

PRESUPUESTO N° 050722 M

VALIDO POR: 10 DIAS

TIEMPO DE ENTREGA

FORMA DE PAGO 35% C/O

FAX.: 2

TEL.: 2

N°	DESCRIPCION	UND	CANT	P. UNITARIO	TOTAL Bs.
1	COLECTOR DE POLVO AUTOMATIZADO MODELO MFM. CONSTRUIDO EN LAMINA DE H.N. DE 3 mm. DE ESPESOR, CON 20 MANGAS DE 5 1/2 DE DIAMETRO x 1,2 m DE LARGO CADA UNA. CON ESQUELETO. VALVULA SOLENOIDE DE MEMBRANA. PASARELA DE MANTENIMIENTO. TARJETA ELECTRONICA.	UND	2	8.745.000,00	17.490.000,00
2	CICLON MODELO MCC. TAMAÑO 500. FABRICADO EN LAMINA DE H.N. EN CALIBRE 16. CON ESTRUCTURA.	UND	2	2.645.000,00	5.290.000,00
3	VALVULA ROTATIVA PARA CICLON Y COLECTOR DE POLVO. CON MOTORREDUCTOR DE 3/4 DE HP, PPM 40 APROX.	UND	4	3.450.000,00	13.800.000,00
4	VENTILADOR CENTRIFUGO DE ALTA PRESION MODELO MVCP. CFM 756. PRESION 68" DE AGUA. MOTOR DE 12 HP. ACOPLE DIRECTO. 3F 220/440 V.	UND	2	16.247.500,00	30.495.000,00
<b>NOTA NO INCLUYE INSTALACION</b>					
<b>SUB - TOTAL Bs.</b>					<b>67.070.000,00</b>
<b>TOTAL Bs.</b>					
<b>ICSVM 9%</b>					<b>6.030.000,00</b>
<b>TOTAL GENERAL Bs.</b>					<b>73.100.000,00</b>

ELABORADO POR: *[Signature]*



## ANEXO. 14

Datos del material



**APÉNDICE A**  
Planos del Diseño Propuesto