



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Análisis de Factibilidad para la Implementación del Diseño de un  
Sistema de Extracción de Material Particulado del Área de  
Sistema de Ensacado de una Planta Cementera”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**(Proyecto de Graduación)**

Previo a la obtención de Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Enrique Gabriel Zapata Liberio

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2014

## AGRADECIMIENTO

A Dios por permitir seguir con vida y superarme.

A mi Mama por ser mi amiga, mi aliada, mi ejemplo, gracias por ser todo el apoyo en este trabajo y en mi vida.

A mis padres, que siempre me han dado su apoyo incondicional y a quienes debo este triunfo profesional, por todo su trabajo y dedicación para darme una formación académica y sobre todo humanista y espiritual. De ellos es este triunfo y para ellos es todo mi agradecimiento.

Para mis hermanos, que siempre han estado conmigo en todos los

momentos de mi vida, y esta es más que otra etapa de ella.

A toda mi familia, muy en especial a mis tías de parte de madre, que me cuidaron desde niño y sembraron en mí los valores más importantes que me caracterizan; a mis bellas sobrinas por ser una alegría más en mi vida y la motivación de ser un ejemplo a seguir para ellas.

Por último quiero agradecer a todas aquellas personas que sin esperar nada a cambio compartieron pláticas, conocimientos y diversión. A todos aquellos que durante los 5 años que duro este sueño lograron convertirlo en una realidad.

Gracias!

# **DEDICATORIA**

## **A DIOS.**

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

## **A MIS PADRES.**

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

## **A MIS FAMILIARES.**

A mis hermanos por ser ejemplos y de la cual aprendí de aciertos y

de momentos difíciles; a mi tías de parte de madre, mis sobrinas que siempre se mantuvieron a mi lado dándome fuerzas.

¡Gracias a ustedes!

### **A MIS MAESTROS.**

Por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

A todas y cada una de las personas que participaron en la investigación realizada, ya que invirtieron su tiempo y conocimiento para ayudarme a completar mi trabajo final del graduación.

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

Ing. Jorge W. Duque Rivera  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. María Elena Murrieta O.  
DIRECTORA DEL TFG

---

Ing. Ernesto Martínez L.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Enrique Gabriel Zapata Liberio

## RESUMEN

El diseño de un sistema de extracción de material particulado, es de mucha importancia en las industrias donde se pretende recolectar partículas provenientes de su respectivo proceso de producción.

Tomando en consideración las recomendaciones de diseño para la disposición del sistema de tuberías para la captación de material particulado como seleccionar la campana adecuada en cada equipo por donde nace el ducto, controlándolo el flujo a través de un dámper que preferiblemente se ubica cerca de una plataforma de acceso o de mantenimiento para poder realizar su maniobrabilidad, instalándolo de manera perpendicular a las plataformas adyacentes, los ductos deberán mantener un ángulo de 60 grados con la horizontal y deben de ser de fácil desmontaje utilizando accesorios con juntas empernadas tales como bridas, para facilitar los reemplazos por mantenimiento; he así que realizando un buen sistema de tuberías se garantiza que la succión del ventilador no necesite más presión de la requerida para poder transportar el material particulado, ni menos presión ya que esto produciría atascamientos de material y pérdidas en el sistema.

También se da a conocer el costo del suministro, fabricación y montaje del sistema de extracción de material particulado propuesto, así como también el cronograma de ejecución de actividades del mismo.

Finalmente se realiza un análisis de factibilidad del proyecto basado en el criterio que dice que el Valor Actual Neto debe de ser positivo mayor que cero y la Tasa Interna de Retorno debe estar dentro de 11 al 13% como lo determina la tasa de actualización para proyectos de financiación privada, al cumplir con estos criterios se define que este proyecto es factible para la empresa con el presupuesto de implementación.

También se realizó un análisis de factibilidad pero desde el punto de vista ambiental donde se pretende abogar por la salud del personal creando un ambiente de trabajo seguro, y a manera general a la empresa que cumpla con las normas ambientales para evitar problemas con la ley ambiental y obtener sanciones.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS.....	viii
SIMBOLOGÍA.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE PLANOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.1 Objetivo General.....	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Justificación del Proyecto.....	4
1.3.1 Análisis del Mercado Actual.....	5
1.4 Marco Legal Ambiental.....	8
<b>CAPÍTULO 2</b>	
2. PROCESO DE PRODUCCIÓN GENERAL DE UNA EMPRESA CEMENTERA.....	12

2.1	Obtención de Materias Primas.....	15
2.2	Trituración de Materia Prima.....	17
2.3	Molienda de Crudo.....	20
2.4	Fabricación de Clinker.....	22
2.5	Molienda de Cemento.....	25
2.6	Envase y Despacho.....	27

### **CAPÍTULO 3**

3.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DESEMPOLVADO EN PLANTAS CEMENTERAS.....	28
3.1	Importancia de un Sistema de Desempolvado.....	28
3.2	Tipos de Colectores de Polvo.....	30
3.2.1	Por su Principio de Operación.....	31
3.2.2	Por su principio de aplicación.....	44
3.2.3	Por su diseño de filtración.....	47
3.2.4	Por la presión en el sistema.....	49
3.3	Tipos de filtros de mangas.....	54
3.3.1	Por la presión en el sistema.....	54
3.3.2	Por su secuencia de limpieza.....	60
3.4	Componentes de un sistema colector de mangas.....	63

## CAPÍTULO 4

4.	DISEÑO DE UN SISTEMA COLECTOR EN BASE A LAS CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ENSACADO DE CEMENTO.....	74
4.1	Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a desempolvar.	75
4.2	Campana de captura.....	82
4.3	Diseño de ductos.....	89
4.4	Colector de polvo.....	115
4.4.1	Velocidad de filtración (Relación aire-tela).....	118
4.4.2	Criterio de selección para la tela de filtrado.....	119
4.4.3	Dimensionamiento de mangas.....	121
4.4.4	Numero de mangas por Columna.....	123
4.4.5	Canastillas.....	124
4.4.6	Fijación de las Mangas.....	125
4.4.7	Tolva de Descarga.....	127
4.4.8	Transportador de Gusano sin fin.....	130
4.4.9	Válvulas a la Salida.....	134
4.4.10	Cámara Limpia.....	136
4.4.11	Pérdidas en el Filtro de Mangas.....	136
4.5	Selección del Ventilador.....	140

## **CAPÍTULO 5**

5. ANÁLISIS DEL COSTO Y BENEFICIO DEL SISTEMA PROPUESTO DE DESEMPOLVADO.....	144
5.1 Análisis de la Demanda y Mercado Potencial.....	144
5.2 Costo de Elaboración del Proyecto.....	147
5.3 Costo de Implementación del Proyecto.....	148
5.4 Presupuesto Referencial para la Implementación del Proyecto..	148
5.5 Cronograma de Fabricación y Montaje.....	151
5.6 Análisis Económico.....	154
5.7 Análisis Ambiental.....	159

## **CAPÍTULO 6**

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	161
6.1 Conclusiones.....	161
6.2 Recomendaciones.....	162

## **ANEXOS**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

A	Área
A/T	Relación Aire / tela
ANSI	American national standards
institute ASTM	American society for testing materials
Bar	Bar
BCE	Banco Central del Ecuador
CAD	Diseño Asistido por Computadora
Ced	Cedula
CFH	Pie cúbico por hora
CFM	Pie Cúbico por metro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
C <sub>0</sub>	Factor de pérdida
C <sub>m</sub>	Cantidad de mangas
D	Diámetro
FNE	Flujo Neto Efectivo
FPM	Pies por minuto
Ft	Pie
G	Constante de gravedad en m/s <sup>2</sup>
H	Altura de elevador en metros
Hg	Mercurio
HP	Caballo de fuerza
Hz	Hertzio
i	Interés
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
K	Factor de pérdida de accesorio, adimensional
Kg	Kilogramos
Kg./m <sup>3</sup>	kilogramo por metro cúbico
Kw	Kilovatio
M	Masa
M <sup>a</sup>	Metro lineal
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>3</sup> /h	Metro cúbico por hora
mg/Nm <sup>3</sup>	Miligramo por metro cúbico neto
mm	Milímetro
N.A	No aplica
Nv	Eficiencia de alabe de ventilador
N	Número de revoluciones

°C	Grado centígrado
°F	Grado Fahrenheit
P	Potencia
P	Paso de hélice
PM	Material particulado
Psi	Libra por pulgada cuadrada
Psig	Libra por pulgada cuadrada manométrica
Q	Caudal
RPM	Revoluciones por minuto
S.A	Sociedad Anónima
SP	Presión estática
TIR	Tasa interna de retorno
Ton/h	Toneladas por hora
u/m <sup>3</sup>	Microgramos por metro cubico
USD	Dólares americanos
V	Velocidad
VAN	Valor actual neto
Vol	Volumen
VP	Presión dinámica
W	Voltios
X	Distancia

## SIMBOLOGÍA

$\emptyset$	Diámetro
$\Delta P$	Diferencial de presión
$\theta$	Angulo
$\pi$	Pi
$\rho$	Densidad
$\gamma$	Peso específico
$\phi$	Coefficiente de llenado
$^{\circ}$	Grados
$\rightarrow$	Dirección de flujo

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Esquema de los Lineamientos en que se Rige El Proyecto.....	9
Figura 2.1. Flujograma de Fabricación del Cemento.....	13
Figura 2.2. Proceso de Fabricación del Cemento.....	14
Figura 2.3. Obtención de Materias Primas.....	16
Figura 2.4. Proceso de Extracción de Materias Primas.....	16
Figura 2.5. Tipos de Trituradoras.....	17
Figura 2.6. Diagrama de Trituración.....	19
Figura 2.7. Homogenización y Molienda de Crudo.....	21
Figura 2.8. Precalentador de Ciclones.....	22
Figura 2.9. Fabricación de Clinker – Horno.....	23
Figura 2.10. Fabricación de Clinker – Enfriadora.....	25
Figura 2.11. Molienda de Cemento.....	26
Figura 2.12. Envase y Despacho.....	27
Figura 3.1. Ciclón.....	33
Figura 3.1. Ciclón.....	35
Figura 3.3. Precipitador Electrostático.....	36
Figura 3.4. Principio Electrostático.....	37
Figura 3.5. Filtro de Cartuchos.....	39
Figura 3.6. Filtro de Mangas.....	42
Figura 3.7. Filtro Auxiliar.....	45
Figura 3.8. Filtro de Proceso.....	46
Figura 3.9. Filtrado Exterior.....	47
Figura 3.10. Filtrado Interior.....	48
Figura 3.11. Sistema de Presión Positiva.....	50
Figura 3.12. Sistema de Presión Negativa.....	51
Figura 3.13. Filtro de Mangas de Sacudido.....	55
Figura 3.14. Filtro de Mangas de Aire Reverso.....	57
Figura 3.15. Filtro de Mangas Tipo Pulse Jet.....	59
Figura 3.16. Diagrama General de La Instalación.....	64
Figura 3.17. Diseño Típico en la Entrada del Filtro.....	65
Figura 3.18. Diseño Mejorado a la Entrada del Filtro.....	66
Figura 3.19. Ventilador Axial.....	69
Figura 3.20. Ventilador Centrifugo.....	71
Figura 3.21. Dámper .....	72

Figura 3.22. Tipos de Turbinas.....	73
Figura 4.1. Emisiones Capturadas/Fugitivas .....	83
Figura 4.2. Emisiones Capturadas/Fugitivas.....	84
Figura 4.3. Tipos de Campanas de Captura .....	85
Figura 4.4. Campanas en Bandas Transportadoras.....	88
Figura 4.5. Cambios de Presión en el Sistema .....	91
Figura 4.6. Relación R/D de Codos en Ductos.....	98
Figura 4.7. Pendiente en Ductos para Caliza y Cemento.....	99
Figura 4.8. Diseño de Ductos.....	100
Figura 4.9. Velocidad Constante en Ducto.....	101
Figura 4.10. Elementos Mecánicos en un Colector de Polvo Pulse-Jet....	117
Figura 4.11. Tipos de Textiles para Mangas.....	120
Figura 4.12. Número de Mangas por Columna.....	123
Figura 4.13. Canastilla para Mangas.....	125
Figura 4.14. Fijación de Mangas con Fleje Metálico.....	126
Figura 4.15. Venturi para Filtros de Mangas Pulse-Jet.....	127
Figura 4.16. Atoramiento de Tolva.....	128
Figura 4.17. Modificación de Tolva.....	129
Figura 4.18. Transportador de Tornillo Sin Fin Continuo.....	131
Figura 4.19. Diferentes Tipos de Válvulas de Salida.....	135

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Estructura de Mercado de Cemento a Nivel Mundial. Año 2006... 7
Tabla 2	Concentraciones de Contaminantes Comunes que Definen los Niveles de Alerta, de Alarma y de Emergencia en la Calidad del Aire..... 10
Tabla 3	Reacciones en la Fabricación del Clinker..... 24
Tabla 4	Comparación entre Diferentes Tipos de Colectores..... 53
Tabla 5.	Comparación entre Diferentes Tipos de Filtros de Mangas..... 62
Tabla 6	Cantidad de Aire a Desempolvar según el Equipo de Acuerdo al Holcim Design Criteria..... 78
Tabla 7	Características de los Tramos Correspondientes a la Red de Tuberías del Sistema de Extracción de Polvo..... 113
Tabla 8	Características de los Tramos Correspondientes A la Red de Tuberías del Sistema de Extracción de Polvo Recalculado.... 114
Tabla 9	Relaciones de Aire Tela Típicas ..... 119
Tabla 10	Proyección de Crecimiento del Cemento..... 146
Tabla 11.	Costo de Elaboración del Proyecto..... 147
Tabla 12.	Costo de Implementación del Proyecto..... 148
Tabla 13	Presupuesto Referencial de Implementación del Proyecto..... 149
Tabla 14	Amortización..... 150
Tabla 15	Cronograma de Fabricación y Montaje..... 153
Tabla 16	Costo Total del Proyecto..... 157
Tabla 17	Flujo de Ingreso por Retorno de Cemeto..... 158
Tabla 18	Cuadro de Flujo de Proyecto..... 158
Tabla 19	Análisis De Factibilidad..... 159

## ÍNDICE DE PLANOS

1. Disposición General
2. Accesorios
3. Soportería

# INTRODUCCIÓN

El desarrollo del proyecto se basa en el diseño de un sistema colector de polvo para un edificio de ensacado de una planta de cemento, con todos sus componentes necesarios que garantice una buena captación de polvo de los equipos que requieran desempolvase, evitando así que existan la menor cantidad de pérdidas posibles durante la producción y reduciendo el escape de polvo hacia la atmósfera para no contaminar del aire, cuidando la salud y seguridad de los trabajadores y visitantes.

En el capítulo 1 se determinaron los objetivos y justificaciones del proyecto. Se realizó un breve análisis del mercado actual de las plantas cementeras tanto nacional como internacional. El marco legal ambiental aplicable al proyecto también es parte de estudio en esta sección determinando los rangos máximos permisibles de emisión de polvo a la que una persona puede estar expuesta.

En el capítulo 2 se dio una introducción al proceso de producción general de una empresa cementera, desde la obtención de la materia prima hasta el envase y despacho del cemento, describiendo cada uno de los procesos y alternativas de elaboración.

En el capítulo 3 se centró más en la importancia y fundamentos teóricos para el desempolvado en plantas cementeras, haciendo un análisis de los sistemas de captación de polvo y seleccionar el más adecuado para este caso, Una vez seleccionado el sistema se revisa los componentes de un sistema colector de mangas.

El capítulo 4 es el más extenso porque es la parte medular de la tesis, se ve el diseño del sistema colector en base a las consideraciones de fundamento del sistema de ensacado de cemento, se realizó un análisis minucioso de cada elemento que conforme el sistema sustentado con su respectivo cálculo en base a los requerimientos para poder obtener el objetivo propuesto.

En el capítulo 5 se hizo un análisis del costo y beneficio del sistema propuesto de desempolvado, sin antes primero hacer un estudio de la demanda y mercado potencial del cemento, con eso se obtiene una visión del proyecto, y desde luego respaldado con todos los análisis de costo, usando el diagrama de Gantt para planificar la ejecución de la obra en un tiempo determinado y el análisis económico se obtiene la tasa de retorno y factibilidad del proyecto.

# CAPÍTULO 1

## 1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.

### 1.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de extracción de material particulado del área de sistema de ensacado de una planta cementera y analizar su factibilidad.

### 1.2. Objetivos específicos.

- ✓ Investigar la situación del mercado actual y marco legal ambiental para las plantas cementeras.
- ✓ Describir brevemente el proceso de fabricación del cemento.
- ✓ Identificar los diferentes tipos de colectores y filtros de mangas que mejor se acoplen a este tipo de procesos y sus respectivos componentes.

- ✓ Diseñar un sistema de captación de polvo para el área de ensacado, tomando en cuenta las consideraciones necesarias de diseño para un sistema de desempolvado.
- ✓ Elaborar un cronograma de fabricación y montaje de un filtro de mangas, ductos y sus respectivos accesorios.
- ✓ Realizar un análisis económico - ambiental del proyecto a ejecutar.

### **1.3. Justificación del proyecto.**

Durante todo un proceso industrial de fabricación de cemento es inevitable la generación de polvo que se dispersa hacia el interior y exterior de la planta, siendo este muy perjudicial tanto para el medio ambiente como también para las personas que trabajan en la planta (1), por eso necesario la captación del polvo a lo largo de todo el proceso.

Para ello es necesario diseñar la disposición de un sistema de desempolvado que cumpla con todas las condiciones y características de captación del material particulado, de este modo se lograría reducir tiempos muertos y costos de mantenimiento por derrame de material, también se reduciría el escape de polvo hacia

la atmósfera evitando la contaminación del aire, cuidando la salud y seguridad de los trabajadores y visitantes (2), mejorando así la eficiencia de los equipos y el aspecto general de la empresa (3).

Es importante recalcar que el desempolvado sirve también para despresurizar en los procesos donde la recepción del material es completamente cerrado debido a que no tiene por donde desfogar, aumentando así la presión en su interior lo que puede ocasionar serios daños del equipo o un accidente laboral.

### **1.3.1. Análisis del Mercado Actual. <sup>1</sup>**

El cemento Portland es un elemento fundamental que resulta de la combinación de hierro, calcio, silicio en determinadas proporciones, y que sirve para la fabricación del hormigón. Es considerado la materia prima más importante del sector de la construcción.

El cemento en el Ecuador se elabora básicamente bajo las normas INEN 490 (ASTM C-599) y la INEN 2380 (ASTM C-

---

<sup>1</sup> **FUENTE:** ALEMAN, Francisco. *Análisis y Evolución de los Costos de los Principales Insumos del Sector de la Construcción en el Ecuador en el Período 2004 –2011*; Ecuador; 2012; p 31.

1157), bajo las denominaciones de Cemento Portland Tipo 1P y Cemento para uso general Tipo GU. Ambos tipos de cemento contienen adición puzolánica y difieren únicamente por el enfoque de la norma aplicada.

Las empresas que actualmente participan en el mercado ecuatoriano de fabricación de cemento son las siguientes:

- ✓ Holcim Ecuador S.A.: en Guayaquil.
- ✓ Lafarge Cementos S.A.: en Otavalo.
- ✓ Industrias Guapán S.A.: en Azogues.
- ✓ Cemento Chimborazo C.A.: en Riobamba.

Tomando la información del Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón hasta el año 2010, el mercado ecuatoriano por provincias y por regiones, muestra una gran concentración en las regiones de Costa (43.55%) y Sierra (50.98%), y específicamente en las provincias de Guayas (22.59%) y de Pichincha (19.86%), las cuales representan el 42.45% del total país. Les siguen en importancia las provincias de Manabí (8.25%) y Azuay (7.22%), totalizando entre estas cuatro provincias el 57.92% del total país.

Según el Informe sobre Mercado Mundial de Cemento a nivel mundial, la estructura de mercado para el año 2006, incluye a las siguientes empresas productoras con sus respectivos porcentajes de participación de mercado (Tabla 1):

**TABLA 1**  
**ESTRUCTURA DE MERCADO DE CEMENTO A NIVEL**  
**MUNDIAL. AÑO 2006**

EMPRESA	Ventas netas (Millones de dólares)	PARTICIPACIÓN (%)
Cemex	23.357	36,62%
Lafarge	21.248	33,32%
Holcim	19.175	30,06%
Otros	-----	-----
<b>Total</b>	<b>63.780</b>	<b>100%</b>

En resumen, actualmente las empresas cementeras se encuentran, gracias al mercado competitivo, en constante renovación y mejoras de sus productos; incrementando el énfasis en el proceso de producción, llevando de la mano aspectos de medio ambiente, calidad de trabajo, producción en masa y seguridad laboral.

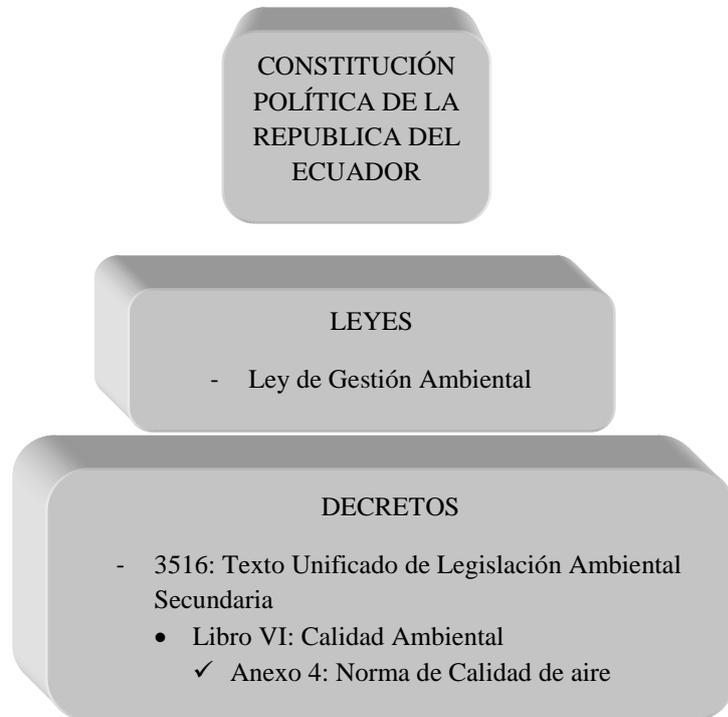
Son estos los motivos que llevan a analizar las situaciones de una de las áreas de una empresa que fabrica Cemento en cantidades industriales, analizando las debilidades que se presentan en ella, poniendo en relevancia el área de ensacado que es el objetivo de este proyecto.

#### **1.4. Marco Legal Ambiental.**

La preocupación por el cuidado y protección del medio ambiente ha generado un cambio de actitud en las actividades desarrolladas de las empresas con el propósito de cumplir las normas y reglamentación vigente. En este sentido, la implementación de nuevos proyectos compromete a las empresas conocer el marco legal que aplica y deben cumplir para evitar o minimizar los impactos ambientales que puedan ocasionar contaminación, de esta manera proteger el medio ambiente.

A continuación se describirán los lineamientos dentro de los cuales estará enmarcado el proyecto "Análisis de factibilidad para la implementación del diseño de un sistema de extracción de material particulado del área de sistema de ensacado de una planta

cementera”. Para efecto del mismo, se ha considerado los documentos (Figura 1.1).



**FIGURA 1.1. ESQUEMA DE LOS LINEAMIENTOS EN QUE SE RIGE EL PROYECTO.<sup>2</sup>**

De acuerdo al Constitución Política de la República del Ecuador<sup>3</sup> están obligados a garantizar el derecho a vivir en un ambiente sano libre de contaminación, rigiéndose en los artículos de las leyes y los decretos para precautelar la vida humana, la flora, la fauna y los recursos naturales, estableciendo límites máximos permisibles de contaminantes en el aire a nivel del suelo.

<sup>2</sup> FUENTE: El Autor

<sup>3</sup> FUENTE: LEY DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Anexo 1.

Para el proyecto en mención aplica la contaminación del aire ambiente por material particulado debido al polvo que se generará en el sistema de extracción (Tabla 2).

**TABLA 2**  
**CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES COMUNES QUE**  
**DEFINEN LOS NIVELES DE ALERTA, DE ALARMA Y DE**  
**EMERGENCIA EN LA CALIDAD DEL AIRE<sup>4</sup>**

Parámetros	Unidad	Límites máximos permisibles $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		1 año	1 hora	8 horas	24 horas
Material Particulado PM <sub>2,5</sub>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	15	(b)	(b)	65
Material Particulado PM <sub>10</sub>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	(b)	(b)	150

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

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

**Material particulado menor a 2.5 micrones (PM<sub>2,5</sub>).**- Se ha establecido que el promedio aritmético de la concentración de PM<sub>2,5</sub> de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince

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

microgramos por metro cúbico ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder sesenta y cinco microgramos por metro cúbico ( $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces al año.

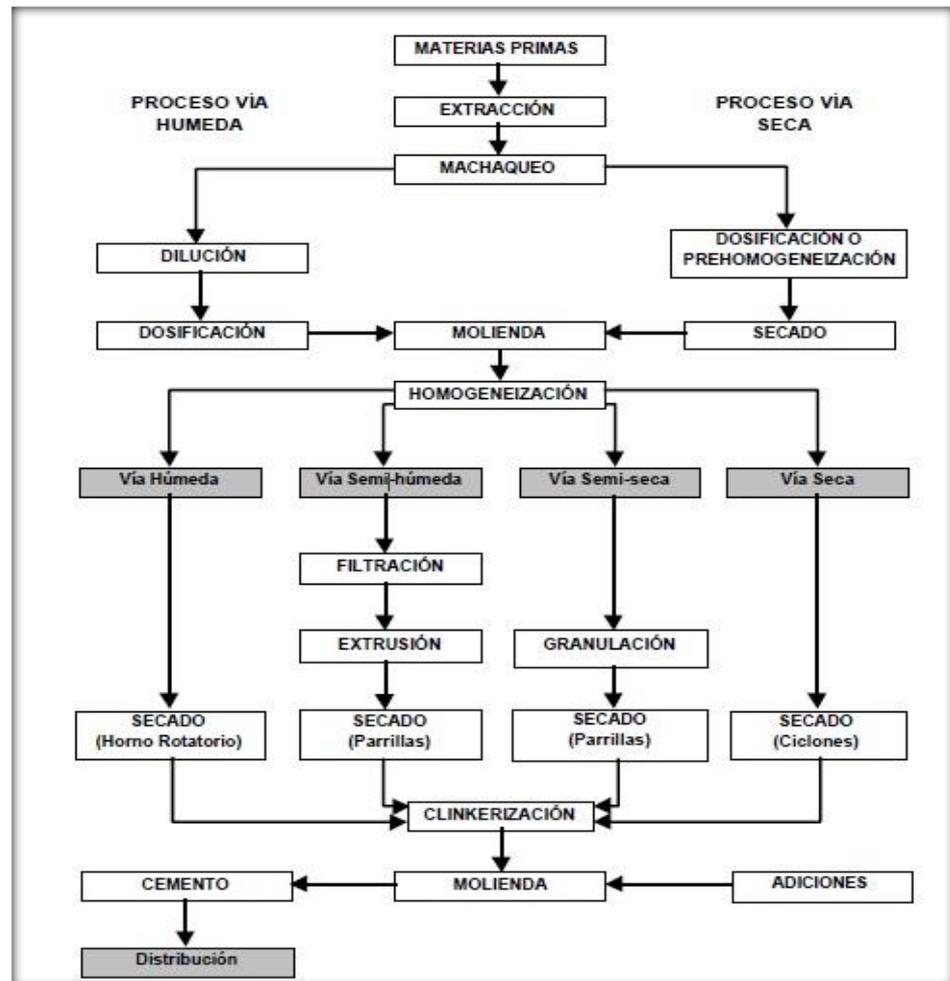
**Material particulado menor a 10 micrones ( $\text{PM}_{10}$ ).**- El promedio aritmético de la concentración de  $\text{PM}_{10}$  de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ( $50 \text{ug}/\text{m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas, de todas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

# CAPÍTULO 2

## 2. PROCESO DE PRODUCCIÓN GENERAL DE UNA EMPRESA CEMENTERA.

La materia prima para la elaboración del cemento (caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso) se extrae de canteras o minas y, dependiendo de la dureza y ubicación del material, se aplican ciertos sistemas de explotación y equipos. Una vez extraída la materia prima es reducida a tamaños que puedan ser procesados por los molinos de crudo.

La etapa de homogeneización puede ser por vía húmeda o por vía seca, dependiendo de si se usan corrientes de aire o agua para mezclar los materiales (Figura 2.1).



**FIGURA 2.1. FLUJOGRAMA DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO.**<sup>49</sup>

En el proceso húmedo la mezcla de materia prima es bombeada a balsas de homogeneización y de allí hasta los hornos en donde se produce el clinker a temperaturas superiores a los 1500 °C. En el proceso seco, la materia prima es homogeneizada en patios de

<sup>49</sup> FUENTE: <http://cimento.ind.com.bo>

materia prima con el uso de maquinarias especiales. En este proceso el control químico es más eficiente y el consumo de energía es menor, ya que al no tener que eliminar el agua añadida con el objeto de mezclar los materiales, los hornos son más cortos y el clinker requiere menos tiempo sometido a las altas temperaturas. El clinker obtenido, independientemente del proceso utilizado en la etapa de homogenización, es luego molido con pequeñas cantidades de yeso para finalmente obtener cemento (Figura 2.2).

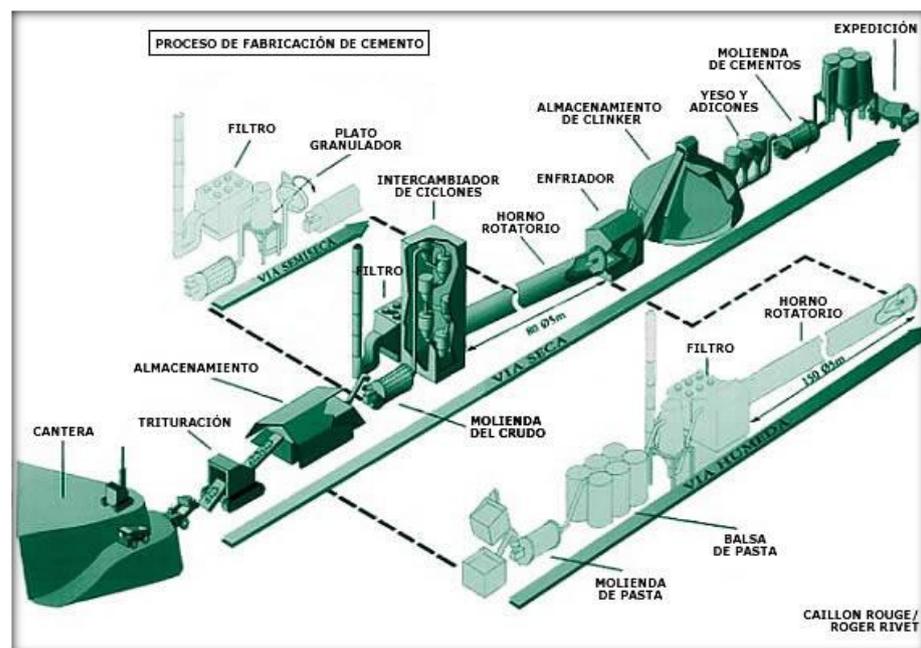


FIGURA 2.2. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO.<sup>50</sup>

<sup>50</sup> FUENTE: <http://www.cementosdeandalucia.org>

De manera muy general se puede dividir al proceso de fabricación de cemento en 6 partes indicadas a continuación:

- ✓ Obtención de Materias Primas.
- ✓ Trituración de Materia Prima
- ✓ Molienda de crudo.
- ✓ Fabricación de Clinker.
- ✓ Molienda de Cemento.
- ✓ Envase y Despacho.

### **2.1. Obtención de Materias Primas.**

El proceso de fabricación del cemento comienza con la extracción de materias primas, la caliza, arcilla amarilla, arcilla roja, fluorita, limolita, yeso, puzolana, son extraídas por medio de perforaciones y voladuras antes de ser transportadas al punto de trituración o almacenaje directamente dependiendo del tamaño del grano deseado para las moliendas de crudo o de cemento (Figura 2.3).



**FIGURA 2.3. OBTENCIÓN DE MATERIAS PRIMAS.**<sup>51</sup>

La extracción de materias primas incluye la determinación de la cantidad requerida de la materia prima, los factores ambientales, la perforación (en este punto entra en juego la calidad de la materia prima) y la voladura de un frente de la cantera. Lo explicado se resume en la (Figura 2.4).



**FIGURA 2.4. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MATERIAS PRIMAS.**<sup>52</sup>

<sup>51</sup> FUENTE: <http://sismarybabilonia.blogspot.com/>

## 2.2. Trituración de Materia Prima.

En la trituración de materias primas el material que ingresa debe ser reducido de tamaño para su posterior proceso. La tecnología de la trituración está gobernada por leyes físicas que integran masa, velocidad, energía cinética y gravedad; en general el número de etapas de trituración requeridas es determinado por el rango de reducción deseado y la abrasividad de la piedra. Para lograr este rango de reducción usualmente se necesitan dos o más fases de trituración y el tipo de trituradora indicada en la (Figura 2.5), depende de factores como abrasividad, pegajosidad, producción (ton/h), tamaño de la alimentación y consumo de energía.

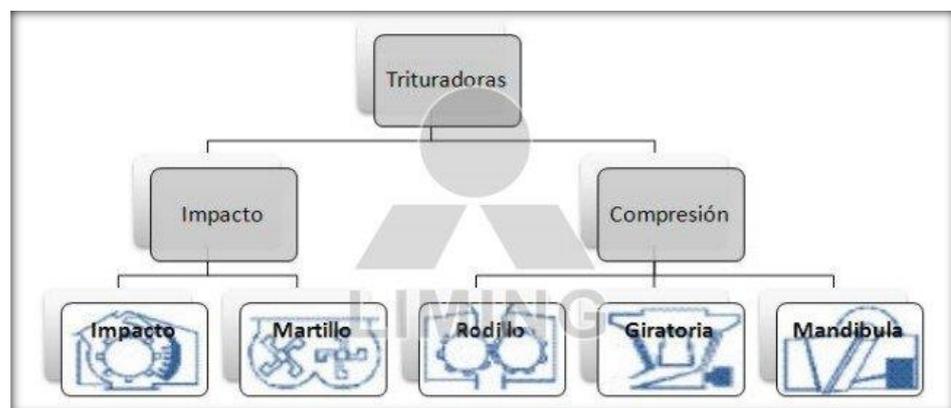


FIGURA 2.5. TIPOS DE TRITURADORAS<sup>53</sup>

<sup>52</sup> FUENTE: <http://www.chancadoras.org>

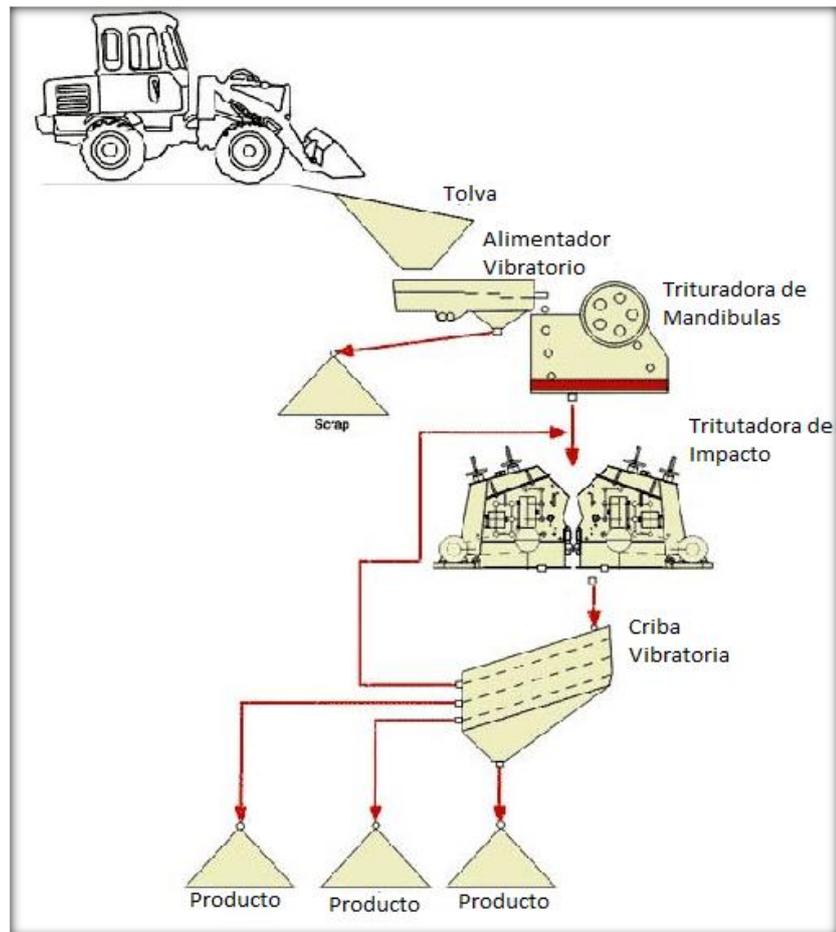
<sup>53</sup> FUENTE: <http://www.chancadoras.org>

La trituradora de impacto indicada en la figura 2.4, es la que mejor se adapta a las necesidades donde la piedra entra a un tamaño de 30 mm aproximadamente y se recircula en varias fracciones, es decir a lo que se triture, se va a encontrar un chorro variable, lo que queda finalmente es piedra de 2,4 mm.

El material resultante de la voladura es transportado en camiones para su trituración, los mismos que son cargados mediante palas o cargadores frontales de gran capacidad.

Las materias primas naturales son sometidas a una primera trituración, bien en cantera o a su llegada a fábrica de cemento donde se descargan para su almacenamiento.

La trituración de la roca, se realiza en dos etapas, inicialmente se procesa en una chancadora primaria, del tipo cono que puede reducirla de un tamaño máximo de 1.5 m hasta los 25 cm. El material se deposita en un galpón de almacenamiento. Seguidamente, luego de verificar su composición química, pasa a la trituración secundaria, reduciéndose su tamaño a 2 mm aproximadamente (Figura 2.6).



**FIGURA 2.6. DIAGRAMA DE TRITURACIÓN<sup>54</sup>**

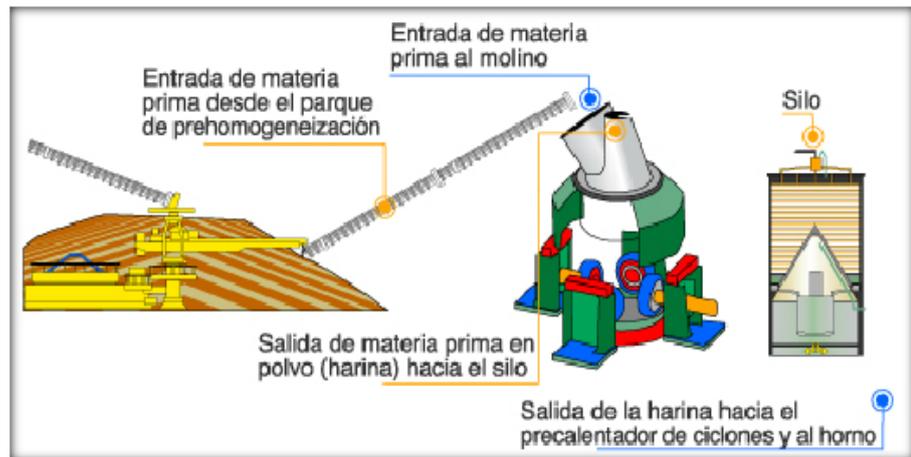
El material triturado se lleva a la planta por cintas transportadoras, depositándose en un galpón de materias primas. En algunos casos se efectúa un proceso de pre-homogenización.

<sup>54</sup> FUENTE: <http://www.trituradoradepiedra.biz>

### **2.3. Molienda de Crudo.**

En el galpón de pre homogenización, el material triturado se almacena en capas uniformes para ser posteriormente seleccionadas de forma controlada. Además permite preparar la dosificación adecuada de los distintos componentes reduciendo su variabilidad. Este material es transportado y almacenado en un silo del cual se alimenta el molino de crudo.

Posteriormente, estos materiales se muelen en molinos verticales o de bolas para reducir su tamaño y favorecer su cocción en el horno. En el molino vertical se tritura el material a través de la presión que ejercen sus rodillos sobre una mesa giratoria. A partir de ahí, la materia prima (harina o crudo) es transportada mediante un elevador, para almacenarla en un silo de almacenamiento de crudo (Figura 2.7).



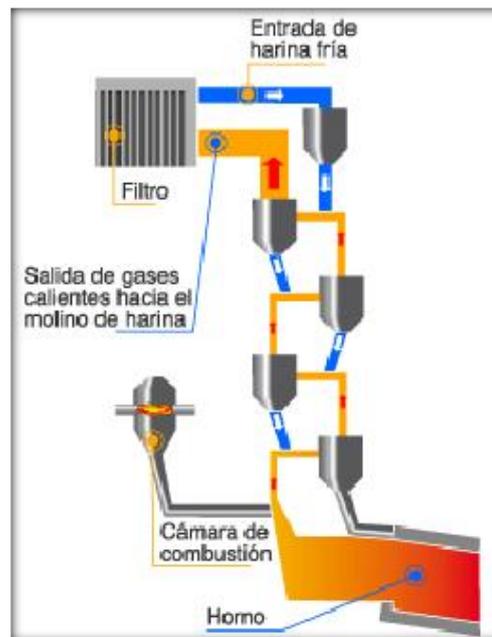
**FIGURA 2.7. HOMOGENIZACIÓN Y MOLIENDA DE CRUDO.**<sup>55</sup>

En función de cómo se procesa el material antes de su entrada en el horno de clinker, se distinguen cuatro tipos de procesos de fabricación: vía seca, vía semi-seca, vía semi-húmeda o vía húmeda.

En la actualidad, la mayoría de las cementeras utilizan la vía seca. La alimentación al horno se realiza a través del Precalentador de ciclones, que calienta la materia prima para facilitar su cocción. La harina o crudo (materia prima molida) se introduce por la parte superior de la torre y va descendiendo por ella. Mientras tanto, los gases provenientes del horno, que están a altas temperaturas,

<sup>55</sup> FUENTE: <http://www.ieca.es>

ascienden a contracorriente, precalentando así el crudo que alcanza los 1000 °C antes de entrar al horno (Figura 2.8).



**FIGURA 2.8. PRECALENTADOR DE CICLONES.**<sup>56</sup>

#### 2.4. Fabricación de Clinker.

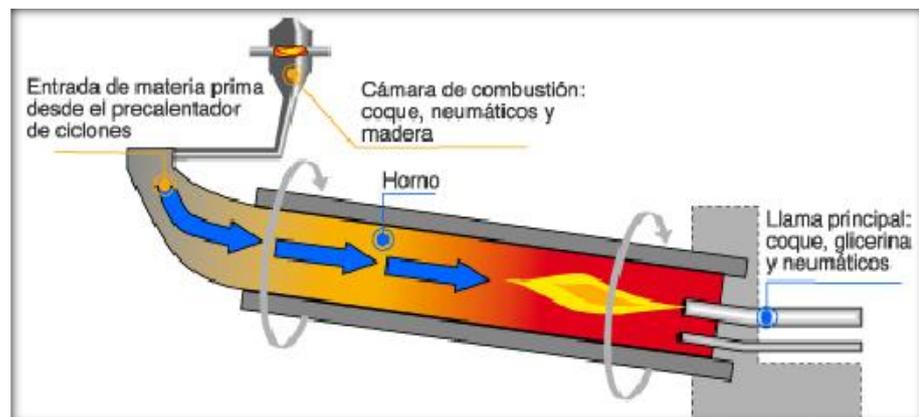
Luego de que el crudo pasa por el Precalentador de ciclones, ingresa al horno de clinker. Tubo cilíndrico de 4,6 metros de diámetro, 75 metros de largo y una inclinación del 3%.

A medida que la harina va avanzando en el interior del horno, mientras éste rota la temperatura va aumentando hasta alcanzar los

<sup>56</sup> FUENTE: <http://www.ieca.es>

1500°C. A esta temperatura se producen complejas reacciones químicas que dan lugar al clinker (bolas de materia fundida).

Para alcanzar las temperaturas necesarias para la cocción de las materias primas y la producción del clinker, el horno cuenta con una llama principal que arde a 2000 °C. En algunos casos, también hay una llama secundaria situada en la cámara de combustión, que se encuentra en la torre del Precalentador. Estas llamas se alimentan con combustibles tradicionales, como el carbón o el coque de petróleo, o alternativos como los neumáticos o los lodos de depuradora, entre otros (Figura 2.9).



**FIGURA 2.9. FABRICACIÓN DE CLINKER - HORNO.57**

<sup>57</sup> FUENTE: <http://www.ieca.es>

El proceso químico que se lleva a cabo en el sistema del horno en donde el material de alimentación de entrada se convierte en clinker se lo puede dividir en 5 pasos: secado, precalentamiento, calcinación, sinterización y enfriamiento (Tabla 2.1).

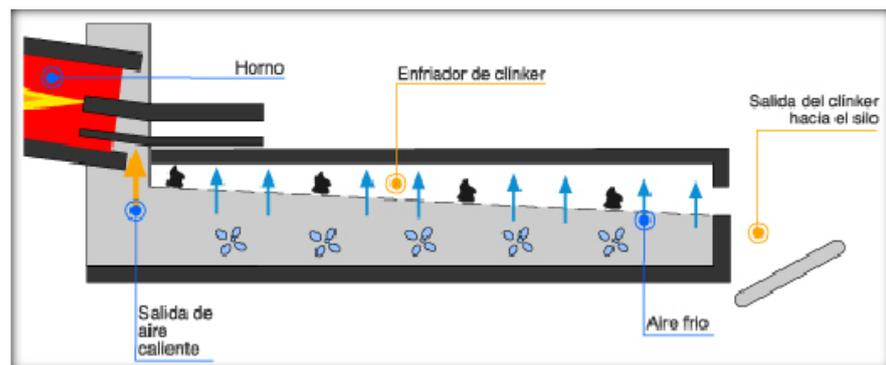
**TABLA 3**  
**REACCIONES EN LA FABRICACIÓN DEL CLINKER.<sup>58</sup>**

Rango de temp. (°C)	Tipo de reacción
Calentamiento 20 - 100	Evaporación del agua libre
100 - 300	Perdida del agua absorbida físicamente
400 - 900	Eliminación del H <sub>2</sub> O estructural (H <sub>2</sub> O y grupos OH) de los minerales de arcilla
500	Cambio estructural en los minerales silicatos
600 - 900	Disociación de los carbonatos (CO <sub>2</sub> es liberado).
800	Formación de belita, productos intermedios, aluminatos y ferritas
1250	Formación de la fase líquida (aluminatos y ferritas)
~1450	Reacciones finales y re cristalización de alitas y belitas
Enfriamiento 1300-1240	Cristalización de la fase líquida, principalmente en aluminatos y ferritas

A la salida del horno, el clinker se introduce en la enfriadora, que inyecta aire frío del exterior para reducir su temperatura de los 1400 °C a los 100 °C, luego de que llega a esta temperatura se transporta

<sup>58</sup> FUENTE: <http://www.ieca.es>

por bandas hasta el silo de almacenamiento de clinker. El aire caliente generado por este dispositivo se introduce nuevamente en el horno para favorecer la combustión, mejora



**FIGURA 2.10. Fabricación de Clinker - Enfriadora.**<sup>59</sup>

## 2.5. Molienda de Cemento.

Una vez obtenido, el clinker se mezcla con yeso y aditivos, en proporciones adecuadas, dentro de un molino de cemento. En su interior los materiales se muelen, se mezclan y homogenizan.

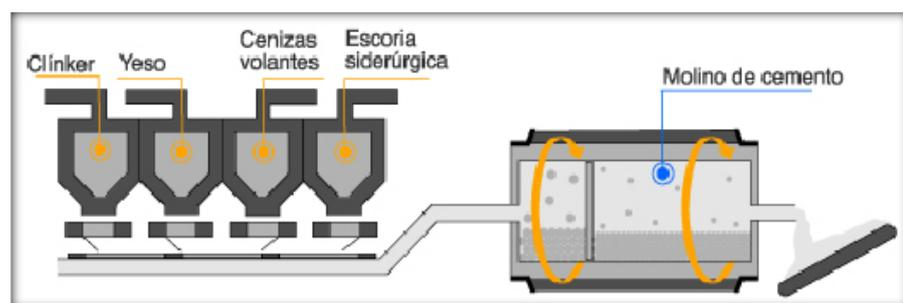
Los molinos pueden ser de rodillos (horizontales y verticales) y de bolas. Este último consiste en un gran tubo que tiene dos recámaras separadas por un tabique y en cuyo interior hay bolas metálicas de diferentes tamaños (desde 90mm. a 10mm. de

<sup>59</sup> FUENTE: <http://www.ieca.es>

diámetro). Los diferentes componentes del cemento llegan al molino a través de básculas, la primera cámara “rompe” el clinker, la segunda le da finura.

Gracias a la rotación del molino, las bolas colisionan entre sí, triturando el clinker y las adiciones hasta lograr un polvo fino y homogéneo: el cemento el cual sale del molino aspirado por un ventilador.

Las distintas calidades del cemento se obtienen con la adición de materiales como escorias de alto horno, humo de sílice, puzolanas naturales, cenizas volantes y caliza, que le permiten alcanzar determinadas características para su uso que se establecen en la reglamentación vigente (Figura 2.11).

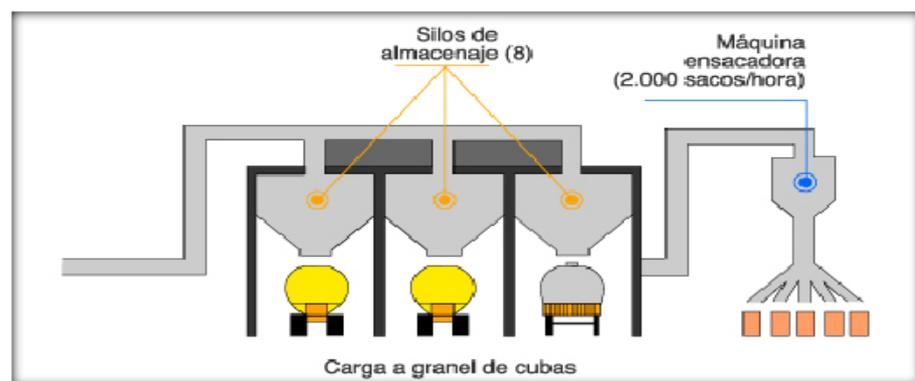


**FIGURA 2.11. MOLIENDA DE CEMENTO.<sup>60</sup>**

<sup>60</sup> FUENTE: <http://www.ieca.es>

## 2.6. Envase y Despacho.

Para el envase y despacho de cemento existen máquinas envasadoras automáticas con sistemas aplicadores automáticos también, obteniendo un rendimiento mayor y un ambiente libre de polvo. El cemento es despachado desde la planta ya sea en sacos de papel o al granel. Desde los silos, el cemento es extraído neumática y mecánicamente por aerodeslizadores y por elevadores para ser llevados a una tolva; luego pasarán por una zaranda para la eliminación de cualquier objeto no deseado o tamaño no deseado del grano, así el cemento es ensacado y todo el polvo generado va hacia los filtros. Los sacos son transportados por bandas hacia las paletizadoras automáticas y montacargas llevan los pallets de sacos de cemento a su lugar de almacenamiento (Figura 2.12).



**FIGURA 2.12. ENVASE Y DESPACHO.**<sup>61</sup>

<sup>61</sup> FUENTE: <http://www.ieca.es>

# CAPÍTULO 3

## 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DESEMPOLVADO EN PLANTAS CEMENTERAS.

### 3.1. Importancia de un Sistema de Desempolvado.<sup>62</sup>

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

---

<sup>62</sup> FUENTE: CECALA, Andrew B. *Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing*; Center for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research; Spokane WA; 2012; p 7.

las áreas de los mecanismos de limpieza y en la tecnología en los materiales de los filtros.

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

Los sistemas de captura de polvo son generados por diversos procesos, tales como trituración, molienda, cribado, secado, ensacado, etc., y luego transportar el polvo a través de esta red de conductos de recogida de polvo a un dispositivo de filtración. Al capturar el polvo, se impide que sea liberada en la planta y la contaminación de la atmósfera de respiración de los trabajadores.

La opción de volver a introducir el material capturado de nuevo en el proceso de producción, aumenta el rendimiento de los equipos, por

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

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

### **3.2. Tipos de Colectores de Polvo.<sup>63</sup>**

Los dispositivos de limpieza de aire usados en la industria de minerales se utilizan para limpiar corrientes de aire de ventilación de

---

<sup>63</sup> **FUENTE:** CECALA, Andrew B. *Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing*; Center for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research; Spokane WA; 2012; p 28.

la materia en partículas perjudiciales. La elección de filtro de aire para cualquier instalación particular dependerá de lo siguiente:

- ✓ Concentraciones de polvo y las características del polvo,
- ✓ Tamaño de partícula,
- ✓ La eficiencia de eliminación de partículas requerido,
- ✓ Temperatura de flujo de aire, contenido de humedad, y
- ✓ Métodos de eliminación.

Las principales características de polvo que afectan el proceso de recolección son los polvos abrasivos, explosivos, viscosos o pegajosos. La forma de la partícula de polvo también es importante debido a que se aglomeran. Para efectuar una recogida eficiente, se utiliza tela o manga, pero no es la única opción. Los colectores de polvo se pueden clasificar en 4 grupos que se definen a continuación:

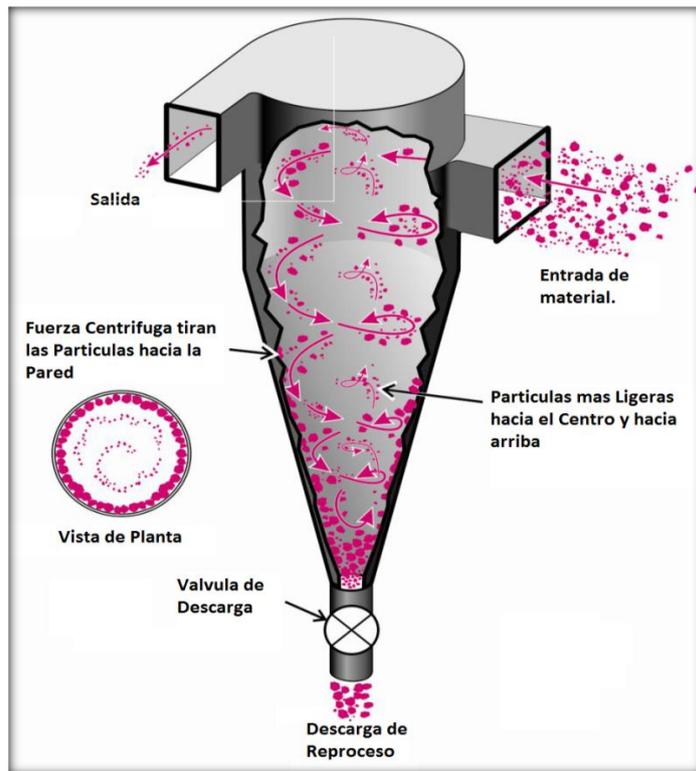
### **3.2.1. Por su principio de operación.**

#### **Ciclones:**

Los ciclones son un dispositivo de recogida de polvo que separa partículas desde el aire por la fuerza centrífuga.

Forzando la corriente de aire entrante a girar en un vórtice. A medida que la corriente de aire se ve obligado a cambiar de dirección, la inercia de las partículas hace que se continúe en la dirección original y a ser separado de la corriente de aire.

Aunque, el ciclón es simple en apariencia y el funcionamiento, las interacciones dentro de un ciclón son complejas. Una manera simple de explicar la acción que tiene lugar en el interior de un ciclón es que hay dos vórtices que se crean durante el funcionamiento. Los principales vórtices espirales descendentes y lleva las partículas más gruesas. Un vórtice interior, creado cerca de la parte inferior del ciclón, espirales hacia arriba y lleva las partículas de polvo más finas (Figura 3.1).



**FIGURA 3.1. CICLÓN<sup>64</sup>**

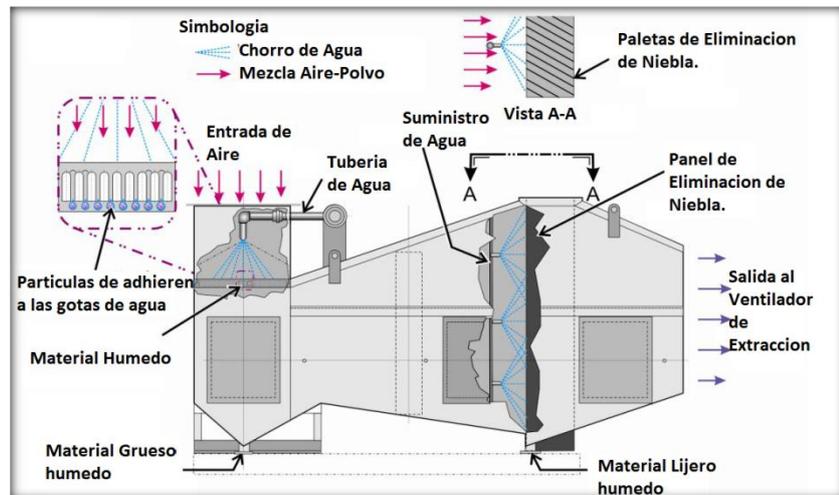
Los ciclones son dispositivos rentables y de bajo mantenimiento, y pueden manejar altas temperaturas. También reducen la carga en el colector primario y permiten la recuperación de producto seco. Sin embargo, es difícil predecir el rendimiento de los ciclones y que plantean retos particulares de diseño.

<sup>64</sup> **FUENTE:** CECALA, Andrew B. *Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing*; Center for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research; Spokane WA; 2012; p 30.

Estos tienen bajas eficiencias en la eliminación de partículas finas menores de 10  $\mu\text{m}$ . Se suelen utilizar como un filtro previo para eliminar las partículas más gruesas que podrían dañar las bolsas en los colectores de tela o colectores húmedos. Las pérdidas de carga varían de 3 pulgadas columna de agua para los coleccionistas de baja eficiencia inerciales ciclones y hasta 8 pulgadas wg para los modelos de mayor eficiencia.

### **Colectores de Procesos Húmedos:**

Los depuradores en húmedo logran la recogida de partículas mediante el empleo de agua u otro líquido como los medios de recolección. Hay muchos diseños de depurador; la mayoría de los depuradores de partículas funcionan mediante la creación de un objetivo humedecida para la recogida de partículas. Esta placa humedecida puede ser una cama de agua o una zona en la que la gotita de agua y de partículas chocan (Figura 3.2).



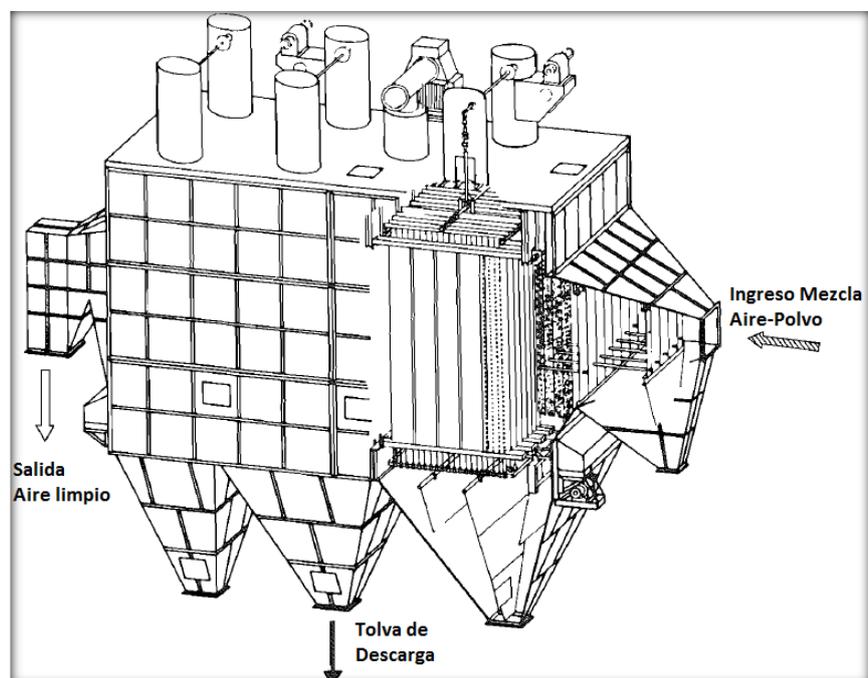
**FIGURA 3.2. CICLÓN**<sup>65</sup>

Los beneficios de los lavadores húmedos son su capacidad para llevar a cabo en diversas condiciones de humedad y temperatura, su resistencia a la corrosión química, y sus necesidades de mantenimiento bajos. Sin embargo, requieren una cantidad significativa de agua, que se deben eliminar junto con la de las partículas recogidas, todos estos factores disminuyen la eficiencia de recolección y aumentar los costos de la energía. Las partículas menores a 1mm son recolectadas con bajas eficiencias.

<sup>65</sup> **FUENTE:** DUST CONTROL HANDBOOK FOR INDUSTRIAL MINERALS MINING AND PROCESSING; Center for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research; Andrew B. Cecala; Spokane WA; 2012; p 40.

### Precipitadores Electrostáticos:

Son dispositivos de control de partículas que utilizan las fuerzas eléctricas para movilizar las partículas de la corriente de aire a las placas de colección (Figura 3.3).

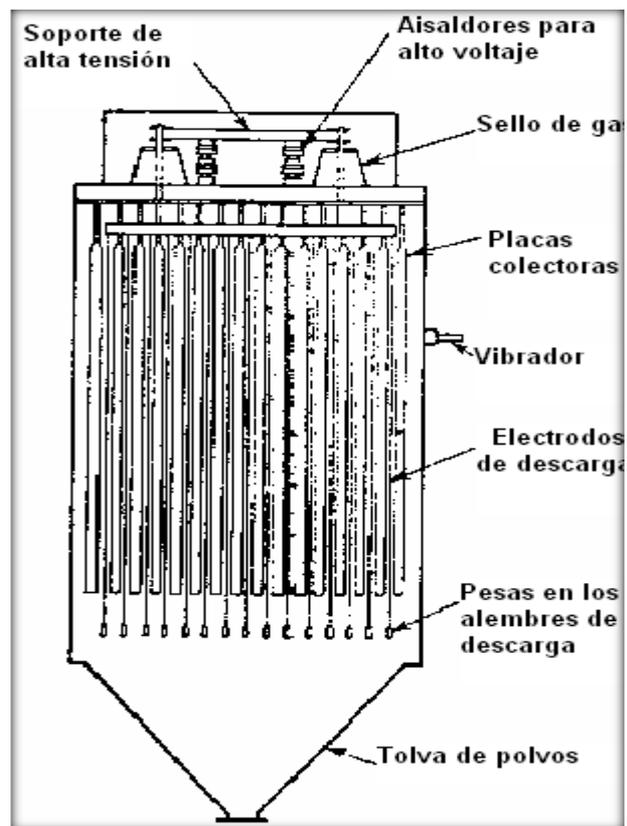


**FIGURA 3.3. PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO<sup>66</sup>**

El principio de recolección se basa en el hecho de poder impartir carga negativa a las partículas de la corriente de gas, causando con esto que se adhieran a las placas del colector que se encuentran cargadas positivamente (Figura 3.4). La

<sup>66</sup> FUENTE: KOHLHAAS, B. and 16 other authors, *Cement Engineers' Handbook*, Fourth English edition Bauverlag 1983, p. 653

diferencia de voltaje entre electrodo y placa para casi todos los diseños es de 60 – 70 mil voltios. Como en los colectores o filtro de mangas, los precipitadores son extremadamente eficientes y se usan por lo general en las industrias del cemento, electricidad, pulpa, papel y acero. El grado de limpieza esperado es hasta de 99% para partículas menores de 5 micras.



**FIGURA 3.4. PRINCIPIO ELECTROSTÁTICO<sup>67</sup>**

<sup>67</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 69

Los precipitadores electrostáticos tienen como ventaja una eficiencia de recolección muy alta para partículas gruesas y finas, con un gasto relativamente bajo de energía, recolección en seco, diseñados para operación continua, costo de operación relativamente bajo, capacidad para operar a altas presiones o al vacío y a altas temperaturas del orden de los 370 a los 540°C. Entre sus desventajas se encuentra un alto costo de capital; muy sensible a cambios en las condiciones de la corriente gaseosa, especialmente el flujo, la temperatura, la composición del gas y las partículas, se requieren espacios grandes mayores a los filtros, riesgo de explosión al recolectar partículas o tratar gases combustibles, se requieren medidas especiales de seguridad para proteger al personal de una descarga y altamente capacitado para su mantenimiento.

### **Filtros de Cartucho:**

Los colectores de cartucho capturan partículas de corriente de aire forzando a través de cartuchos en el que el medio filtrante se fabrica en una configuración plegada. (Figura 3.5). Los colectores de cartuchos se usan típicamente en

procesos industriales de menor volumen, con flujos de gases inferiores a 700 m<sup>3</sup>/h.



**FIGURA 3.5. FILTRO DE CARTUCHOS<sup>68</sup>**

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

<sup>68</sup> **FUENTE:** DUST CONTROL HANDBOOK FOR INDUSTRIAL MINERALS MINING AND PROCESSING; Center for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research; Andrew B. Cecala; Spokane WA; 2012; p 39.

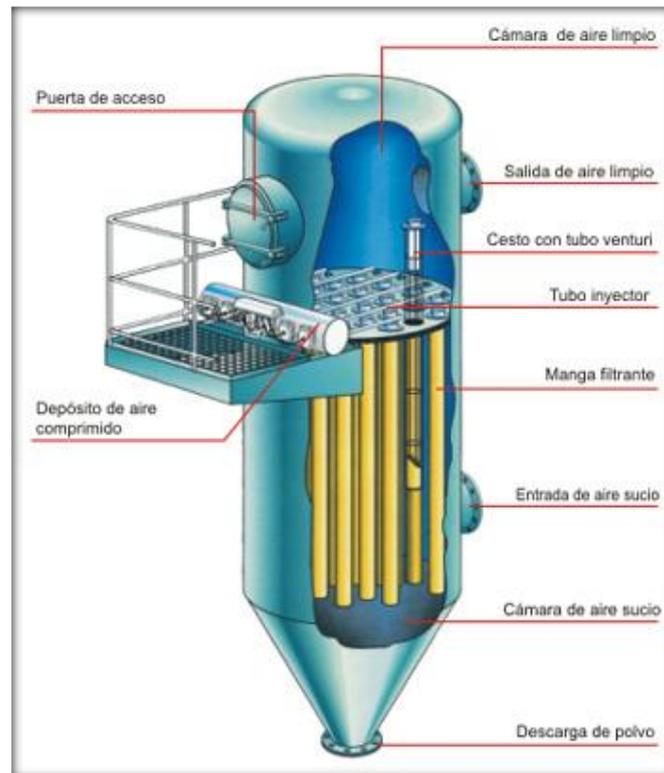
Y entre sus desventajas para temperaturas muy por encima de los 95°C (200°F), se requieren medios filtrantes especiales, los cuales pueden ser caros. Pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. Tienen requisitos de mantenimiento relativamente altos; cambio frecuente de los cartuchos. La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

### **Filtros de Mangas:**

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

costos de explotación de este tipo de unidades son razonablemente bajos.

Los filtros de mangas son estructuras metálicas cerradas en cuyo interior se disponen los genéricamente llamados elementos filtrantes textiles, que según sea el diseño del constructor, tienen formas tubulares llamados mangas, o bien formas rectangulares y se llaman sacos o bolsas (Figura 3.6). Generalmente las mangas están dispuestas en el filtro en posición vertical. El aire/gas cargado de sólidos es forzado a pasar a través del textil, sobre el que se forma una capa de polvo que separa las partículas sólidas del aire/gas.



**FIGURA 3.6. FILTRO DE MANGAS<sup>69</sup>**

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

Como ventajas estos filtros tiene eficiencia de recolección muy alta de partículas gruesas y finas; el aire de salida del filtro se puede recircular a la planta; el material recolectado

<sup>69</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/5.

se recupera seco, para su posterior procesamiento; la corrosión y oxidación de las partes no es problema; mantenimiento y reparaciones son sencillas; se dispone de diversos filtros, por lo que hay gran variedad de dimensiones para adecuarse a los requerimientos de la instalación. Operación relativamente sencilla.

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

### 3.2.2. Por su Principio Aplicación.

#### **Filtros auxiliares:**

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

En una planta cementera, generalmente se encuentran en los puntos de transferencia de las bandas transportadoras, elevadores, aerodeslizadores, ensacadoras, zarandas, etc., en donde, si bien es cierto no pararían la producción inmediatamente, pero dependiendo del problema, puede generar una cadena de eventos que pararía algún equipo principal. Dependiendo del lugar donde va a funcionar, hay que considerar la temperatura, el material que se va a filtrar, la humedad, ácidos, etc., para de esa manera, tener un buen criterio de diseño del filtro, (Figura 3.7).



**FIGURA 3.7. FILTRO AUXILIAR<sup>70</sup>**

**Filtros de proceso:**

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

La definición de filtro de proceso es que, si el colector funciona mal, la producción de la planta se detiene. Por ejemplo, en una planta de asfalto, si el filtro no funciona

---

<sup>70</sup> FUENTE: Foto Planta HOLCIM.

adecuadamente, la producción de la planta es reducida. Si el filtro deja de funcionar completamente, la planta entera deja de funcionar, (Figura 3.8).



**FIGURA 3.8. FILTRO DE PROCESO<sup>71</sup>**

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

---

<sup>71</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

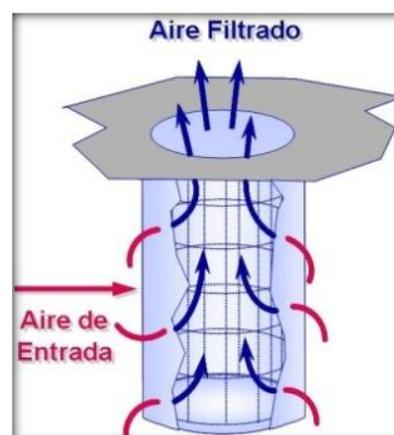
inspeccionados cada mes aproximadamente, estos son inspeccionados semanalmente de manera más minuciosa.

### 3.2.3. Por su Diseño de Filtración

#### Filtración exterior:

Son llamados así porque las partículas se recolectan en la superficie externa de la manga, y el aire limpio sale a través del interior, (Figura 3.9).

Entre los que utilizan este tipo de filtración se tiene los filtros de manga pulse-jet.



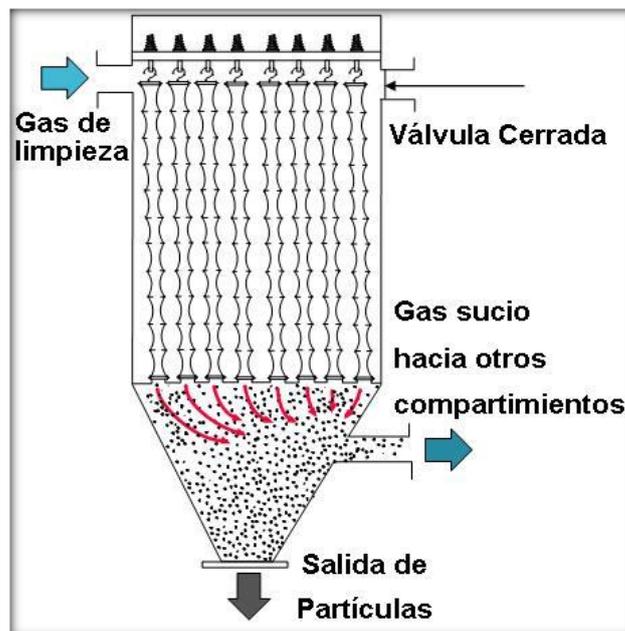
**FIGURA 3.9. FILTRADO EXTERIOR<sup>72</sup>**

<sup>72</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 80

### **Filtración interior:**

En los filtros de mangas con filtración interna (filtros de aire reverso por ejemplo), las partículas son recolectadas en el lado interior de las mangas.

El gas cargado de partículas entra a través de la parte interior del colector y es dirigido al interior de la manga, (Figura 3.10).



**FIGURA 3.10. FILTRADO INTERIOR<sup>73</sup>**

<sup>73</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 81

### 3.2.4. Por la Presión en el Sistema

#### **Presión positiva:**

Los gases contaminados son impulsados o succionados al colector por un ventilador. Cuando el gas contaminado es impulsado hacia el colector por medio de un ventilador colocado antes del colector, el colector se llama colector de presión positiva (Figura 3.11). Se pueden construir colectores de presión positiva con estructura más débil, ya que la presión positiva es contrarrestada por la presión atmosférica que actúa en la estructura o cámara del colector. Sin embargo, existen limitaciones ya que el ventilador está localizado en la parte sucia del sistema, el deterioro prematuro de sus componentes puede ocurrir con este tipo de arreglo, siendo esto muy importante cuando se trata de mantenimiento y condiciones de operación del colector.



**FIGURA 3.11. SISTEMA DE PRESIÓN POSITIVA<sup>74</sup>**

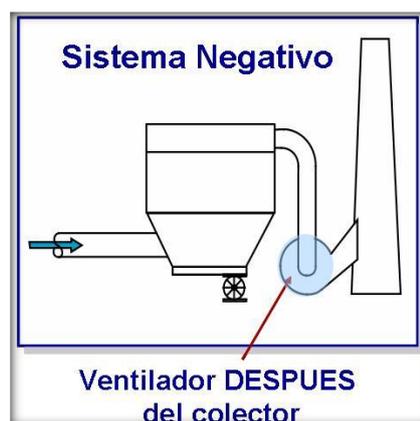
El ventilador, es un componente integral del sistema; si presenta un mal funcionamiento, puede ocasionar el paro completo de operaciones. Colectores de presión positiva son menos costosos inicialmente debido a su estructura por ser más débil, pero más caros a largo plazo. Este tipo de colectores, normalmente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

<sup>74</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.5

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

**Presión negativa:**

Cuando el ventilador se encuentra en la parte limpia del colector, el aire contaminado es succionado hacia el colector, y el sistema se llama colector de presión negativa, (Figura 3.12). La estructura de este tipo de colectores debe ser reforzada ya que la presión negativa actúa junto con la presión atmosférica.



**FIGURA 3.12. SISTEMA DE PRESIÓN NEGATIVA<sup>75</sup>**

<sup>75</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.6

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

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

casos, puede ser recirculado dependiendo de las necesidades del proceso.

En la tabla 4, se compara los cinco tipos de colectores en base a las características mencionadas previamente basándose por su principio de operación; teniendo en cuenta que los aspectos más importantes para dicha aplicación son la eficiencia, la continuidad del filtrado mientras se limpia, la capacidad del equipo, entre otros.

**TABLA 4**  
**COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE**  
**COLECTORES<sup>76</sup>**

	Pesos	Ciclones	Filtro de proceso húmedo	Precipitador electrostático	Filtro de cartucho	Filtro de mangas
Costo de inversión (alto -1, medio 0, bajo 1)	3	0	0	-1	1	1
Aplicación para filtro auxiliar (si: 1, no: 0)	7	0	0	0	1	1
Continuidad durante limpieza (si: 1, no: 0)	5	0	0	1	1	1
Volumen aire permisible (menor volumen -1, medio 0, mayor volumen +1)	4	1	0	1	0	1
Aspectos secundarios de limpieza (dificultad en	1	-1	-1	0	1	1

<sup>76</sup> FUENTE: El Autor.

limpieza -1, normal 0, facilidad +1)						
Consumo de agua (mayor consumo -1, normal 0, menor consumo +1)	2	1	-1	1	1	1
Eficiencia (menos eficiente -1, medio 0, más eficiente +1)	6	0	-1	1	1	1
Total		5	-9	17	24	28

Analizando la tabla comparativa se tiene que el filtro de mangas es el tipo de colector que más se ajusta a los requerimientos para el sistema al obtener una mayor puntuación entre ellos.

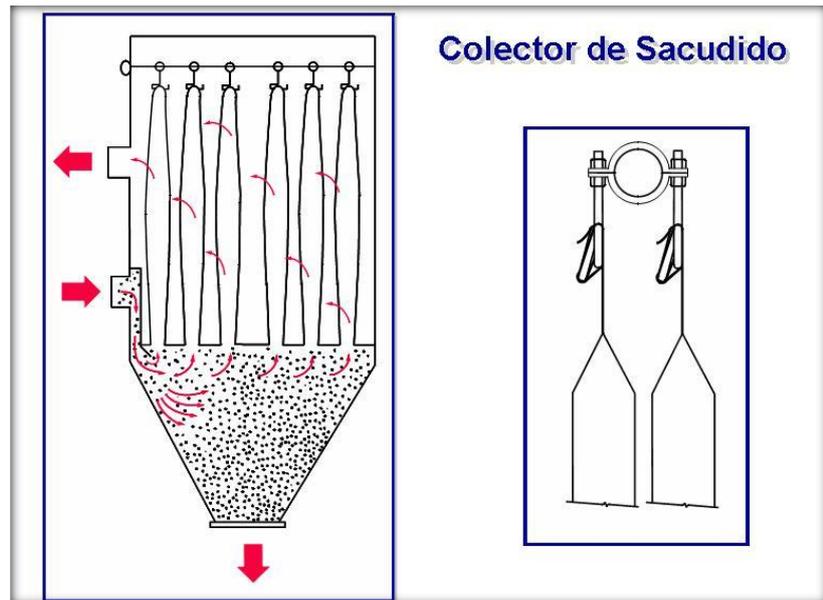
### 3.3. Tipos de Filtros de Mangas.

#### 3.3.1. Por la Presión en el Sistema

##### **Filtros de mangas de sacudido:**

Este tipo de filtros colectan el polvo en el interior. La estructura generalmente tiene dos o más compartimientos para permitir que uno de ellos pueda desconectarse para su limpieza (Figura 3.13). Las mangas filtrantes cuelgan de forma vertical en filas con la parte superior cerrada, permitiendo así que se conecten al mecanismo de sacudido

a lo ancho del colector. La parte inferior de las mangas está abierta y se conecta a la placa portamangas.



**FIGURA 3.13. FILTRO DE MANGAS DE SACUDIDO<sup>77</sup>**

En el proceso de filtración, el aire sucio entra al colector y se acumula en la parte interior de la manga manteniéndola abierta. Para comenzar el proceso de limpieza, la compuerta de entrada se cierra y se inicia el movimiento del mecanismo de sacudido creando una onda sinusoidal desde la parte superior de la manga y a lo largo de esta. La capa de polvo

<sup>77</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 70

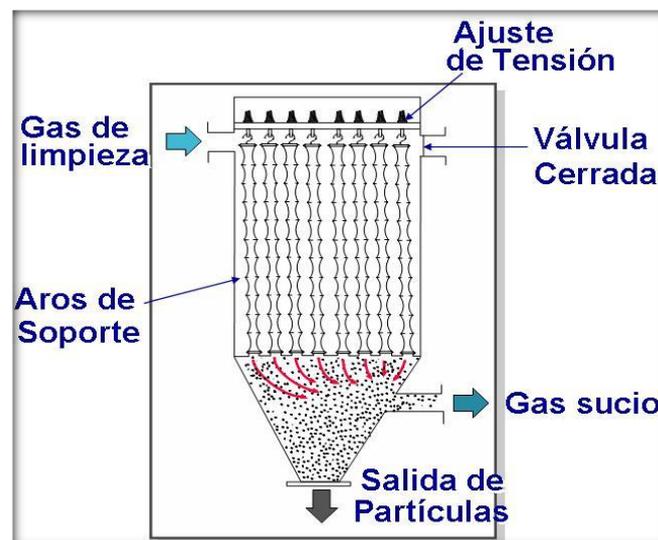
se desprende y cae en la tolva. La mayoría del polvo es recolectado en los primeros 5 a 10 segundos de limpieza.

El proceso requiere poca energía, como desventaja necesita un motor para activar el mecanismo de sacudido, la acumulación de polvo en la tolva. La acumulación dificulta el cierre de la válvula, especialmente si hay humedad y corrosión. Debido al gran número de partes móviles, los filtros de sacudido suelen necesitar más mantenimiento. Las mangas se desgastan más rápidamente y fallan más que en otros sistemas de limpieza no mecánicos.

#### **Filtros de mangas de aire reverso:**

El gas cargado de polvo entra a través de la parte inferior del filtro y es dirigido hacia las mangas filtrantes por medio de deflectores. Las partículas se recogen en el interior de las mangas que cuelgan verticalmente, mientras que el aire limpio se encuentra en el exterior de las mangas (Figura 3.14). Dichas mangas son muy grandes y tienen anillos de soporte cosidos en la parte exterior para evitar el colapso de las mismas durante el proceso de limpieza. El número de

anillos o aros de soporte se determina según la longitud de la manga y la aplicación específica. La parte superior de la manga se conecta a un tensor que tiene un gancho en el centro. Dicho tensor permite la flexión necesaria en las mangas para obtener un buen desprendimiento de la capa de polvo.



**FIGURA 3.14. FILTRO DE MANGAS DE AIRE REVERSO<sup>78</sup>**

La frecuencia de limpieza depende de la concentración de polvo a la entrada del filtro. Puede ser continua o extenderse durante varias horas. Un ciclo completo consta de la apertura

<sup>78</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 72

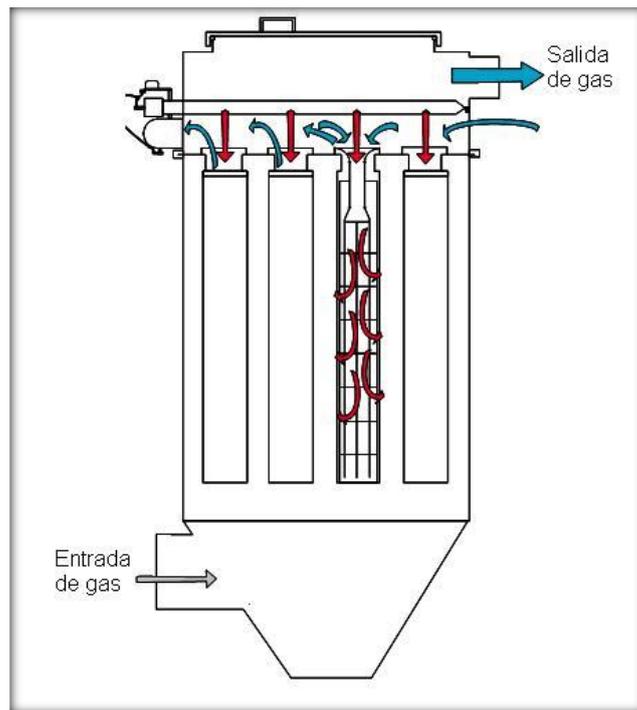
de la válvula, el cierre de la misma y el asentamiento de polvo; por lo general el ciclo de limpieza completo dura alrededor de los 30s. Cuando el compartimiento es aislado, cualquier otra lectura que no sea cero indica que la compuerta de entrada no está cerrada como debería. Todos los medidores de presión diferencial deben estar calibrados y recibir mantenimientos constantes.

### **Filtros de mangas pulse-jet:**

Este tipo de filtros, permite una mejor cantidad de aire con igual área en el colector, es decir mayor relación de aire-tela. El sistema pulse-jet funciona generalmente con una relación de aire a tela de 1.2-1.8m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/min. Esto significa que la estructura general del filtro es de menor tamaño, lo que lo hace más económico al construirse.

Las mangas filtrantes cuelgan verticalmente dentro de la unidad y se sujetan por la parte superior con abrazaderas y la parte inferior de la manga es cerrada. En estos sistemas, las mangas tienen canastillas internas de alambre. El aire sucio entra al sistema y es filtrado depositando el polvo en la superficie externa de la manga. Durante el ciclo de limpieza,

el polvo se desaloja usando un chorro de aire comprimido que se inyecta en la parte superior de las mangas filtrantes (Figura 3.15).



**FIGURA 3.15. FILTRO DE MANGAS TIPO PULSE JET<sup>79</sup>**

Este aire se proporciona a través de un tubo con boquillas que alimenta los venturis localizados en la parte superior de las bolsas. El chorro de aire a alta presión interrumpe el flujo normal de aire a través del filtro. También crea una onda que

<sup>79</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/6.

al desplazarse a lo largo de la manga hace que esta se flexione, rompiendo la capa de polvo que cae hacia la tolva.

El venturi se usa para aumentar la velocidad del chorro de aire creando un impulso grande para que pueda desplazarse a lo largo de la manga y regresar al punto de origen. El ciclo de limpieza para estos filtros debe estar diseñado para producir un impulso corto y conciso para lograr una limpieza eficaz. La duración de éste es de 0,10 a 0,15 segundos usando presiones de pulsación de 4-7bares (60-100psi). Los intervalos de ciclos de limpieza pueden variar de 1 a 30 segundos o más. La frecuencia debe adaptarse para mantener la presión diferencial entre 2 y 6 pulgadas de agua.

### **3.3.2. Por su secuencia de limpieza**

#### **Limpieza intermitente:**

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

**Limpieza continua fuera de línea:**

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

**Limpieza continúa en línea:**

Los filtros son automáticos y están en línea durante la limpieza. El proceso de filtración se interrumpe por el aire comprimido que limpia las mangas. Los filtros grandes de limpieza continua, generalmente tienen varios compartimientos para evitar tener que apagarse durante el mantenimiento.

Ahora se procede al análisis de los diferentes tipos de filtro de mangas en base a las características mencionadas por el principio de presión en el sistema, para encontrar, el tipo de filtro que mejor se ajusta a la necesidad, ver tabla 5:

**TABLA 5**  
**COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE**  
**FILTROS DE MANGAS<sup>80</sup>**

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

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

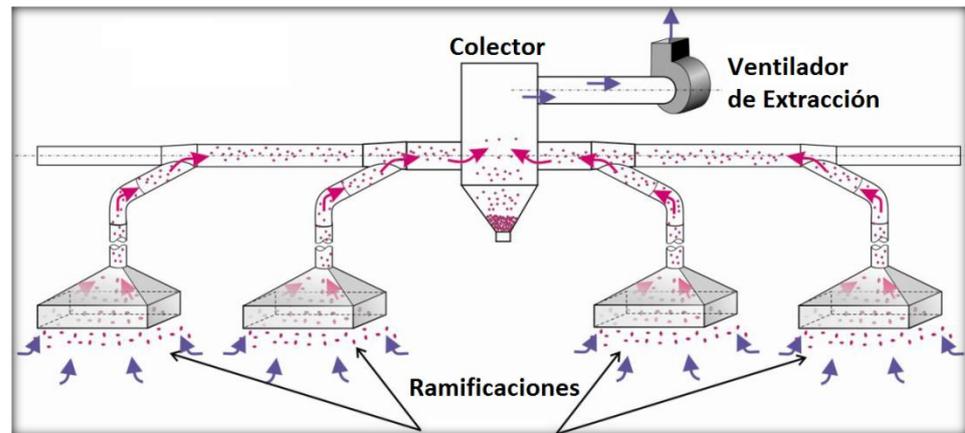
<sup>80</sup> FUENTE: El Autor.

### **3.4. Componentes de un Sistema Colector de Mangas.**

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

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

La instalación empieza con la campana de aspiración en el punto donde se desea captar el aire o gas contaminado. En cualquier sistema de ventilación, la idea de mejorar el ambiente y controlar emisión necesariamente tiene que ir de la mano con algún tipo de confinamiento para poder aumentar la velocidad del aire o gas a la entrada al sistema, (Figura 3.16).



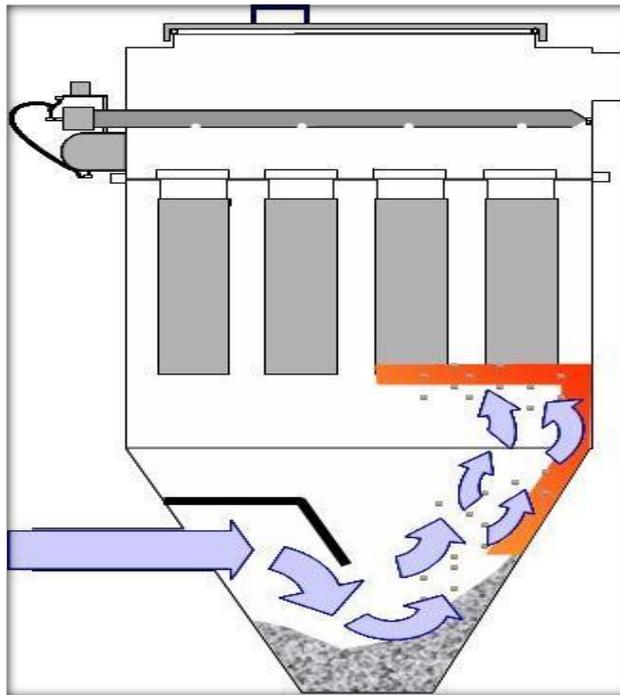
**FIGURA 3.16. DIAGRAMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN<sup>81</sup>**

A medida que el gas pasa a través de la tubería hacia el filtro, en algunos casos, es necesario proporcionar algún tipo de sistema de enfriamiento para evitar temperaturas altas. La entrada al filtro de mangas, es el lugar por donde el aire que se mueve por la tubería entra al colector. Una buena distribución del flujo de gas no necesariamente significa tener también una buena distribución del polvo, sin embargo, una buena distribución de gas va de la mano con una mejora en la distribución del polvo.

Usualmente se acostumbra a colocar una plancha deflectora a la entrada al filtro, (Figura 3.17), causando que el polvo con gas impacte contra ella precipitando las partículas grandes a la parte

<sup>81</sup> **FUENTE:** CECALA, Andrew B. *Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing*; Center for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research; Spokane WA; 2012; p 49.

inferior de la tolva, pero debido al tiro producido por el ventilador, el flujo de aire con polvo fino sigue su camino hacia las mangas pero no lo hace de manera distribuida.

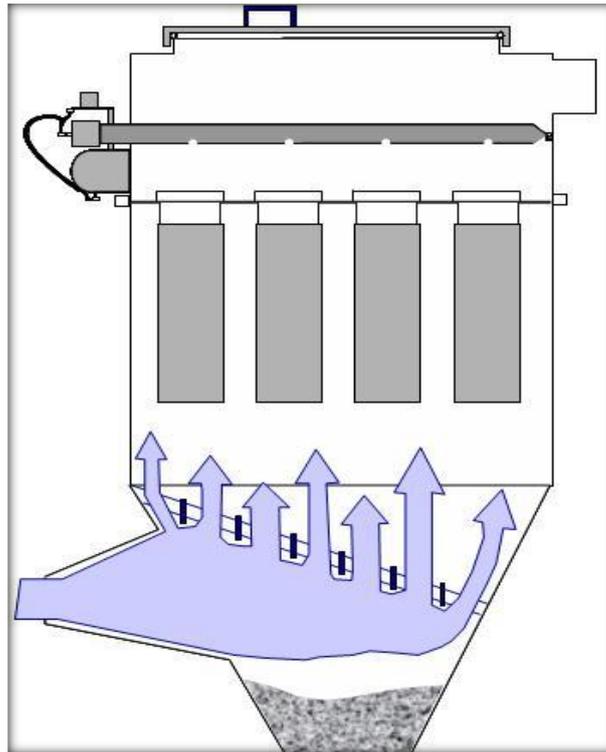


**FIGURA 3.17. DISEÑO TÍPICO EN LA ENTRADA DEL FILTRO<sup>82</sup>**

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

<sup>82</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/15

Un mejor diseño consiste en colocar deflectores de manera escalonada uniformemente, como se aprecia en la (Figura 3.18).



**FIGURA 3.18. DISEÑO MEJORADO A LA ENTRADA DEL FILTRO<sup>83</sup>**

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

<sup>83</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/15

**Ventilador:** <sup>84</sup>

Los ventiladores son una característica fundamental en el diseño de los sistemas de ventilación para el control de polvo. Se utilizan para mover el aire a través del sistema de ventilación. Proveen la energía necesaria para que el flujo logre vencer la resistencia (o caída de presión) a través de la ductería y colector.

Hay diferentes tipos de ventiladores utilizados en los sistemas de ventilación, su selección depende de sus características de funcionamiento. Varios conceptos básicos de funcionamiento de los ventiladores deben ser entendidos para poder seleccionar adecuadamente un ventilador para un sistema de ventilación.

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

***Según la presión desarrollada:***

- De baja presión: La presión total desarrollada es inferior a 100mm col H<sub>2</sub>O. (Ventiladores propiamente dichos).

---

<sup>84</sup> **FUENTE:** CECALA, Andrew B. *Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing*; Center for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research; Spokane WA; 2012; p 50.

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

*Según la dirección del flujo:*

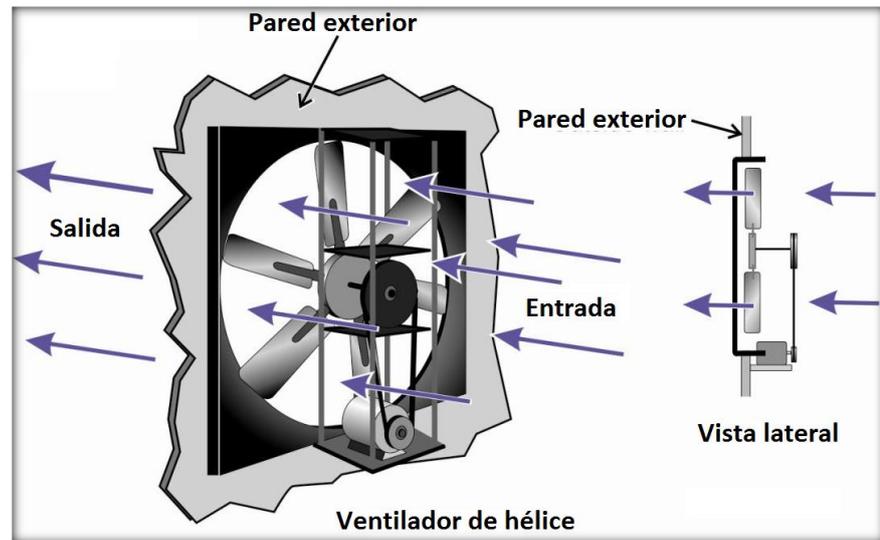
- De flujo radial (centrífugos)
- De flujo semiaxial (helico-centrífugos)
- De flujo axial

### **Ventiladores Axiales:**<sup>85</sup>

Los ventiladores axiales están compuestos básicamente de un rotor con dos o más paletas, solidario a un eje propulsor movido por un motor que impulsa aire en una trayectoria recta, con salida de flujo helicoidal, (Figura 3.19). Existen 3 tipos básicos de estos ventiladores que son: helicoidales, tubulares y turboaxiales.

---

<sup>85</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.2



**FIGURA 3.19. VENTILADOR AXIAL**

#### **Ventiladores helicoidales:**

En estos ventiladores el aire se desplaza en el sentido del eje de rotación de la hélice. La hélice tiene un núcleo al cual se fijan las palas perfiladas y dispuestas formando un ángulo dado. Si las palas no tuvieran ningún ángulo de ataque más acción tiene la hélice sobre el aire. Su composición simple lo convierte en un aparato barato en comparación con su caudal.

Las características de un ventilador helicoidal son:

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

- Curva plana.

**Ventiladores tubulares:**

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

**Ventiladores turboaxiales:**

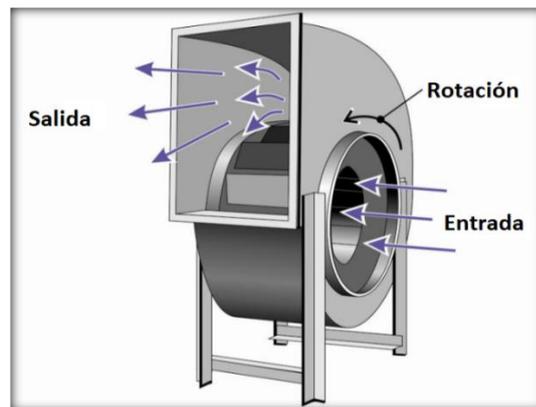
Tienen una hélice de alabes con perfil aerodinámico (ala portante) montado en una carcasa cilíndrica que normalmente dispone de aletas enderezadoras del flujo de aire en el lado de impulsión de la hélice. En comparación con los otros tipos de ventiladores axiales, éstos tienen un rendimiento superior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

Las directrices o compuertas tienen la misión de hacer desaparecer la rotación existente o adquirida por el fluido en la instalación, a la

entrada del rodete o tras su paso por el mismo. Estas directrices pueden colocarse a la entrada o a la salida del rodete, incluso las hay fijas o removibles.

### **Ventiladores Centrífugos:**<sup>86</sup>

Un ventilador centrífugo tiene una turbina compuesta por un número de aletas montadas alrededor de la manzana. El aire entra desde el lado de la turbina, gira 90°, acelera y pasa hacia las aletas del ventilador. Los ventiladores centrífugos pueden alcanzar altas presiones en el flujo de gas, por lo tanto, son los más eficaces para procesos industriales y para los sistemas de control de la contaminación, (Figura 3.20).



**FIGURA 3.20. VENTILADOR CENTRÍFUGO**

<sup>86</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.3

Las características que reúnen los ventiladores centrífugos son:

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

El uso de dámper a la entrada o salida del ventilador es frecuente; son utilizados para controlar el flujo de gas al o desde el ventilador. Los dámper en la salida imponen una resistencia al flujo que es utilizado para el control del flujo de gas; mientras que los dámper colocados a la entrada se ajustan a las diferentes condiciones del proceso de acuerdo al flujo de gas que el ventilador debe manejar, (Figura 3.21).

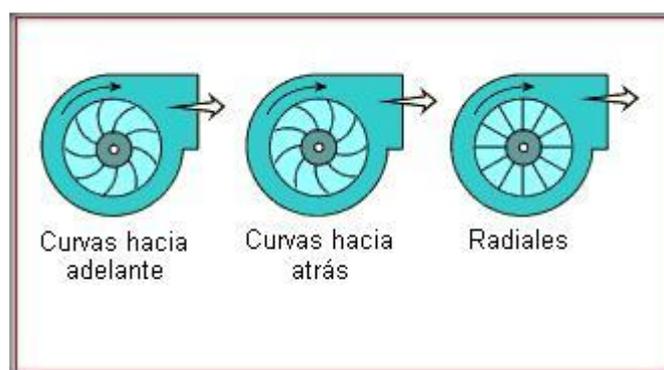


**FIGURA 3.21. DÁMPER**

### ***Tipos de turbinas en ventiladores centrífugos***<sup>87</sup>

Existen 3 tipos de turbinas:

- ✓ *Curvas hacia adelante*.- En el sentido de la rotación del ventilador. Son afectados enormemente por flujos de gas con material particulado. No son utilizados en sistemas colectores, (figura 3.22).
- ✓ *Curvas hacia atrás*.- Este tipo de ventiladores están diseñados para manejar flujos de gases con una pequeña concentración de material particulado. Son más eficientes, (Figura 3.22).
- ✓ *Radiales*.- Las aletas radiales son las que mejor desempeño tienen para flujo de gases con alta concentración de material particulado, figura (3.22).



**FIGURA 3.22. TIPOS DE TURBINAS**

<sup>87</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.3

# CAPÍTULO 4

## **4. DISEÑO DE UN SISTEMA COLECTOR EN BASE A LAS CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ENSACADO DE CEMENTO.**

Los sistemas de recolección de polvo son la técnica de control de ingeniería más empleada por las plantas de procesamiento de minerales, para controlar el polvo respirable que se encuentra a la exposición de los trabajadores. Un sistema de recolección de polvo bien integrado tiene múltiples beneficios, lo que resulta en un ambiente libre de polvo que aumenta la productividad y reutilizando producto valioso.

Es muy importante antes de revisar las razones que afectan el funcionamiento de un filtro de mangas, entender el concepto "sistema". En términos muy simples, es el equipo que se encarga del control de la contaminación ambiental formando este solo parte de un proceso, y por

lo tanto, para prever cómo diseñar o evaluar el rendimiento de este tipo de equipos es necesario considerar el proceso completo.

Los sistemas de control de polvo implican múltiples decisiones de ingeniería, incluyendo el uso eficiente del espacio disponible, la longitud de los recorridos de conducto, la facilidad de volver polvo recogido para el proceso, los requisitos eléctricos necesarios, y la selección de filtro óptimo y equipo de control. Además, las decisiones clave deben ser tomadas en base a un sistema centralizado o múltiples sistemas que son los mejores para las circunstancias.

#### **4.1. Cantidad de Aire Requerido de Acuerdo al Equipo a Desempolvar.<sup>88</sup>**

La velocidad del aire se mide en metros por segundo (m/s) y es afectado por el tamaño de la partícula que puede ser transportado por la corriente de aire. El caudal se mide en metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h), que es la cantidad de aire utilizado en el proceso de ventilación.

El rango de polvo respirable perjudicial para la salud de los trabajadores se define por las partículas que se encuentran en o por

---

<sup>88</sup> **FUENTE:** DUST CONTROL HANDBOOK FOR INDUSTRIAL MINERALS MINING AND PROCESSING; Center for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research; Andrew B. Cecala; Spokane WA; 2012; p 7.

debajo del intervalo del tamaño de 10 micras. Para poner esto en perspectiva, aproximadamente 44 micras es el tamaño micrométrico más pequeño que se puede ver con el ojo humano sin ayuda. En los sistemas colectores de polvo, los tamaños de las partículas más grandes son fáciles de obtener, a menudo con la ayuda significativa de la gravedad.

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

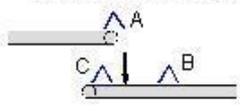
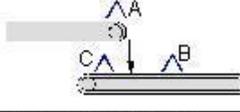
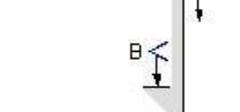
- Identificar los puntos de emisión del material particulado.
- Encerrarlo bajo una campana.
- Establecer una succión capaz de captar, arrastrar y trasladar el aire, cargado de partículas, hacia el colector de polvo y de allí para su reprocesamiento.

El sistema de desempolvado puede ser considerado para atender uno o varios puntos dentro del proceso. Para el caso del ensacado de cemento (Anexo 4) el proceso empieza desde la alimentación del elevador de cangilones llevando el material a lo más alto del edificio alimentando a la una criba vibratoria encargada de separar el material grueso o impurezas del material fino, el mismo que pasa a

la ensacadora donde se enfunda el cemento y pasando por un sistema de limpieza de fundas hasta llegar al paletizado, por equipo deberá llevar mínimo una toma de desempolvado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

La suma de los volúmenes de aire de cada uno de los puntos a desempolvar será el volumen total que el sistema manejará y el dato inicial para el diseño del colector. Para lo cual se recurrirá a la tabla 6 y tabla 1 del Anexo 5 otorgada por Holcim Group Support a través de su departamento de tecnología mecánica. Este documento forma parte del “Holcim Design Criteria” que se utiliza para trabajos de ingeniería en las plantas y que está basado en consideraciones teóricas y empíricas.

**TABLA 6**  
**CANTIDAD DE AIRE A DESEMPOLVAR SEGÚN EL EQUIPO**  
**DE ACUERDO AL HOLCIM DESIGN CRITERIA<sup>89</sup>**

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

Los equipos que necesitan ser desempolvado son:

<sup>89</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/29.

1. Elevador de Cangilones 200TPH (500mm ancho de cangilón).

$$Q = 1600 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right. = 0.44 \frac{m^3}{s}$$

2. Silo de 3000x5020x25m<sup>3</sup>.

$$Q = 500 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right. = 0.14 \frac{m^3}{s}$$

3. Tapa de Ensacadora.

$$Q = 500 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right. = 0.14 \frac{m^3}{s}$$

4. Banda transportadora 1 de 650mm.

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

5. Banda transportadora 2 de 650mm.

$$Q = 3000 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right. = 0.56 \frac{m^3}{s}$$

6. Banda de rechazo de sacos 650mm.

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

7. Destructor de sacos.

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

8. Ensacadora 200 TPH.

$$Q = 12000 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right. = 3.33 \frac{m^3}{s}$$

9. Criba 200 TPH (ancho de malla 1000mm).

$$Q = 2400 \frac{m^3}{h} \left| \frac{1h}{3600s} \right. = 0.66 \frac{m^3}{s}$$

### Medidas de flujo de aire.<sup>90</sup>

La presión en el diseño de ventilación se mide generalmente en milímetros de H<sub>2</sub>O, (milímetros de columna de agua). En un sistema de ventilación, esta presión se conoce como la **presión estática** y es generalmente creado por un ventilador. La presión estática es la diferencia entre la presión en la red de conductos y la presión atmosférica. La presión estática negativa se contrae en las paredes del conducto, mientras que la presión estática positiva se expande en las paredes del conducto.

---

<sup>90</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 42

El aire fluye, naturalmente desde una región de alta presión a otra más baja. Este movimiento se produce debido a la diferencia de presiones que existen entre estos dos puntos. La velocidad del flujo depende de la resistencia que encuentre la corriente de aire. Al igual que cualquier otra cosa que se mueve, el aire ejerce una presión contra los obstáculos que se encuentre a su paso, proporcional a su velocidad. La presión debida a la velocidad es designada como **presión dinámica**.

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

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

Despejando se puede obtener el valor de la presión dinámica. Este valor servirá de ayuda para la pérdida en los accesorios ya que se encuentran en función de la presión dinámica del sistema. Otra manera de obtener este valor es mediante la tabla de presión dinámica que utiliza diferentes velocidades (Anexo 3).

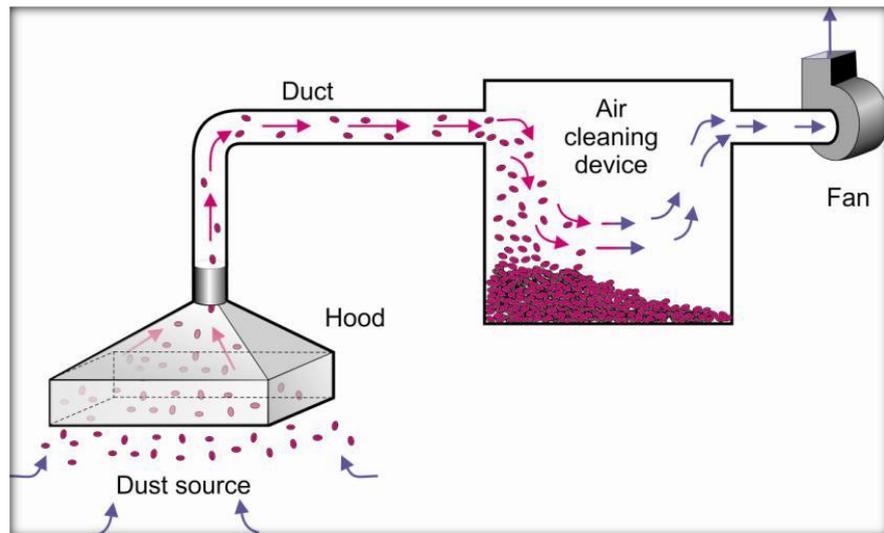
**Presión total:** La presión estática desarrollada por un ventilador es la presión que puede dar lugar al movimiento de aire en contra de una resistencia. En otras palabras, es la potencia disponible para efectuar el trabajo. En todo movimiento de aire existe una cierta presión dinámica y una cierta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

#### 4.2. Campana de Captura.<sup>91</sup>

Todos los sistemas de escape, sea simple o compleja, tienen en común el uso de campanas, conductos, y un dispositivo purificador y recolector de aire que lo lleva al ventilador de extracción (Figura 4.1).

---

<sup>91</sup> **FUENTE:** DUST CONTROL HANDBOOK FOR INDUSTRIAL MINERALS MINING AND PROCESSING; Center for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research; Andrew B. Cecala; Spokane WA; 2012; p 11.



**FIGURA 4.1. EMISIONES CAPTURADAS/FUGITIVAS**

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

Después de que se determina esta velocidad de captura, se debe calcular el volumen de salida necesario de la campana utilizando la ecuación de "DallaValle"<sup>92</sup> (Figura 4.2).

<sup>92</sup> DallaValle JM [1932]. *Velocity characteristics of hoods under suction.*

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

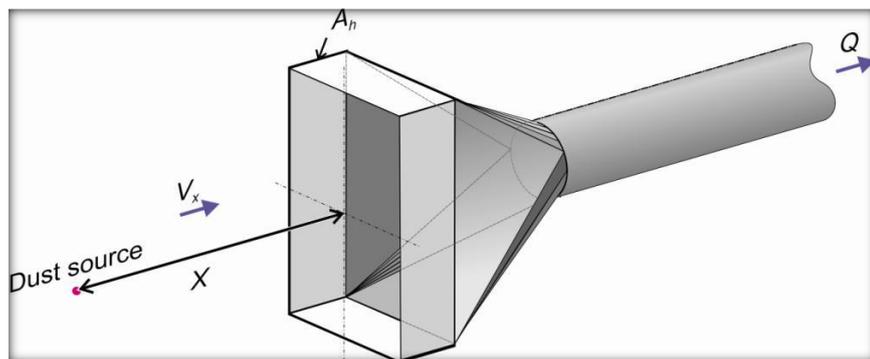
Donde:

Q = Caudal necesario en el punto de desempolvado.

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

Vh = La velocidad de captura a la distancia X

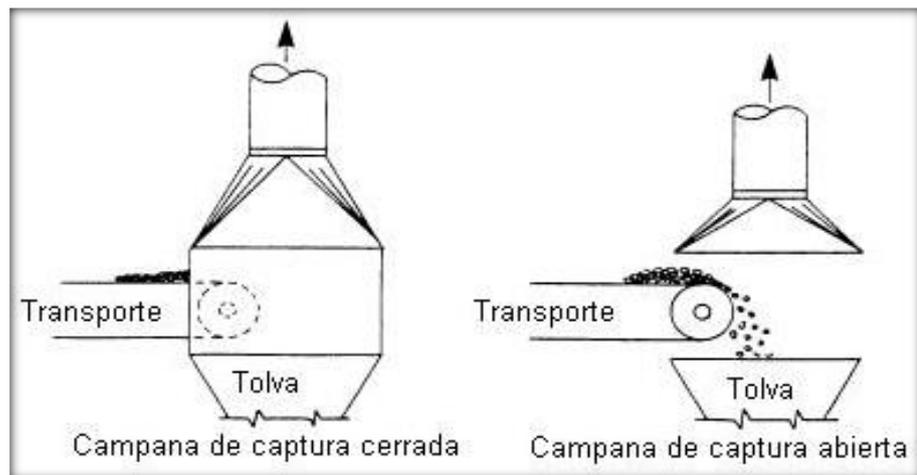
A = Área de la entrada de la campana.



**FIGURA 4.2. EMISIONES CAPTURADAS/FUGITIVAS**

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

que existen para este tipo de trabajo son lo que se muestran a continuación (Figura 4.3).



**FIGURA 4.3. TIPOS DE CAMPANAS DE CAPTURA**

La manera más eficaz para capturar el polvo es con una campana que abarca todo el proceso de la generación de polvo. Estos tipos de campanas tienen numerosas aplicaciones en toda la minería y en especial para los procesos de trituración, cribado, etc.

*Pérdidas de presión en campanas:* La velocidad de transporte<sup>93</sup> de las partículas deberá llegar a 18 m/s como mínimo, siendo ésta la velocidad promedio para polvos industriales y para el cálculo será

<sup>93</sup> **Velocidad de transporte:** Es la velocidad de aire dentro del conducto necesaria para evitar que las partículas sólidas en suspensión sedimentan y queden depositadas en el mismo.

necesario el valor de la presión dinámica (VP) que se la obtiene la despejando de la ecuación 1:

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

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

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

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

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

$$C_0 = 0,17$$

Adicionalmente, existen pérdidas por fricción por longitud de tubería, pérdida de energía asociada a turbulencia en contracciones, accesorios como uniones, válvulas, codos, derivaciones (Y pantalones) y obstrucción. Estas pérdidas pueden

ser calculadas, usando la ecuación 3, con un apropiado factor de pérdida:

$$H_f = K_f \cdot VP \text{ (Ecuación 3)}^{94}$$

Donde:

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

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

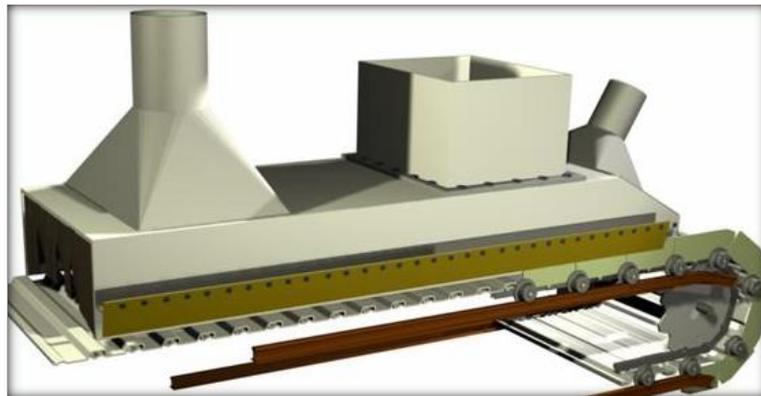
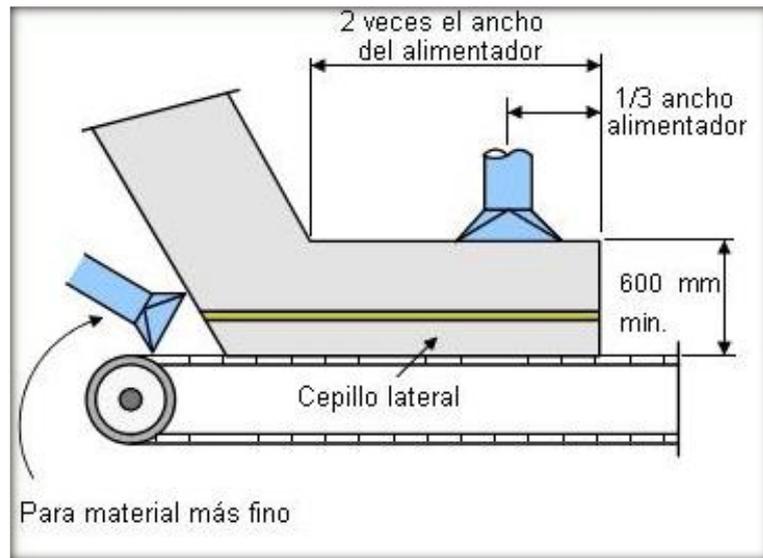
$$H_0 = 0,17 \cdot 20,22$$

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

La cantidad de campanas de captura para puntos de transferencia en sistemas de bandas transportadoras deberá ser igual a 3; el primer punto de succión en la parte superior a la caída de la primera banda, el segundo en la cola de la segunda banda (detrás del chute de alimentación) y el tercero en la parte frontal al chute de alimentación de la segunda banda (Figura 4.4).

---

<sup>94</sup> **FUENTE:** BUCHELLI, Luis, Diseño Fluidodinámico de un Sistema de Extracción de Polvo en un Ingenio Azucarero, Tesis Espol Facultad De Ingeniería En Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006



**FIGURA 4.4. CAMPANAS EN BANDAS TRANSPORTADORAS<sup>95</sup>**

En el Holcim Design Criteria se encuentra una tabla que indica las dimensiones para la construcción de las campanas en base al volumen de aire en ese punto y las velocidades de entrada y salida deseadas de las partículas a través de la campana, como se aprecia en la Anexo 6 Figura 2. La velocidad de captura utilizada es

<sup>95</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/38.

de 1.4 m/s, que se encuentra dentro del rango permisible para su aplicación.

#### 4.3. Diseños de ductos.<sup>96</sup>

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

Para el fluido es necesario realizar las siguientes asunciones:

- Se desprecian los efectos del intercambio térmico.- Si la temperatura dentro de los ductos es significativamente diferente a la del aire de los alrededores del ducto, se produciría intercambio de calor en consecuencia se tendría un cambio de temperatura del aire y por tanto se modificaría el caudal.
- Se considera que el aire es incompresible.- Si la pérdida global de presión en el sistema es superior a 500 mmdca la densidad del aire cambiará aproximadamente el 5% y el caudal también se modificará. Todos los fluidos son

---

<sup>96</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

compresibles en cierto grado, pero un análisis incompresible es satisfactorio para gases y vapores con velocidades alrededor de los 18m/s.

- Se supone que el aire es seco.- La presencia del vapor de agua reduce la densidad del aire. Por lo que debe efectuarse una corrección para tener en cuenta este efecto, se debe hacer un análisis Psicrométrico<sup>97</sup>.
- Se desprecia el peso y el volumen del contaminante presente en la corriente de aire.- Si existen altas concentraciones de sólidos o cantidades significativas de gases distintos al aire, deben efectuarse las correcciones para tener en cuenta su efecto.

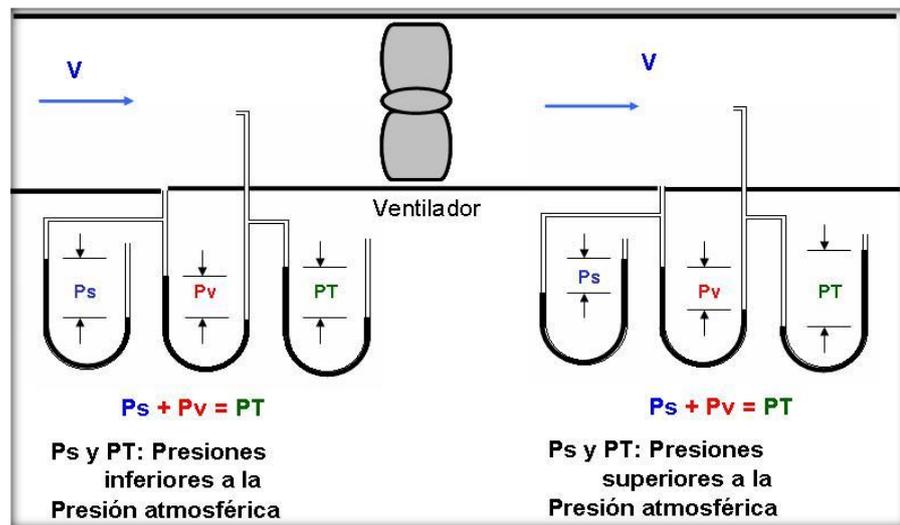
Cambios de presión en el sistema: Para secciones de ductos de área constante, la pérdida de presión total y la pérdida de presión estática se mantienen constantes.

Los puntos de transición en donde aumenta o disminuye la sección transversal, la pérdida de presión de velocidad disminuye de igual manera que la pérdida de presión total, pero la pérdida de presión estática puede disminuir o aumentar, dependiendo de la

---

<sup>97</sup> **Análisis Psicrométrico:** Se lo puede realizar de forma manual o con un instrumento que utiliza la diferencia de lecturas entre dos termómetros, uno con bulbo húmedo y el otro que tiene bulbo seco, para medir el grado de humedad o la humedad relativa del aire.

disminución o aumento de la sección transversal como se aprecia a continuación (figura 4.5).



**FIGURA 4.5. CAMBIOS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA**

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

Una adecuada velocidad del gas dentro del ducto permitirá que el polvo sea transportado junto con él. Básicamente, en cualquier

punto del ducto, la velocidad debe estar entre 18 m/s y 20 m/s, porque si se tiene que la velocidad es menor, entonces se encontraría material segregado a lo largo de la ductería; en cambio, una velocidad muy alta, resultaría en abrasión en el ducto, principalmente en los cambios de dirección o de sección, en donde el perfil de velocidad del flujo tiene mucho que ver.

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

$$Q = A \cdot V \text{ (Ecuación 4)}^{98}$$

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

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

1. Elevador de Cangilones 200TPH (500mm ancho de cangilón).

---

<sup>98</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos para Diseño de Ducterías GE Energy, p.2

$$Q = 0.44 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.44}{18}$$

$$A = 0.02m^2$$

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

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.02 \cdot 4}{\pi}} = 0.18m$$

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

2. Silo de 3000x5020x25m<sup>3</sup>.

$$Q = 0.13 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.13}{18}$$

$$A = 0.01m^2$$

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

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.01 \cdot 4}{\pi}} = 0.10m$$

$$\mathbf{D = 120mm}$$

3. Tapa de ensacadora.

$$Q = 0.13 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.13}{18}$$

$$A = 0.01m^2$$

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

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.01 \cdot 4}{\pi}} = 0.10m$$

$$\mathbf{D = 160mm}$$

4. Banda transportadora 1 de 650mm.

$$Q = 0.42 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.42}{18}$$

$$A = 0.023m^2$$

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

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

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

5. Banda transportadora 2 de 650mm.

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

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

$$A = 0.05m^2$$

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

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.05 \cdot 4}{\pi}} = 0.24m$$

$$\mathbf{D = 300mm}$$

6. Banda rechazo de sacos de 650mm.

$$Q = 0.42 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.42}{18}$$

$$A = 0.023m^2$$

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

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

$$\mathbf{D = 205mm}$$

## 7. Destructor de sacos

$$Q = 0.42 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.42}{18}$$

$$A = 0.023m^2$$

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

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

$$\mathbf{D = 205mm}$$

## 8. Ensacadora 200 TPH.

$$Q = 3.33 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{3.33}{18}$$

$$A = 0.19m^2$$

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

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.19 \cdot 4}{\pi}} = 0.48m$$

$$\mathbf{D = 500mm}$$

9. Criba 200 TPH (ancho de malla 1000mm).

$$Q = 0.66 \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.66}{18}$$

$$A = 0.037m^2$$

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

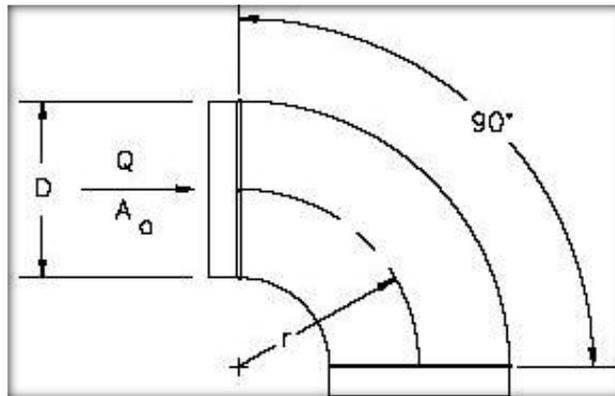
$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.037 \cdot 4}{\pi}} = 0.22m$$

$$\mathbf{D = 250mm}$$

Pérdidas en ductos: Para sistemas de desempolvado, es positivo tener codos con la relación  $r/D > 1.5$ , (Figura 4.6); si la relación es menor a esta cantidad, la abrasión puede reducir el tiempo de vida generando desgaste y pérdidas en el sistema. Frecuentemente se encuentran diseños de ductos con problemas en los codos y variaciones de secciones, causando un acelerado desgaste en las paredes del ducto.

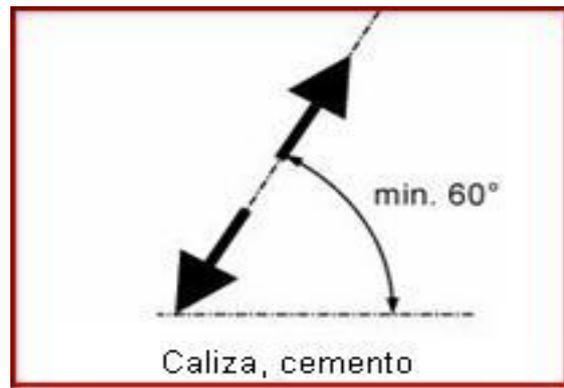
A mayor número de puntos de succión en el sistema, resulta más difícil balancearlo para que sea efectivo. Es por esto que se

recomienda que máximo sean 8 puntos por sistema de desempolvado.



**FIGURA 4.6. RELACIÓN R/D DE CODOS EN DUCTOS**

Los ductos horizontales deberían ser evitados; grandes consecuencias por efecto de la abrasión y segregación de material se presentan cuando los ductos son horizontales. Para evitar la acumulación de polvo, se recomienda que la pendiente de los ductos para el caso de la caliza y cemento sea 30°, con respecto al eje vertical, (Figura 4.7.)



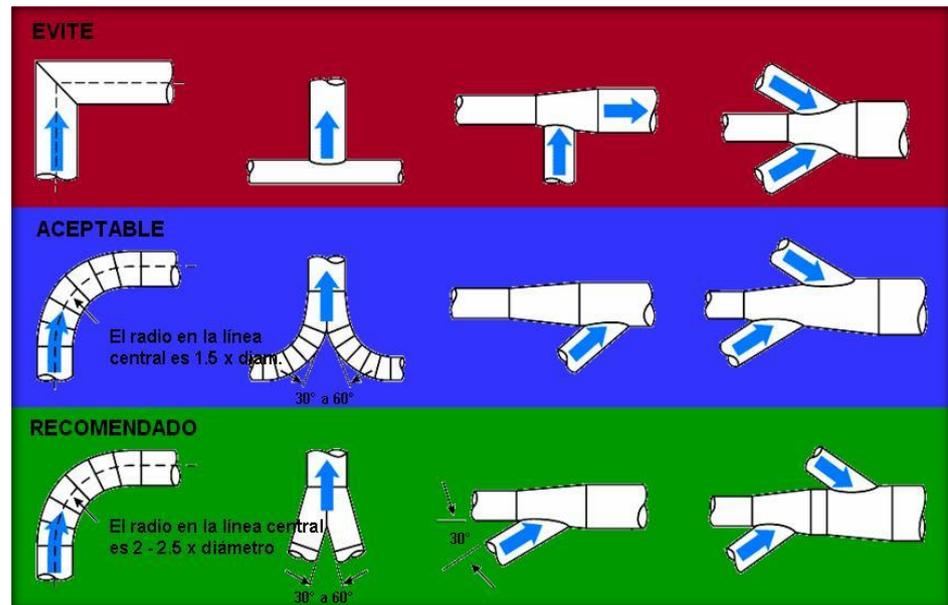
**FIGURA 4.7. PENDIENTE EN DUCTOS PARA CALIZA Y CEMENTO<sup>99</sup>**

Se recomienda para establecer las dimensiones de codos y ramales de ductos, utilizar el Anexo 4, Figura 5 proveniente del Holcim Design Criteria, en la que en base al diámetro del ducto y el ángulo de inclinación de acuerdo al material, se puede determinar el resto de dimensiones. Incluye codos hasta los 90° de inclinación.

Holcim Design Criteria recomienda para el diseño de codos y ramales en ductos, la utilización de la siguiente información en la (Figura 4.8).

---

<sup>99</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/14

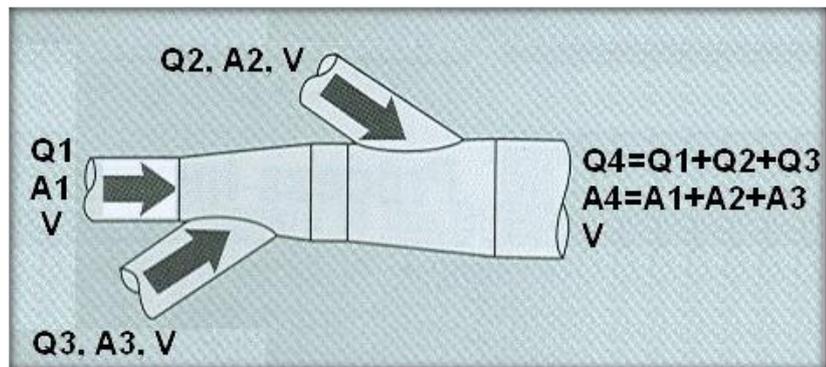


**FIGURA 4.8. DISEÑO DE DUCTOS<sup>100</sup>**

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

<sup>100</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 34

A medida que los diferentes ramales pertenecientes a los diferentes puntos de captura se unen para llegar al filtro como uno solo, el caudal aumenta, y si se considera que la velocidad del flujo debe ser la misma, entonces el área deberá aumentar, lo que implica que el balance neto del flujo volumétrico debe ser igual a cero, (Figura 4.9).



**FIGURA 4.9. VELOCIDAD CONSTANTE EN DUCTO**

El caudal total para el sistema es:

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

$$\sum Q = 1600 \frac{m^3}{h} + 500 \frac{m^3}{h} + 500 \frac{m^3}{h} + 1500 \frac{m^3}{h} + 3000 \frac{m^3}{h} + 1500 \frac{m^3}{h} + 1500 \frac{m^3}{h}$$

$$+ 12000 \frac{m^3}{h} + 2400 \frac{m^3}{h}$$

$$\sum Q = 24500 \frac{m^3}{h} = 6.81 \frac{m^3}{s}$$

Las pérdidas por accesorios se la determina en términos de porcentajes de un equivalente con la presión dinámica, por lo tanto la ecuación general, para la presión estática a lo largo de un tramo de conducto será:

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

Donde:

$SP_c =$  Presión estática en el conducto.

$VP_c =$  Presión dinámica en el conducto.

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

$$\Delta P = SP_{salida} - SP_{entrada} \text{ (Ecuación 6)}^{101}$$

Utilizando las ecuaciones antes expuestas, se calculará las pérdidas de los ductos y accesorios por tramos, la disposición general del sistema de desempolvado se adjunta en el Anexo 5:

---

<sup>101</sup> **FUENTE:** BUCHELLI, Luis, Diseño Fluidodinámico de un Sistema de Extracción de Polvo en un Ingenio Azucarero, Tesis Espol Facultad De Ingeniería En Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

**Datos tramo D5 – D11**

$$Q = 3000 \frac{m^3}{h}$$

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

$$D = 320 \text{ mm}$$

Parte con campana.

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

La caída de presión por unidad de longitud de un conducto de diámetro de 320 mm y velocidad de conducción de 18m/s, se la determina mediante el Anexo 8, Figura 1.

$$h_{l/m} = 11 \text{ Pa} = 1.1 \text{ mm/mH}_2\text{O}$$

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

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

$$h_{Lt} = 1.1 \cdot 5.4$$

$$h_{Lt} = 5.94 \text{ mmH}_2\text{O}$$

En el Anexo 7 Figura 2, Figura 3 y Figura 4, se determinan los coeficientes de pérdidas de los accesorios en este tramo, que son los siguientes:

ACCESORIO	UNIDAD	FACTOR DE PÉRDIDA (k)
Codo Ø320 de 30°	2	0,27

Aplicando la ecuación 5 se calcula la pérdida por accesorios, que es la suma total de todos los accesorios que existen en este tramo de tubería.

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

$$h_{\text{acces}} = (2 \cdot 0.27) \cdot 20.22$$

$$h_{\text{acces}} = 10.92 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Si el ducto parte sin campana no existiría cambio de velocidad se utilizaría ( $VP=0$  y  $h_0=0$ ) y aplicando la ecuación 6, la presión estática en este tramo será:

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

$$SP = 20.22 + 3.44 + 5.94 + 10.92$$

$$SP = 40.52 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Para efecto de cálculo se resumirá la determinación de las pérdidas de presión en los demás tramos de ductos, por lo que el proceso es repetitivo.

### Datos tramo D3 – D11

$$Q = 500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

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

$$D = 160 \text{ mm}$$

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

$$L = 3.5 \text{ m}$$

Parte con campana.

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

Caída de presión para ductos circulares:

$$h_{l/m} = 24 \text{ Pa} = 2.4 \text{ mm/mH}_2\text{O}$$

Caída de presión a lo largo del tramo:

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

$$h_{Lt} = 2.4 \cdot 3.5$$

$$h_{Lt} = 8.4 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Accesorios a lo largo del tramo.

ACCESORIO	UNIDAD	FACTOR DE PÉRDIDA (k)
Codo Ø160 de 30°	1	0,27

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

$$h_{acces} = (1 \cdot 0.27) \cdot 20.22$$

$$h_{acces} = 5.46 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La presión estática del tramo es:

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

$$SP = 20.22 + 3.44 + 8.4 + 5.46$$

$$SP = 37.52 \text{ mmH}_2\text{O}$$

**Datos tramo D4 – D11**

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

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

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

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

$$L = 5.4 \text{ m}$$

Parte con campana.

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

Caída de presión para ductos circulares:

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

Caída de presión a lo largo del tramo:

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

$$h_{Lt} = 1.9 \cdot 5.4$$

$$h_{Lt} = 10.26 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Accesorios a lo largo del tramo.

ACCESORIO	UNIDAD	FACTOR DE PÉRDIDA (k)
Codo Ø200 de 30°	1	0,27

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

$$h_{\text{aces}} = (1 \cdot 0.27) \cdot 20.22$$

$$h_{\text{aces}} = 5.46 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La presión estática del tramo es:

$$SP = VP + h_0 + h_{Lt} + h_{\text{aces}}$$

$$SP = 20.22 + 3.44 + 10.26 + 5.46$$

$$SP = 39.38 \text{ mmH}_2\text{O}$$

#### **Datos tramo D8 – D11**

$$Q = 12000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

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

$$D = 500 \text{ mm}$$

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

$$L = 7.66 \text{ m}$$

Parte con campana.

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

Caída de presión para ductos circulares:

$$h_{l/m} = 6 \text{ Pa} = 0.6 \text{ mm/mH}_2\text{O}$$

Caída de presión a lo largo del tramo:

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

$$h_{Lt} = 0.6 \cdot 7.66$$

$$h_{Lt} = 4.6 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Accesorios a lo largo del tramo.

ACCESORIO	UNIDAD	FACTOR DE PÉRDIDA (k)
Codo Ø500 de 30°	1	0,27
Reducción de Ø600 a Ø500 mm	1	0,15

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

$$h_{acces} = (1 \cdot 0.27 + 1 \cdot 0.15) \cdot 20.22$$

$$h_{acces} = 8.49 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La presión estática del tramo es:

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

$$SP = 20.22 + 3.44 + 4.6 + 8.49$$

$$SP = 36.75 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Para el análisis de equilibrio de presión que llegan a un mismo punto se considera como norma básica lo siguiente:

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

De todos los tramos analizados se toma de referencia uno, en este caso se toma el tramo D3-D11, y la diferencia en relación de presiones estáticas, entre dicho tramo los demás tramos son, D4-D11 el 4.95%, D5-D11 8% y D8-D11 aproximadamente el 2.05%, como se puede observar el tramos más crítico es el D5-D11 por lo que es necesario, cambiar el diámetro, aumentar o disminuir la longitud de la tubería, o cambiar el valor del flujo del tramo.

Sabiendo que las presiones estáticas en los conductos son proporcionales al cuadrado de la velocidad y estas al flujo, entonces se puede determinar qué:

$$\frac{V'_{COND}}{V_{COND}} = \sqrt{\frac{SP_{D3-D11}}{SP_{D5-D11}}}$$

$$\frac{V'_{COND}}{18} = \sqrt{\frac{37.52}{40.52}}$$

$$V'_{COND} = 17.32 \text{ m/s}$$

$$Q'_{D5-D11} = V'_{COND} \cdot A_{D5-D11} \cdot 3600$$

$$Q'_{D5-D11} = 17.32 \cdot 80.42E - 3 \cdot 3600$$

$$Q'_{D2-D16} = 5014.34 \text{ m}^3/\text{h}$$

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

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

$$VP = \left( \frac{17.32}{4.003} \right)^2$$

$$VP = 18.72 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Entrada con campana

$$h_0 = K \cdot VP$$

$$h_0 = 0.17 \cdot 18.72$$

$$h_0 = 3.18 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Caída de presión por unidad de longitud con diámetro de 320 mm y velocidad de conducción de 17.32m/s:

$$h_{l/m} = 9Pa = 0.9mm/mH_2O$$

La caída de presión a lo largo de este tramo de 5.4m de longitud será:

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

$$h_{Lt} = 1 \cdot 5.4$$

$$h_{Lt} = 4.86mmH_2O$$

Accesorios a lo largo del tramo.

ACCESORIO	UNIDAD	FACTOR DE PÉRDIDA (k)
Codo Ø320 de 30°	2	0,27

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

$$h_{acces} = (2 \cdot 0.27) \cdot 18.72$$

$$h_{acces} = 10.11 mmH_2O$$

La nueva presión estática en este tramo será.

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

$$SP = 18.72 + 3.18 + 4.86 + 10.11$$

$$SP = 36.87 mmH_2O$$

De esta manera el tramo D5-D11 obtiene el 1.73% en referencia al tramo D3-D11 cumpliendo la norma.

A continuación se resumen en una tabla todas las dimensiones de cada uno de los ductos y sus principales características, tabla 4.2:

**TABLA 7**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS CORRESPONDIENTES**  
**A LA RED DE TUBERÍAS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE**  
**POLVO.<sup>102</sup>**

<b>TRAMO</b>	<b>L (m)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>SP (mmH<sub>2</sub>O)</b>	<b>V(m/s)</b>	<b>Q(m<sup>3</sup>/s)</b>
D1-D14	7.1	200	63.84	18	1600
D2-D13	5.86	120	49.04	18	500
D9-D13	3.5	250	40.08	18	2400
D13-D14	3.2	300	27.50	18	2900
D3-D11	3.5	160	37.52	18	500
D4-D11	5.4	200	39.38	18	1500
D5-D11	5.4	320	40.52	18	3000
D8-D11	7.66	500	36.75	18	12000
D11-D15	7.13	600	6.60	18	17000
D6-D12	3.2	205	40.34	18	1500
D7-D12	4.5	205	51.17	18	1500
D12-D15	11.6	250	13.92	18	3000
D14-D10	2.1	350	5.28	18	5400
D15-D10	3.2	650	30.40	18	20000
D10	3.75	700	12.42	18	25400
D18	6.5	750	20.19	10	25400

<sup>102</sup> FUENTE: El Autor.

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

**TABLA 8**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS CORRESPONDIENTES**  
**A LA RED DE TUBERÍAS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE**  
**POLVO RECALCULADO.<sup>103</sup>**

<i>TRAMO</i>	<i>L (m)</i>	<i>D (mm)</i>	<i>SP (mmH<sub>2</sub>O)</i>	<i>V(m/s)</i>	<i>Q(m<sup>3</sup>/s)</i>
D1-D14	7.1	200	-63.84	18	1600
D2-D13	5.86	120	-41.37	16.52	662
D9-D13	3.5	250	-40.08	18	2400
D13-D14	3,1	300	-68.87	18	2900
D3-D11	3.5	160	-37.52	18	500
D4-D11	5.4	200	-39.38	18	1500
D5-D11	5.4	320	-36.87	17.32	5014
D8-D11	7.66	500	-36.75	18	12000
D11-D15	7.13	600	-47,12	18	17000
D6-D12	3.2	205	-40.34	18	1500
D7-D12	4.5	205	-40.70	15.98	1899
D12-D15	11.6	250	-49.94	16.77	2964
D14-D10	2.1	350	-74.15	18	5400
D15-D10	3.2	650	-77.52	18	20000
D10	3.75	700	12.42	18	25400
D18	6.5	750	20.19	10	25400

<sup>103</sup> FUENTE: El Autor.

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

$$\Delta P = 20.19 - (-77.52)$$

$$\Delta P = 97.71 \text{ mmH}_2\text{O}$$

#### 4.4. Colector de polvo.<sup>104</sup>

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

El aire contaminado entra al colector pasando por un difusor, que absorbe el impacto de las partículas debido a su velocidad al ingresar, distribuyendo el aire y reduciendo la velocidad. Al reducir la velocidad de las partículas, causa que las más pesadas se precipiten a la tolva para ser descargadas posteriormente fuera del filtro. El aire con las partículas más finas fluye hacia la unidad o

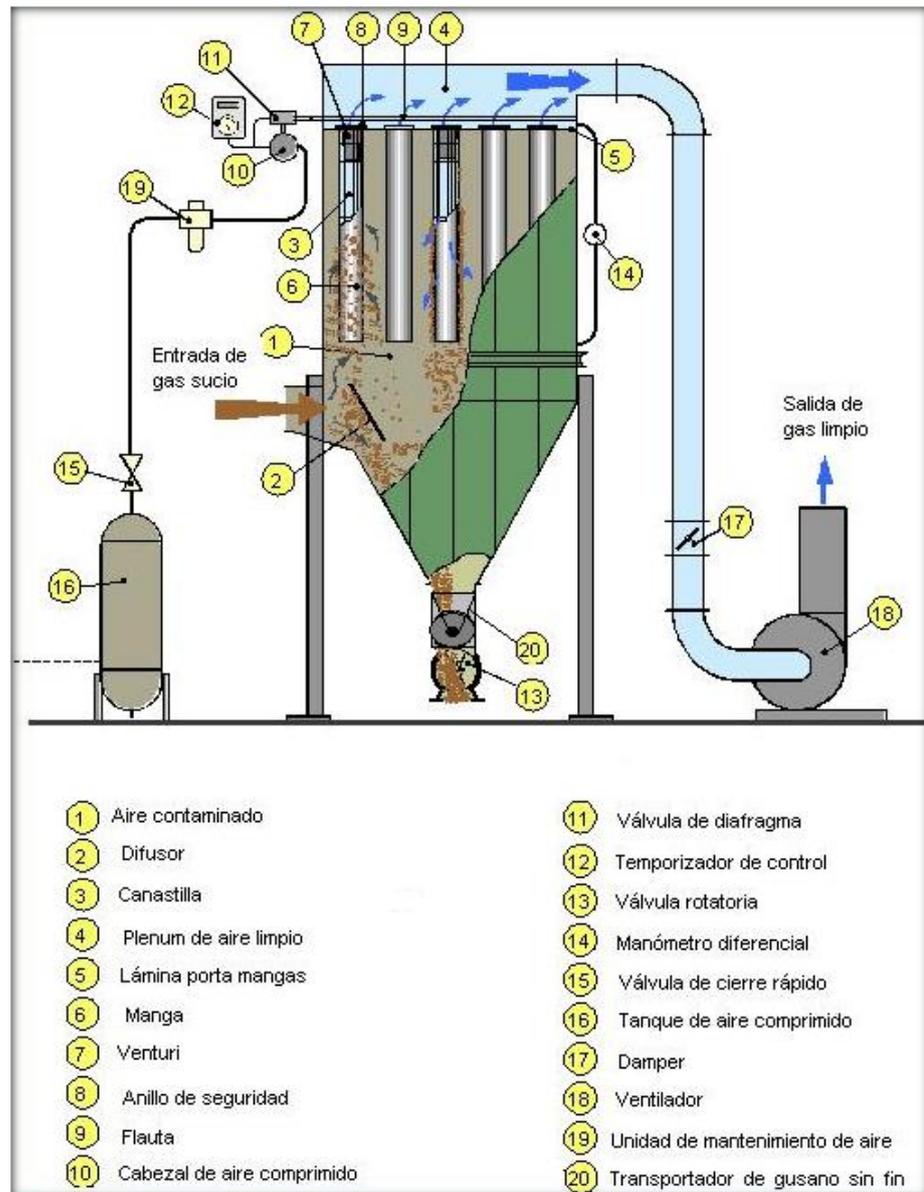
---

<sup>104</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

cámara de filtrado depositando las partículas del polvo fino en la parte exterior de las mangas. El aire limpio continúa hacia el plenum limpio y finalmente llega a la atmósfera, (Figura 4.10).

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

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



**FIGURA 4.10. ELEMENTOS MECÁNICOS EN UN COLECTOR DE POLVO PULSE-JET<sup>105</sup>**

<sup>105</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/5

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

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

$$A/T = V_f = \frac{Q \left[ \frac{m^3}{min} \right]}{A_T [m^2]} \quad (\text{Ecuación 7})^{106}$$

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

$$A_T = \pi \cdot C_m \cdot D_m \cdot L_m \quad (\text{Ecuación 8})^{107}$$

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

$$A_T = \pi \cdot 228 \cdot 0.152 \cdot 2.54$$

$$A_T = 276.54m^2$$

Y con la ecuación 7 se obtiene la relación aire tela, lo cual se ratifica con la tabla 9

<sup>106</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/17

<sup>107</sup> Idem., P.18

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

$$A/T = 1.52 \frac{m^3}{m^2 \cdot min}$$

**TABLA 9**  
**RELACIONES DE AIRE TELA TÍPICAS<sup>108</sup>**

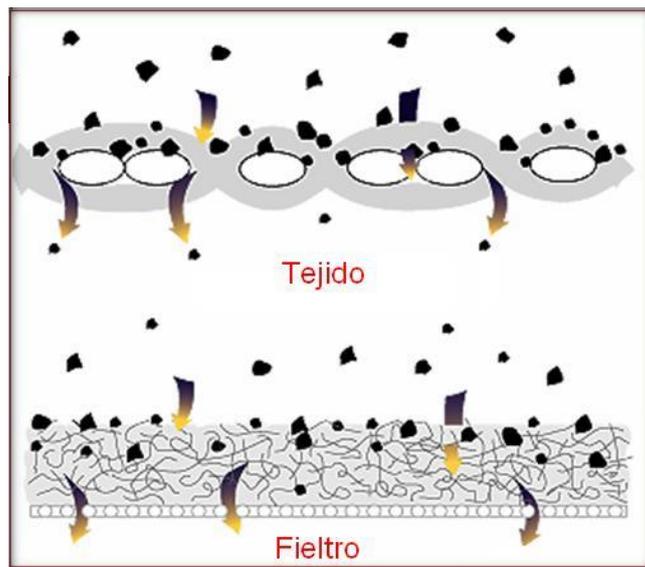
<i>Tipo de limpieza del colector</i>	<i>Rel. Aire/Tela en m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup></i>
Sacudido	0.76-0.91
Aire Reverso	0.61-0.76
Plenum Pulse	1.07-1.22
Pulse-Jet	1.52-1.83

#### 4.4.2. Criterio de Selección para la Tela de Filtrado

Existen dos grupos principales de textiles para el filtrado, el tejido y el no tejido (llamado también fieltro), (Figura 4.11). Cuando se trata del textil tejido, es posible conocer la porosidad debido a que lleva un patrón constante de construcción, mientras que el fieltro, tiene una porosidad infinita (mucho mayor que el textil tejido) debido a la falta de patrón en la costura. En este tipo de textil, la velocidad de

<sup>108</sup> FUENTE: GE, Diseño Básico de Colectores Pulse-Jet GE Energy, p.2

filtración es muy alta y no aplica para los filtros de aire reverso porque la tensión que sufren las mangas al limpiar es mayor que en otros tipos de filtros.



**FIGURA 4.11. TIPOS DE TEXTILES PARA MANGAS<sup>109</sup>**

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

<sup>109</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 14

operación o presentará problemas. Entre los aspectos más importantes a considerar para la selección tiene:

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

Además, el medio filtrante debe satisfacer las siguientes condiciones:

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

#### **4.4.3. Dimensionamiento de Mangas**

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

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

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

$$\frac{L_m[m]}{D_m[m]} \leq 25 \quad (\text{Ecuación 9})^{110}$$

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

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

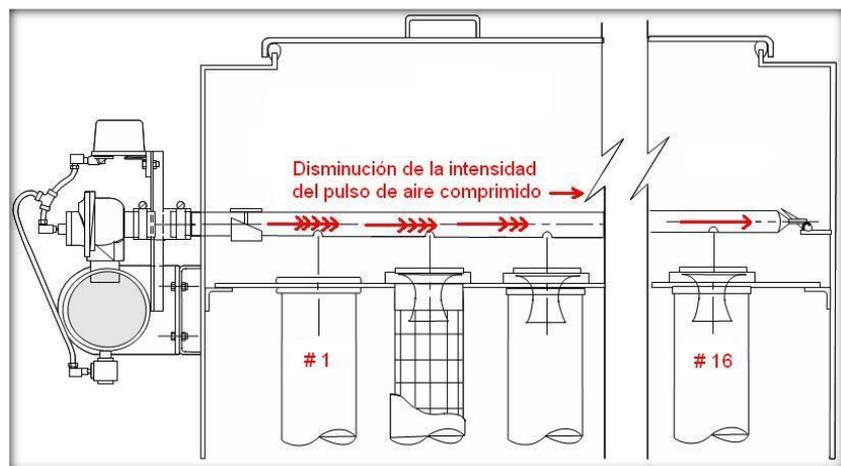
$$16.67 \leq 25$$

---

<sup>110</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/19

#### 4.4.4. Número de Mangas por Columna

El número máximo de mangas por columna no debe ser mayor a 15 o 16, (Figura 4.12). Mientras mayor sea el número de mangas, la longitud de la flauta que transporta el aire comprimido para la limpieza será mayor, y con esto las pérdidas serán mayores al llegar a la última columna de mangas, afectando la limpieza.



**FIGURA 4.12. NÚMERO DE MANGAS POR COLUMNA<sup>111</sup>**

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

$$A = (\pi \cdot \Phi \cdot L) + (\pi \cdot R^2) \quad (\text{Ecuación 10})^{112}$$

<sup>111</sup> FUENTE: BHA, Guía de Referencias y Soluciones de Problemas, 1998, p. 15

<sup>112</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/20

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

$$A = 1.23m^2$$

El número de mangas viene dado por la siguiente ecuación:

$$\#Mangas = \frac{Q \left[ \frac{m^3}{min} \right]}{A/T \left[ \frac{m^3}{m^2 \cdot min} \right]} \div A[m^2] \text{ (Ecuación 11)}^{113}$$

$$\#Mangas = \frac{408}{1.5} \div 1.23$$

$$\#Mangas = 221 \text{ Unidades}$$

Haciendo un arreglo se usaran 19 columnas por 12 filas dando un número de mangas de 228 unidades, siendo este el número de mangas con la que cuenta el filtro en la planta.

$$\#Mangas = 228 \text{ Unidades}$$

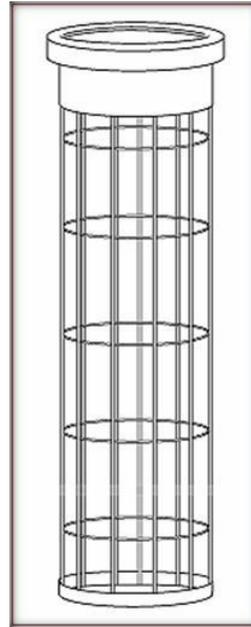
#### 4.4.5. Canastillas

Las canastillas son utilizadas con el fin de que en los periodos de limpieza o filtración, las mangas no colapsen manteniendo su forma cilíndrica a lo largo de la misma. Las canastillas son básicamente un alambrado, preferiblemente

---

<sup>113</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria p. 20

de una sola pieza y resistente a la corrosión, que tiene forma cilíndrica con anillos de forma circular a lo largo de la manga y con varillas verticales para completar la forma cilíndrica y poder alojarse dentro de la manga, (Figura 4.13).



**FIGURA 4.13. CANASTILLA PARA MANGAS<sup>114</sup>**

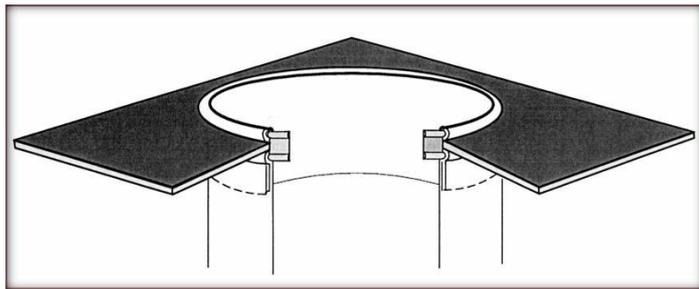
#### **4.4.6. Fijación de las Mangas**

Las mangas se aseguran a la lámina portamangas en la parte superior de la cámara de limpieza. En ningún momento el seguro de la manga tiene la función de soportar el peso de la canastilla. La canastilla se soporta desde la lámina portamangas en la parte superior de ésta. Los seguros de las

---

<sup>114</sup> **FUENTE:** Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/7

mangas se utilizan para que éstas no se suelten durante la limpieza dejando a las canastillas sin superficie filtrante, (figura 4.14).



**FIGURA 4.14. FIJACIÓN DE MANGAS CON FLEJE METÁLICO.<sup>115</sup>**

### **Venturis**

Los venturis son componentes integrales en la mayoría de colectores del tipo pulse-jet, (Figura 4.15). Se encarga de dirigir el disparo de aire comprimido hacia el centro de la manga con el fin de prevenir abrasión provocada por posibles desalineamientos de las flautas.

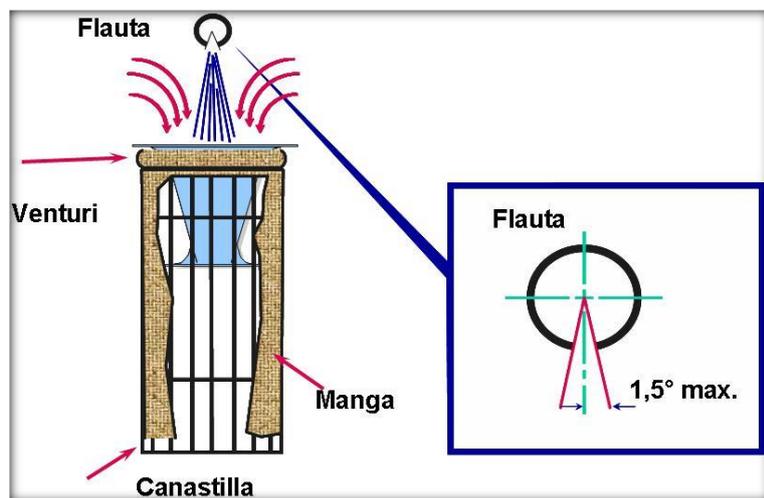
Una buena configuración de los venturis garantiza un eficiente desprendimiento de la capa de polvo y ahorro en el

---

<sup>115</sup> **FUENTE:** Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/7

consumo de aire comprimido al ser más eficiente la limpieza por cada disparo generado.

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



**FIGURA 4.15. VENTURI PARA FILTROS DE MANGAS PULSE-JET<sup>116</sup>**

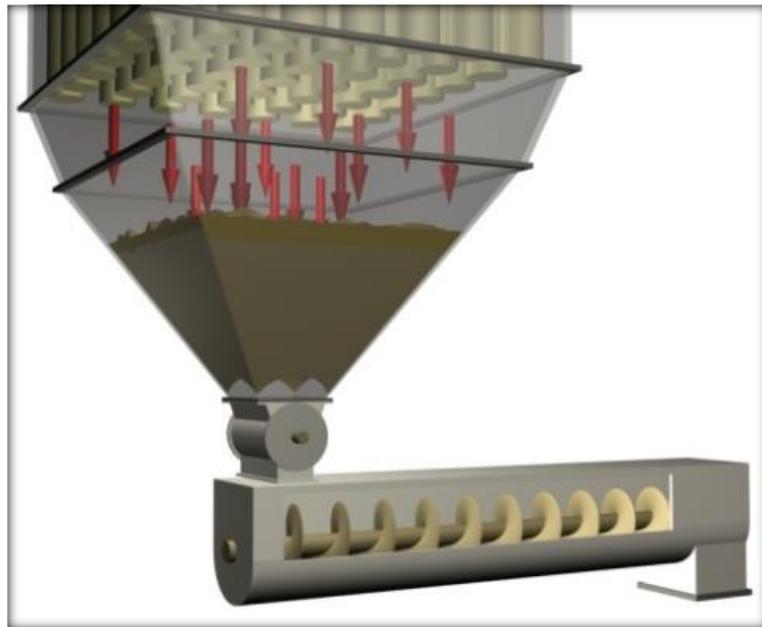
#### 4.4.7. Tolva de descarga

Por lo general, el polvo tiende a aglomerarse en las paredes de la tolva debido a que las esquinas son rectas. Se recomienda que las esquinas de las tolvas sean

<sup>116</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/8

redondeadas y que el ángulo de inclinación no sea menor a 55°.

Un problema frecuente que se presenta, es la aglomeración del material en tolvas piramidales debido a la pequeña abertura de descarga y a la baja inclinación de las paredes evitando que el material se mueva por gravedad con facilidad, (Figura 4.16).

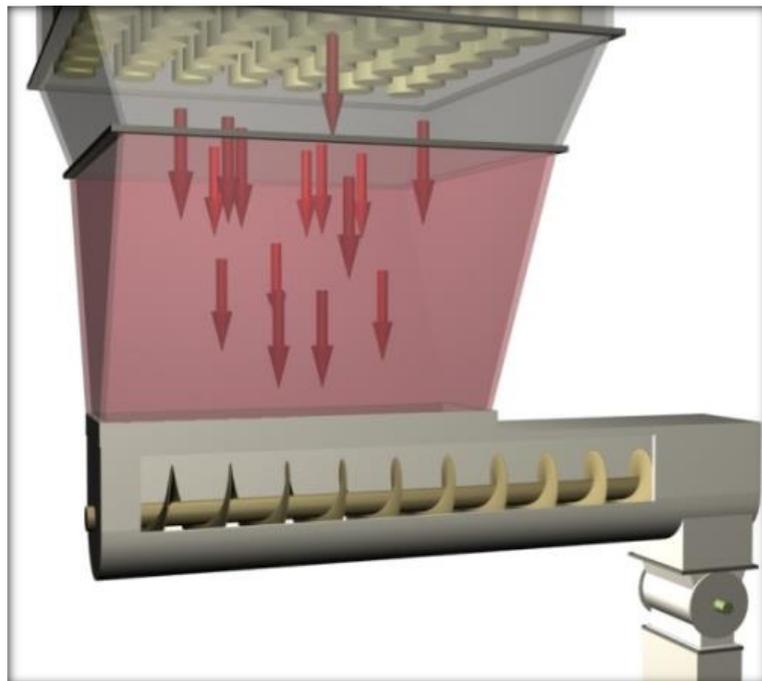


**FIGURA 4.16. ATORAMIENTO DE TOLVA<sup>117</sup>**

---

<sup>117</sup> **FUENTE:** Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/18

Para este caso, se recomienda modificar la salida colocando un transportador sin fin directamente a la salida de la tolva en lugar de colocar primeramente compuertas doble péndulo o válvulas rotatorias, (Figura 4.17). Este caso es el que se utiliza en la planta porque tiene mayor eficiencia de recolección.



**FIGURA 4.17. MODIFICACIÓN DE TOLVA<sup>118</sup>**

<sup>118</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria, p.18

#### 4.4.8. Transportador de Gusano sin Fin<sup>119</sup>

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

Por lo general para polvos se utiliza tornillos continuos, (Figura 4.18). Por su costo y mantenimiento se debe tomar en cuenta en el diseño la ubicación del filtro de mangas para que descargue de manera directa solo por ducto hacia el tornillo de recirculación, de este modo se omitirá este cálculo pero si se hará mención el procedimiento de cálculo de los tornillos sin fin.

---

<sup>119</sup> FUENTE: GARCÍA, David, *Equipo para el transporte de materiales de la industria azucarera, transportadores y bomba*, Unidad de producción del EMAV, Cuba, 1987, p.72



**FIGURA 4.18. TRANSPORTADOR DE TORNILLO SIN FIN CONTINUÓ.<sup>120</sup>**

Se debe determinar la máxima velocidad de rotación del eje del tornillo, para ello se debe comenzar asumiendo un valor de diámetro.

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

Dónde:

A es una constante que se obtiene del Anexo 9, Tabla 1 que depende prácticamente de acuerdo al tipo de material que se va a ser transportado a lo largo del tornillo..

<sup>120</sup> FUENTE: [www.inagromecanica.com](http://www.inagromecanica.com)

Luego se comprueba si los valores asumidos garantizan la capacidad requerida con la siguiente formula.

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

Donde:

Q es la productividad, Ton/h

D es el diámetro del tornillo, m (se asume)

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

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

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

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

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

Reemplazando todos los valores antes en mención se obtiene el caudal máximo que puede transportar el tornillo sin fin.

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

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

Dónde:

PH = potencia necesaria para el desplazamiento del material.

PN = potencia para el accionamiento del tornillo en vacío.

PSt = potencia requerida por la inclinación.

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

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

Dónde:

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

w<sub>0</sub> es el coeficiente total de resistencia al movimiento, Tabla 1, Anexo 9

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

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

La potencia requerida por la inclinación, si el tronillo se encuentra en disposición horizontal la potencia es cero.

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

#### 4.4.9. Válvulas a la Salida<sup>121</sup>

El polvo recogido por la cámara del filtro cae en una tolva por debajo de las bolsas. Esta tolva debe tener un dispositivo de descarga que no sólo libera el polvo acumulado, sino que garantiza un cierre hermético entre la cámara de filtros y el aire exterior para mantener la presión negativa dentro de la unidad. Los dispositivos más utilizados en la tolva de descarga son la válvula rotativa y válvula simple o doble

---

<sup>121</sup> FUENTE: [www.colectoresdepolvo.com](http://www.colectoresdepolvo.com)

pendular, que a su vez pueden ser manuales o automáticas. (Figura 4.19).



**FIGURA 4.19. DIFERENTES TIPOS DE VÁLVULAS DE SALIDA.**

El mantenimiento de estos elementos es igual de importante que cualquier parte del sistema; hay que controlar el desgaste de las aletas de las válvulas rotatorias con respecto a la coraza y de igual manera, el movimiento de las pendulares debe ser libre. Algún trabamiento de una pendular podría generar atoramientos en las tolvas si es que falló cerrada, o entrada constante de aire falso si falló abierta. Para este diseño se utilizará una válvula doble pendular, por sus ventajas de fácil mantenimiento y lo más importante que

no consume energía eléctrica y no es ni neumática ni hidráulica.

#### **4.4.10. Cámara Limpia<sup>122</sup>**

El uso de una cámara de gas limpio en lugar de simples compuertas superiores resulta en una mejor práctica para mantenimiento. La altura de la cámara limpia debe ser mayor que la longitud de las mangas con el fin de poder sacar las canastillas hacia arriba y además para permitir el ingreso del personal de mantenimiento. En el Anexo 4, se puede observar el cálculo y diseño de un filtro de mangas con todas las consideraciones antes mencionadas.

#### **4.4.11. Pérdidas en el Filtro de Mangas.<sup>123</sup>**

Las pérdidas de presión en el filtro de mangas se producen por dos factores: el primero es la caída de presión cuando los gases circulan por los ductos de entrada y salida, y el segundo es la caída de presión que se produce cuando los gases son filtrados por las mangas. De acuerdo a los valores experimentales que se obtiene al evaluar estas dos pérdidas

---

<sup>122</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

<sup>123</sup> **Idem.**

de presión, se debe considerar que la primera es despreciable con respecto a la segunda. Por esta razón se procede a evaluar la pérdida de presión que se produce cuando los gases son filtrados al atravesar las mangas.

Cuando las mangas están limpias se produce una caída de presión determinada, la misma que va aumentando a medida que pasan los gases, ya que, se va acumulando el polvo en la superficie filtrante. Se debe entonces inyectar un chorro de aire comprimido cada determinado tiempo para limpiar las mangas y evitar que la caída de presión sea demasiado elevada.

La pérdida de presión, cuando las mangas están limpias se la puede calcular con la siguiente fórmula empírica determinada por Dennis & Klemm<sup>124</sup> (1979):

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

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

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

---

<sup>124</sup> **DENNIS Y KLEMM (1979:)** Propusieron la ecuación semiempírica para la eficiencia total en función del tiempo de operación entre los ciclos de limpieza.

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

Donde:

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

$$C_i = 0.01$$

$V_f$  = La velocidad de filtración.

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

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

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

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

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

$$P_f = 552 \text{ KPa}$$

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

Por lo tanto, aplicando la ecuación 18, la caída de presión luego de inyectar el pulso de aire para la limpieza de mangas es:

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

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

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

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

$$W_0 = 0.01 \cdot 0.025 \cdot 300$$

$$W_0 = 0.075 \text{ Kg/m}^2$$

La diferencia de presión encontrada en el filtro de mangas aplicando la ecuación 19 es:

$$\Delta P_f = 0.424 + \frac{1.5 \times 10^5 \cdot 0.075 \cdot 0.025}{1000}$$

$$\Delta P_f = 0.71 KPa$$

$$\Delta P_f = 72.40 mmH_2O$$

#### 4.5. Selección del ventilador.<sup>125</sup>

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

$$SP_{vent} = 97.71 + 72.40$$

$$SP_{vent} = -170.11 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Donde:

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

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

La selección del ventilador se basará principalmente en la comparación de diferentes modelos (curvas de funcionamiento), proporcionando la eficiencia mecánica mayor posible en el punto de

---

<sup>125</sup> FUENTE: GE, Principios Básicos de Ventiladores GE Energy, p.7

operación determinado. Todo lo anteriormente detallado depende del criterio de selección del diseñador.

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

- Tipo Centrífugo.
- De alabes hacia atrás (alta eficiencia).
- Operación con aire limpio, sin abrasión.
- Caída de presión Total= 170.11 mmH<sub>2</sub>O=170110Pa
- Caudal = 24500 m<sup>3</sup>/h
- Temperatura de Operación: Entre 30 y 60°C.
- Eficiencia Mecánica: alrededor del 70%.
- Potencia Requerida:

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

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

$$P = \frac{24500 \cdot 170.11}{3600 \cdot 75 \cdot 0.7}$$

$$P = 22.05kW(29.56HP)$$

Existen diferentes maneras de ubicar el ventilador, esto depende de donde se quiera evacuar el aire para ello se dispone de una tabla de las posibles posiciones de la salida de la boca de aspiración que pueden dividirse en posiciones normales y posiciones especiales, totalizando un número de 16, y todas ellas se muestran en el Anexo 10, Figura 1.

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

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

- Presión de limpieza = 80 psi ( 0.55Mpa)

- Tiempo de apertura = 250 ms (Valor típico de las Válvulas para filtros de mangas)
- Número de mangas = 228

# CAPÍTULO 5

## 5. ANÁLISIS DEL COSTO Y BENEFICIO DEL SISTEMA PROPUESTO DE DESEMPOLVADO.

En el presente capítulo se realizará una investigación de la demanda y el mercado potencial en el país, el respectivo análisis de la factibilidad técnico económica-ambiental del proyecto, si va de acuerdo a la realidad del país para la construcción y ejecución de la misma. También se realizará un cronograma detallado para la fabricación y montaje de los planos locales como de los equipos que son de importación.

### 5.1 Análisis de la Demanda y Mercado Potencial.<sup>82</sup>

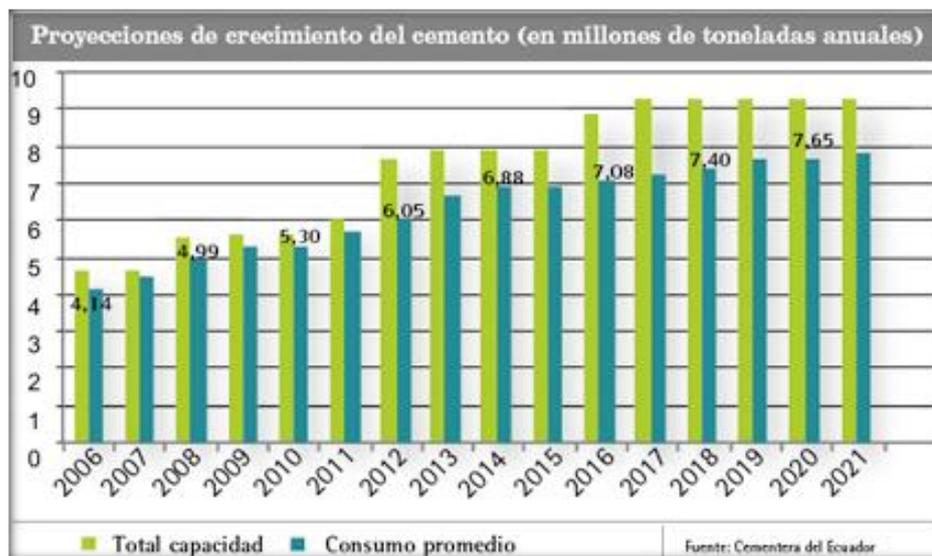
En Ecuador, el cemento es la principal materia prima para la construcción, una actividad que en los últimos años se ha

caracterizado por su crecimiento constante (5.9% en su promedio), incluso en situaciones adversas como la crisis financiera de 2009.

En opinión, de constructores y expertos en el área de la construcción, la mayor parte de la población ve en el cemento el material ideal para dejar un legado, así como para demostrar un incremento de su bienestar. Es así que, independiente de los costos la gente prefiere el hormigón para establecer su hogar.

A nivel de ventas, entre los años 2009 y 2010 se dio un crecimiento de ingresos de 0.65% según la Superintendencia de Compañías pero un decrecimiento del volumen de 0.55% en toneladas de acuerdo al Inecyc. En este caso Holcim incide en estos resultados ya que en ese periodo tuvo un decrecimiento en ventas. Lafarge creció 12% y Chimborazo y Guapán, con participaciones menores, crecieron 2.7 y 2% respectivamente. Sin embargo, el crecimiento en producción en 2011 fue de 7.90%, lo que permite estimar un incremento de más del 10% para 2012.

**TABLA 10**  
**PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO DEL CEMENTO**



Dada las condiciones se puede resumir que en el mercado cementero en Ecuador es fructífero para las empresas inmersas en él, más aún, si el número de competidores es escaso. En el país la actividad está conformada por cuatro compañías, las dos más grandes son multinacionales privadas reconocidas mundialmente por su liderazgo en la fabricación de este producto (Holcim y Lafarge), mientras que las públicas (Chimborazo y Guapán) sobreviven con los recursos que autogeneran.

La demanda del cemento incrementa cada año, esto hace que las empresas cementeras estén en constante innovación de equipos y

plantas, para aumentar la producción y sacar nuevos productos, expandiéndose a nivel nacional e internacional para abarcar el mercado. Esto es sinónimo de crecimiento, lo cual genera plazas de empleo y oportunidades de exponer nuevas propuestas de ingeniería que ayuden a un mejor desempeño y eficiencia de las plantas, sin dejar de lado el cuidado del medio ambiente.

## 5.2 Costo de Elaboración del Proyecto.

En esta sección se analiza en forma general el costo de la elaboración del proyecto, tomando en cuenta el tiempo invertido en él, desde el proceso de recopilación de información, investigación, realización y documentación hasta la elaboración de los planos.

**TABLA 11.**

### **COSTO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

<b>COSTO DE ELABORACION DEL PROYECTO</b>				
<b>Detalle de Actividades</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor/C</b>	<b>Subtotal</b>
Recopilación de Información	horas	160	\$ 5,00	\$ 800,00
Investigación de Campo	horas	240	\$ 5,00	\$ 1.200,00
Diseño de planos	horas	480	\$ 7,50	\$ 3.600,00
Varios		1	\$ 120,00	\$ 120,00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5.720,00</b>

### 5.3 Costo de Implementación del Proyecto.

El costo de implementación del proyecto detalla los rubros necesarios que se deben considerar antes de la ejecución del proyecto, como planos al detalle y tiempo invertido en él.

**TABLA 12.**  
**COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO**

COSTO DE IMPLEMENTACION DEL PROYECTO				
Detalle de Actividades	Unidad	Cantidad	Valor/C	Subtotal
Elaboración del proyecto	Un.	1	\$ 5.720,00	\$ 5.720,00
Impresión planos al detalle	Un.	9	\$ 3,00	\$ 27,00
Adquisición del software Autocad	Un.	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Varios	Global	1	\$ 200,00	\$ 200,00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5.967,00</b>

### 5.4 Presupuesto Referencial para la Implementación del Proyecto

El costo que involucra el diseño de un filtro de mangas está en función de la cantidad de tela necesaria para el proceso de filtración, es decir, del área neta de filtración; así en dicho costo se involucra la estructura principal, el costo del sistema de limpieza, sistema de succión y sistema de descarga.

**TABLA 13**  
**PRESUPUESTO REFERENCIAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL**  
**PROYECTO**

DESCRIPCIÓN	USD
<b><i>A.- Suministro y Montaje de Equipos/componentes</i></b>	
<i>Total A</i>	\$42.508,92
<b><i>B.- Equipos adicionales</i></b>	
<i>Total B</i>	\$4.025,00
<b><i>C.- Fabricación y Montaje (Fab Local)</i></b>	
<i>Total C</i>	\$40.581,80
<b><i>D.- Embalaje y transporte</i></b>	
<i>Total D</i>	\$7.505,00
<b><i>E.- Trabajos eléctricos y electrocícicos</i></b>	
<i>Total E</i>	\$11.000,00
<b><i>F.- Condiciones comerciales</i></b>	
<i>Total F</i>	\$24.000,00
<i>Total (A+B+C+D+E+F)</i>	<b>\$129.620,71</b>
<b><i>G.-POLIZAS</i></b>	
<i>Polizas por el buen uso de anticipo (100%del anticipo)</i>	\$797,56
<i>Polizas por el fiel cumplimiento del contrato(10% del contrato)</i>	\$348,59
<b><i>Total General (A+B+C+D+E+F)+G</i></b>	<b>\$130.766,86</b>

Para la inversión de este proyecto se considerará que los propietarios realizarán la inversión del 30% del monto total del proyecto y el 70% restante se lo obtendrá mediante un préstamo otorgado por la CFN.

La amortización del préstamo realizado a la CFN, para la ejecución del proyecto tendrá una tasa de interés del 10,50% <sup>126</sup>

<sup>126</sup>FUENTE: [www.cfn.fin.ec](http://www.cfn.fin.ec)

anual (0,88% mensual) durante un período de cinco años en el que se tiene estimado que retorne la inversión.

La amortización se la detalla en la tabla 14

**TABLA 14**  
**AMORTIZACIÓN**

TABLA DE AMORTIZACION					
BENEFICIARIO					
INSTIT. FINANCIERA	<b>CFN</b>				
MONTO EN USD	<b>112.000,00</b>				
TASA DE INTERES	<b>10,50%</b>		<b>T. EFECTIVA</b>	<b>11,0203%</b>	
PLAZO	<b>5 años</b>				
GRACIA	<b>0 años</b>				
FECHA DE INICIO	13/06/2014				
MONEDA	<b>DOLARES</b>				
AMORTIZACION CADA	<b>30 días</b>				
Número de períodos	<b>60 para amortizar capital</b>				
No.	VENCIMIENTO	SALDO	INTERES	PRINCIPAL	DIVIDENDO
0		112.000,00			
1	13-jul-2014	110.572,68	980,00	1.427,32	2.407,32
2	12-ago-2014	109.132,88	967,51	1.439,81	2.407,32
3	11-sep-2014	107.680,47	954,91	1.452,40	2.407,32
4	11-oct-2014	106.215,36	942,20	1.465,11	2.407,32
5	10-nov-2014	104.737,43	929,38	1.477,93	2.407,32
6	10-dic-2014	103.246,56	916,45	1.490,86	2.407,32
7	09-ene-2015	101.742,65	903,41	1.503,91	2.407,32
8	08-feb-2015	100.225,59	890,25	1.517,07	2.407,32
9	10-mar-2015	98.695,24	876,97	1.530,34	2.407,32
10	09-abr-2015	97.151,51	863,58	1.543,73	2.407,32
11	09-may-2015	95.594,27	850,08	1.557,24	2.407,32
12	08-jun-2015	94.023,40	836,45	1.570,87	2.407,32
13	08-jul-2015	92.438,79	822,70	1.584,61	2.407,32
14	07-ago-2015	90.840,31	808,84	1.598,48	2.407,32
15	06-sep-2015	89.227,85	794,85	1.612,46	2.407,32
16	06-oct-2015	87.601,27	780,74	1.626,57	2.407,32
17	05-nov-2015	85.960,47	766,51	1.640,81	2.407,32
18	05-dic-2015	84.305,31	752,15	1.655,16	2.407,32
19	04-ene-2016	82.635,66	737,67	1.669,65	2.407,32
20	03-feb-2016	80.951,41	723,06	1.684,25	2.407,32
21	04-mar-2016	79.252,41	708,32	1.698,99	2.407,32
22	03-abr-2016	77.538,56	693,46	1.713,86	2.407,32
23	03-may-2016	75.809,70	678,46	1.728,85	2.407,32
24	02-jun-2016	74.065,72	663,33	1.743,98	2.407,32
25	02-jul-2016	72.306,48	648,08	1.759,24	2.407,32
26	01-ago-2016	70.531,84	632,68	1.774,64	2.407,32
27	31-ago-2016	68.741,68	617,15	1.790,16	2.407,32
28	30-sep-2016	66.935,85	601,49	1.805,83	2.407,32
29	30-oct-2016	65.114,22	585,69	1.821,63	2.407,32

30	29-nov-2016	63.276,66	569,75	1.837,57	2.407,32
31	29-dic-2016	61.423,01	553,67	1.853,65	2.407,32
32	28-ene-2017	59.553,14	537,45	1.869,87	2.407,32
33	27-feb-2017	57.666,92	521,09	1.886,23	2.407,32
34	29-mar-2017	55.764,19	504,59	1.902,73	2.407,32
35	28-abr-2017	53.844,81	487,94	1.919,38	2.407,32
36	28-may-2017	51.908,63	471,14	1.936,17	2.407,32
37	27-jun-2017	49.955,51	454,20	1.953,12	2.407,32
38	27-jul-2017	47.985,31	437,11	1.970,21	2.407,32
39	26-ago-2017	45.997,86	419,87	1.987,45	2.407,32
40	25-sep-2017	43.993,03	402,48	2.004,84	2.407,32
41	25-oct-2017	41.970,65	384,94	2.022,38	2.407,32
42	24-nov-2017	39.930,58	367,24	2.040,07	2.407,32
43	24-dic-2017	37.872,65	349,39	2.057,92	2.407,32
44	23-ene-2018	35.796,72	331,39	2.075,93	2.407,32
45	22-feb-2018	33.702,63	313,22	2.094,10	2.407,32
46	24-mar-2018	31.590,21	294,90	2.112,42	2.407,32
47	23-abr-2018	29.459,30	276,41	2.130,90	2.407,32
48	23-may-2018	27.309,76	257,77	2.149,55	2.407,32
49	22-jun-2018	25.141,40	238,96	2.168,36	2.407,32
50	22-jul-2018	22.954,07	219,99	2.187,33	2.407,32
51	21-ago-2018	20.747,60	200,85	2.206,47	2.407,32
52	20-sep-2018	18.521,83	181,54	2.225,78	2.407,32
53	20-oct-2018	16.276,58	162,07	2.245,25	2.407,32
54	19-nov-2018	14.011,68	142,42	2.264,90	2.407,32
55	19-dic-2018	11.726,96	122,60	2.284,71	2.407,32
56	18-ene-2019	9.422,26	102,61	2.304,71	2.407,32
57	17-feb-2019	7.097,39	82,44	2.324,87	2.407,32
58	19-mar-2019	4.772,51	62,10	2.345,21	2.407,32
59	18-abr-2019	2.427,30	41,76	2.365,56	2.407,32
60	18-may-2019	61,74	21,24	2.386,08	2.407,32
			32.439,55	111.999,46	144.439,01

### 5.5 Cronograma de fabricación y Montaje.

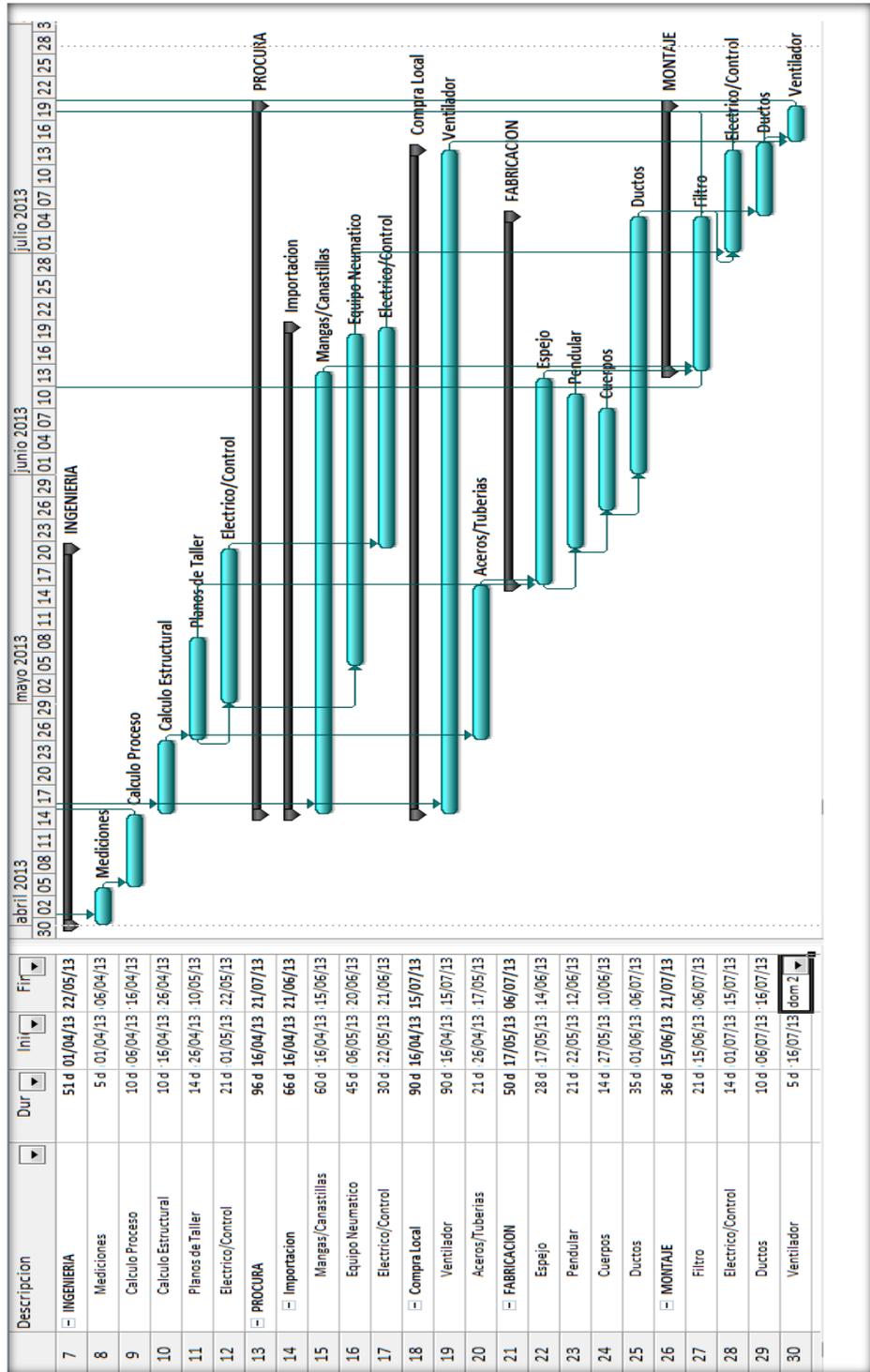
Consiste en la estimación de la duración de los trabajos a realizarse, usando un diagrama de Gantt para coordinar las obras y ejecutarlas de la manera más eficiente.

Se estiman todos los contratiempos posibles, como retrasos en la importación de los equipos y accesorios de los mismos como las mangas y canastillas, equipos neumáticos y de control.

La obra adjudicada a la empresa especializada en montaje y construcción metal-mecánica, se dedicará a la construcción de los equipos locales como filtros de mangas, espejo, ductos y accesorios de desempolvado, válvulas pendulares, soportes y plataformas de mantenimiento, chutes etc.

A continuación se detalla el cronograma de fabricación y montaje del proyecto:

**TABLA 15**  
**CRONOGRAMA DE FABRICACIÓN Y MONTAJE**



Hasta ahora se ha detallado los costos de la estructuración, y el costo directo e indirecto usuales asociado con la instalación del proyecto, y respectiva amortización de su capital.

A continuación se procederá a analizar la factibilidad de la implementación desde otro punto de vista, con dos indicadores muy importantes, que servirán para conocer si es viable en un tiempo determinado la ejecución del proyecto y demostrar si es una buena inversión:

- ✓ ECONOMICO
- ✓ AMBIENTAL Y CONDICIONES DE TRABAJO

## 5.6 Análisis Económico.

El **Valor Actual Neto (VAN)**<sup>127</sup> es la diferencia del valor presente neto de los flujos netos de efectivo y el valor actual de la inversión, cuyo resultado se expresa en dinero. Se define como la suma de los valores actuales o presentes de los flujos netos de efectivo, menos la suma de los valores presentes de las inversiones netas.

En esencia los flujos netos de efectivo se descuentan de la tasa mínima de rendimiento requerida y se suman. Al resultado se le

---

<sup>127</sup> FUENTE: DURAN, José Antonio, *El Financiera*, Editorial Arroyo, México 2009, p. 186

resta la inversión inicial neta; la ecuación 22 se utiliza para calcular el valor presente neto es:

$$VAN = \sum_0^n \frac{FNE}{(1+i)^n} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Dónde:

FNE= Flujo Neto Efectivo

i = Tasa de interés a la que se descuentan los flujos efectivos.

n = Corresponde al año en que se genera el flujo de efectivo.

La **Tasa Interna de Retorno (TIR)**<sup>128</sup> es la tasa de descuento a la que el valor presente neto de una inversión arroja un resultado cero o la tasa de descuento que hace que los flujos netos efectivos igualen al monto de inversión.

En términos generales se la interpreta como la tasa máxima de rendimiento que produce una alternativa de inversión dados los flujos de efectivos que viene dada por la ecuación 23.

$$0 = \sum_0^n \frac{FNE}{(1+TIR)^n} \quad (\text{Ecuación 23})$$

---

<sup>128</sup> FUENTE: DURAN, José Antonio, *El Financiera*, Editorial Arroyo, México 2009, p. 186

Para la decisión de un proyecto no solo debe considerar el valor del TIR, porque el cálculo depende de una ecuación polinomial, la misma que da resultados (+, 0, -).

Se debe considerar que el TIR s escoger sea mayor al TMAR (tasa de descuento).

$$\text{TMAR} = \text{Tasa de inflación} + \text{Premio al riesgo.}$$

Para verificar si el proyecto es factible los indicadores deben cumplir los **Criterios de Aceptación**<sup>129</sup> que dice:

$$\text{VAN} > 0$$

$$\text{TIR} > \text{Tasa de Descuento}^{130}$$

A continuación en las tablas 16 y 17 se da el detalle del análisis de factibilidad para este proyecto.

Una vez indicada la forma en la que se analiza este alcance económico, se procede a realizar los cálculos del proyecto para definir la factibilidad del mismo.

---

<sup>129</sup> **FUENTE:** DURAN, José Antonio, *El Financiera*, Editorial Arroyo, México 2009, p. 187  
<http://www.crecenegocios.com/el-analisis-costo-beneficio/>

<sup>130</sup> Para proyectos de financiación privada debe estar entre 10 y 13%

**TABLA 16**  
**COSTO TOTAL DEL PROYECTO**

<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	
Elaboración y montaje del Filtro	130.766,86
Diseño del filtro	5.967,00
Administración	22.680,00
<b>Total filtro</b>	<b>159.413,86</b>
Intereses	32.320,71
<b>TOTAL</b>	<b>191.734,57</b>
Depreciación 10% anual	13.076,69

Hablando en términos de contabilidad, y desde el punto de vista de la depreciación, se establece la vida legal de un activo desde el momento en que se compra y se empieza a explotar, hasta la fecha en la que alcanza la depreciación total o que el empresario estima necesario suplantar o deshacerse de él.

Para este proyecto se considera la depreciación<sup>131</sup> del equipo a 10 años.

El flujo de ingreso por el retorno de cemento al sistema, se lo detalla en la tabla 17

<sup>131</sup> FUENTE: [www.depreciacion.net/activos-fijos.html](http://www.depreciacion.net/activos-fijos.html)

**TABLA 17**  
**FLUJO DE INGRESO POR RETORNO DE CEMENTO**

<b>RETORNO DE CEMENTO</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Un</b>	<b>Total</b>
Toneladas anuales de retorno	Ton.	844,80
Unidades de sacos de cemento	Un.	16.896,00
Dolares anuales de retorno	Usd.	116.582,40

Se detalla el análisis de flujo del proyecto, en su proyección a 5 años de inversión, el mismo que se lo representa en la tabla 18

**TABLA 18.**  
**CUADRO DE FLUJO DE PROYECTO**

	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Ventas		116.582,40	122.411,52	128.532,10	134.958,70	141.706,64
Mantenimiento del filtro		- 15.000,00	- 15.750,00	- 16.537,50	- 17.364,38	- 18.232,59
Gastos financieros		- 10.871,23	- 8.897,41	- 6.706,06	- 4.742,63	- 1.572,80
Depreciación		- 13.076,69	- 13.076,69	- 13.076,69	- 13.076,69	- 13.076,69
Gastos operativos		- 18.900,00	- 18.900,00	- 18.900,00	- 18.900,00	- 18.900,00
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		58.734,48	65.787,43	73.311,85	80.875,01	89.924,56
15% participación de trabajadores		- 8.810,17	- 9.868,11	- 10.996,78	- 12.131,25	- 13.488,68
<b>UTILIDAD BRUTA</b>		<b>49.924,31</b>	<b>55.919,31</b>	<b>62.315,07</b>	<b>68.743,76</b>	<b>76.435,87</b>
Impuesto a la renta (22%)		10.983,35	12.302,25	13.709,32	15.123,63	16.815,89
<b>Total despues de impuestos</b>		<b>38.940,96</b>	<b>43.617,07</b>	<b>48.605,76</b>	<b>53.620,13</b>	<b>59.619,98</b>
Capital		- 17.910,74	- 19.884,57	- 22.075,92	- 26.437,84	- 27.209,18
Depreciación		13.076,69	13.076,69	13.076,69	13.076,69	13.076,69
Inversión	- 47.824,16	34.106,91	36.809,19	39.606,53	40.258,98	45.487,49

Impuesto a la renta<sup>132</sup>.

Participación de trabajadores<sup>133</sup>.

<sup>132</sup> FUENTE: [www.rap.com.ec/es/noticias/111-en-22-se-fija-el-impuesto-a-la-renta-para-las-empresas](http://www.rap.com.ec/es/noticias/111-en-22-se-fija-el-impuesto-a-la-renta-para-las-empresas)

<sup>133</sup> FUENTE: [http://es.slideshare.net/dog\\_nash/15-participacion-trabajadores](http://es.slideshare.net/dog_nash/15-participacion-trabajadores)

Los valores obtenidos para la verificación de la rentabilidad del proyecto se los detalla en la tabla 19

**TABLA 19**

**ANALISIS DE FACTIBILIDAD**

<b>ANALISIS DE FACTIBILIDAD</b>	
Tasa de descuento	10,5%
VAN:	97.156,8
TIR:	72%

Como se puede apreciar, la tasa interna de retorno es mayor que la TMAR ( $72\% > 10,5\%$ ) y el valor del Van es  $>0$ , estos indicadores demuestran que el proyecto económicamente es **FACTIBLE**.

### **5.7 Análisis Ambiental.**

En el país se está creando una conciencia ecológica cada vez más consolidada, más aún con los últimos acontecimientos meteorológicos que afectan al mundo entero. Esto, sumado a la necesidad de deshacerse de los desperdicios de manera segura, garantiza que el proyecto tenga una gran acogida en el aspecto técnico-ambiental.

---

La evolución y tecnificación del proceso de ensacado de cemento, ha ayudado a implementar nuevas soluciones más sostenibles y eficaces dentro del sector de la producción del cemento basado en:

- ✓ Disminuir el esfuerzo físico del personal de producción.
- ✓ Minimización de los efectos ocasionados por residuos, reduciendo la generación de residuos en cantidad y propiciando la gestión ambientalmente más correcta de los producidos.
- ✓ Contribución a la mejora de las condiciones de trabajo del operador, eliminando la exposición a riesgos potencialmente peligrosos.

El impacto de las emisiones producidas por el proceso de ensacado de cemento está enmarcado dentro de los límites permisibles (Anexo 1), la emisión de polvo puede ser controlada con un buen sistema de desempolvado en los puntos donde se forma la mayor cantidad de partículas, no existen sustancias nocivas para el organismo en la planta, por lo que garantiza un entorno completamente amigable con el ambiente.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1. Conclusiones.

- ✓ La demanda del mercado a nivel nacional e internacional cada año incrementa, lo que hace que las empresas cementeras estén en innovación aumentando su producción, contrarrestando la contaminación de aire de las plantas manteniéndose en el límite permisible como lo determina la norma de Calidad del Aire.
- ✓ Para la separación de partículas solido-gas el filtro de mangas es el más óptimo para realizar este tipo de trabajo, que retiene partículas entre 30 a 50 micras, dejando pasar inferiores a 30 micras las cuales viajan con el aire, utilizando un mecanismo de limpieza constante, con ciclos de limpieza es de 250 ms y

- ✓ frecuencia de 30s que por un impulso forzado de gas afloja las partículas adheridas en las mangas.
  
- ✓ Por efecto de cálculo se determina que necesita un filtro de 228 mangas, con los datos obtenidos de los equipos a desempolvar, y para determinar la capacidad del ventilador se realiza el cálculo de pérdidas a lo largo de la red de tuberías obteniendo 170.11 mmH<sub>2</sub>O de caída de presión, con estos datos y considerando las condiciones de trabajo se obtiene la potencia del ventilador.
  
- ✓ El costo de inversión del proyecto es de \$159,413.86 y el estudio de la factibilidad genera un VAN de 97,156.80 siendo este valor positivo mayor que cero, con una tasa interna de retorno del 72%. Una vez cumplido los criterios para la factibilidad se puede afirmar que el proyecto desde el punto de vista financiero resulta factible.

#### **6.1. Recomendaciones.**

- ✓ Para evitar los desbalances se debe diseñar un buen sistema de ductos, los ductos mantener 60° respecto a la horizontal para que pueda fluir el material sin atascamientos, cada ramal

debe nacer con una reducción, cada toma del ducto debe nacer con una campana desde los equipos a desempolvar, luego de las campanas es necesario una válvula de control (dámper) preferiblemente de forma vertical y ser colocadas lo más cerca posible de las plataformas, los codos de precipitación deben ser fáciles de desmontar y que existan bridas que sean fáciles de desmontar.

- ✓ Se recomienda el cambio de las mangas filtrantes que presenten perforaciones y también revisar las fugas en el filtro de mangas para aumentar la aspiración de los equipos.
  
- ✓ Se recomienda estar al margen de las normas ambientales, para evitar sanciones, por lo que se es importante realizar cada año un análisis de gases a la salida del ventilador para controlar las emisiones de las partículas.

# **ANEXO 1.**

## **LEY DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN**

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

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

### **2. LEYES**

#### **Ley de gestión ambiental**

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

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

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

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

1. Las artificiales, originadas por el desarrollo tecnológico y la acción del hombre, tales como fábricas, calderas, generadores de vapor, talleres, plantas termoeléctricas, refinerías de petróleo, plantas químicas, aeronaves, automotores y similares, la incineración, quema a cielo abierto de basuras y residuos, la explotación de materiales de construcción y otras actividades que produzcan o puedan producir contaminación.

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

### **3. DECRETOS**

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

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

- Libro I: Autoridad Ambiental.
- Libro II: Gestión Ambiental.
- Libro III: Régimen Forestal.
- Libro IV: Biodiversidad.
- Libro V: Recursos costeros.
- Libro VI: Calidad Ambiental.
  - Anexo 1: Norma de calidad ambiente y descarga de efluentes; recurso agua.
  - Anexo 2: Norma de calidad ambiental del recursos suelo y criterios de remediación.
  - Anexo 3: Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión.
  - Anexo 4: Norma de calidad de aire ambiente.
  - Anexo 5: Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y vibraciones.
  - Anexo 6: Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.
  - Anexo 7: Listados nacionales de productos químicos prohibidos, peligrosos y de uso severamente restringido que se utiliza en el Ecuador.
- Libro VII: Régimen especial: Galápagos.
- Libro VIII: Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico (ECORAE).

- Libro IX: Sistema de derecho o tasas por los servicios que presta el Ministerio por el uso y aprovechamiento de bienes que se encuentran bajo su cargo y protección.

## **LIBRO VI: CALIDAD AMBIENTAL**

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

#### **Objeto**

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

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

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

- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia  $PM_{10}$ .
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos) micrones. Se abrevia  $PM_{2,5}$ .
- Óxidos de Nitrógeno: NO y  $NO_2$ . Expresados como  $NO_2$ .
- Dióxido de Azufre  $SO_2$ .
- Monóxido de Carbono.

## Límites permisibles para la calidad del aire

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

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

Parámetros	Unidad	Límites máximos permisibles $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		1 año	1 hora	8 horas	24 horas
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	80	(b)	(b)	350
Monóxido de Carbono (CO)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	(b)	4000 0	10000	(b)
Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	(b)	(b)	150
Material Particulado PM <sub>2.5</sub>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	15	(b)	(b)	65
Material Particulado PM <sub>10</sub>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	(b)	(b)	150

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

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

## ANEXO 2.

### CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS DE DIFERENTES MATERIALES.

	<b>Table 1-2 Material Characteristics (Cont'd)</b>					
Material	Weight lbs. per cu. ft.	Intermediate Material Code	Bearing Selection	Component Series	Mat'l Factor Fm	Trough Loading
Bentonite, Crude	34-40	D3-45X	H	2	1.2	30A
Bentonite, -100 Mesh	50-60	A100-25MXY	H	2	.7	45
Benzene Hexachloride	56	A100-45R	L-S-B	1	.6	30A
Bicarbonate of Soda (Baking Soda)	—	—	S	1	.6	—
Blood, Dried	35-45	D3-45U	H	2	2.0	30A
Blood, Ground, Dried	30	A100-35U	L-S	1	1.0	30A
Bone Ash (Tricalcium Phosphate)	40-50	A100-45	L-S	1	1.6	30A
Boneblack	20-25	A100-25Y	L-S	1	1.5	45
Bonechar	27-40	B6-35	L-S	1	1.6	30A
Bonemeal	50-60	B6-35	H	2	1.7	30A
Bones, Whole*	35-50	E-45V	H	2	3.0	30A
Bones, Crushed	35-50	D3-45	H	2	2.0	30A
Bones, Ground	50	B6-35	H	2	1.7	30A
Borate of Lime	60	A100-35	L-S-B	1	.6	30A
Borax, Fine	45-55	B6-25T	H	3	.7	30B
Borax Screening — ½"	55-60	C½-35	H	2	1.5	30A
Borax, 1½-2" Lump	55-60	D3-35	H	2	1.8	30A
Borax, 2"-3" Lump	60-70	D3-35	H	2	2.0	30A
Boric Acid, Fine	55	B6-25T	H	3	.8	30A
Boron	75	A100-37	H	2	1.0	30B
Bran, Rice — Rye — Wheat	16-20	B6-35NY	L-S-B	1	.5	30A
Braunite (Manganese Oxide)	120	A100-36	H	2	2.0	30B
Bread Crumbs	20-25	B6-35PQ	L-S-B	1	.6	30A
Brewer's Grain, Spent, Dry	14-30	C½-45	L-S-B	1	.5	30A
Brewer's Grain, Spent, Wet	55-60	C½-45T	L-S	2	.8	30A
Brick, Ground — ½"	100-120	B6-37	H	3	2.2	15
Bronze Chips	30-50	B6-45	H	2	2.0	30A
Buckwheat	37-42	B6-25N	L-S-B	1	.4	45
Calcine, Flour	75-85	A100-35	L-S-B	1	.7	30A
Calcium Carbide	70-90	D3-25N	H	2	2.0	30A
Calcium Carbonate (See Limestone)	—	—	—	—	—	—
Calcium Fluoride (See Fluorspar)	—	—	—	—	—	—
Calcium Hydrate (See Lime, Hydrated)	—	—	—	—	—	—
Calcium Hydroxide (See Lime, Hydrated)	—	—	—	—	—	—
Calcium Lactate	26-29	D3-45QTR	L-S	2	.6	30A
Calcium Oxide (See Lime, Unslaked)	—	—	—	—	—	—
Calcium Phosphate	40-50	A100-45	L-S-B	1	1.6	30A
Calcium Sulfate (See Gypsum)	—	—	—	—	—	—
Carbon, Activated, Dry Fine*	—	—	—	—	—	—
Carbon Black, Pelleted*	—	—	—	—	—	—
Carbon Black, Powder*	—	—	—	—	—	—
Carborundum	100	D3-27	H	3	3.0	15
Casein	36	B6-35	H	2	1.6	30A
Cashew Nuts	32-37	C½-45	H	2	.7	30A
Cast Iron, Chips	130-200	C½-45	H	2	4.0	30A
Caustic Soda	88	B6-35RSU	H	3	1.8	30A
Caustic Soda, Flakes	47	C½-45RSUX	L-S	3	1.5	30A
Celite (See Diatomaceous Earth)	—	—	—	—	—	—
Cement, Clinker	75-95	D3-36	H	3	1.8	30B
Cement, Mortar	133	B6-35Q	H	3	3.0	30A
Cement, Portland	94	A100-26M	H	2	1.4	30B
Cement, Aerated (Portland)	60-75	A100-16M	H	2	1.4	30B
Cerrusite (See Lead Carbonate)	—	—	—	—	—	—
Chalk, Crushed	75-95	D3-25	H	2	1.9	30A
Chalk, Pulverized	67-75	A100-25MXY	H	2	1.4	45
Charcoal, Ground	18-28	A100-45	H	2	1.2	30A

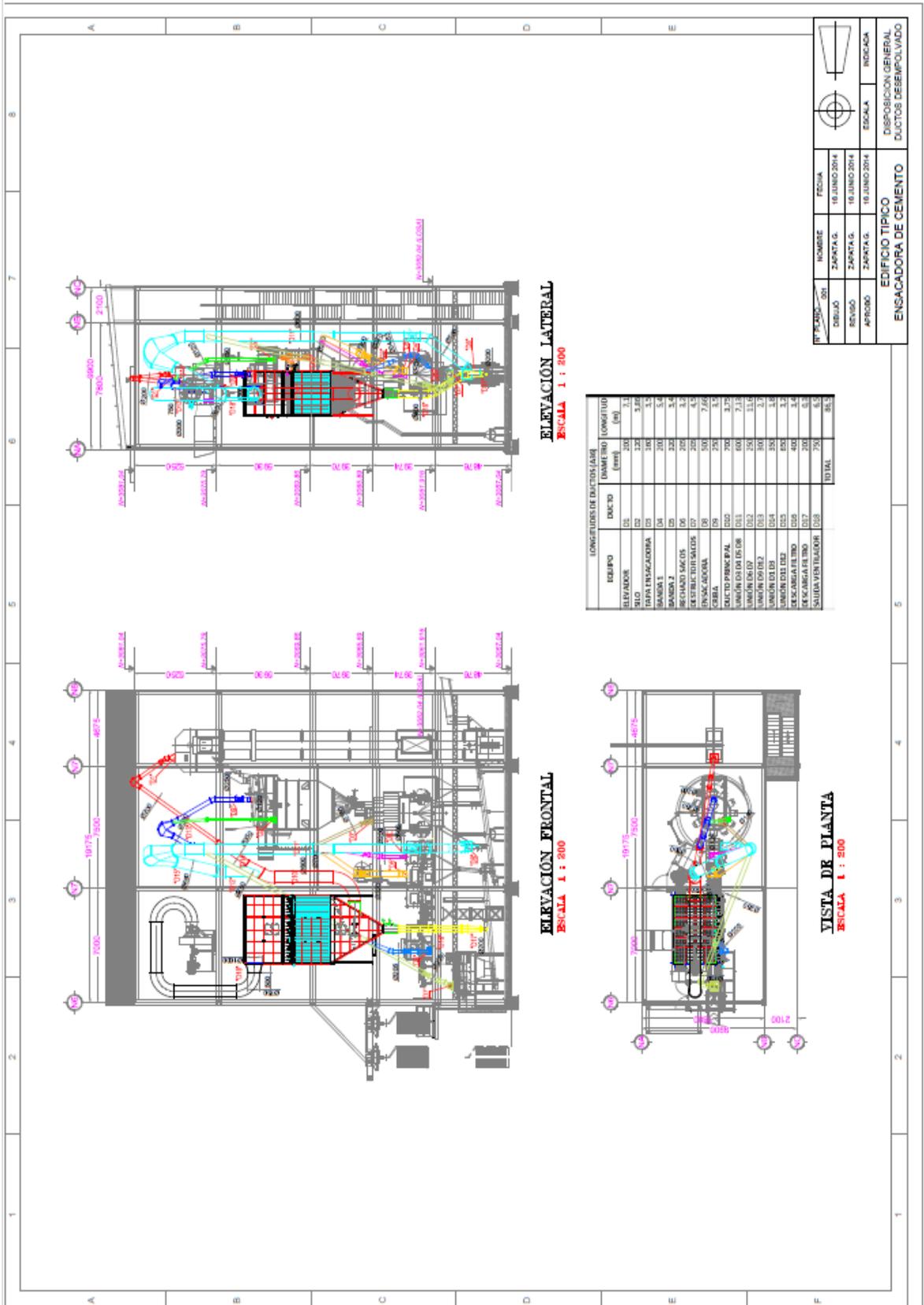
# ANEXO 3.

## PRESIÓN DINÁMICA PARA DIFERENTES VELOCIDADES.

VELOCITY PRESSURES FOR DIFFERENT VELOCITIES - STANDARD AIR									
FROM: $V = 4005 \sqrt{VP}$					$V =$ VELOCITY FPM $VP =$ VELOCITY PRESSURE, INCHES OF WATER				
VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V
0.01	400	0.52	2886	1.03	4064	1.54	4970	2.05	5734
0.02	556	0.53	2916	1.04	4084	1.55	4986	2.06	5748
0.03	694	0.54	2943	1.05	4103	1.56	5002	2.07	5762
0.04	801	0.55	2970	1.06	4123	1.57	5018	2.08	5776
0.05	896	0.56	2997	1.07	4142	1.58	5034	2.09	5790
0.06	981	0.57	3024	1.08	4162	1.59	5050	2.10	5804
0.07	1060	0.58	3050	1.09	4181	1.60	5066	2.11	5817
0.08	1133	0.59	3076	1.10	4200	1.61	5082	2.12	5831
0.09	1201	0.60	3102	1.11	4219	1.62	5098	2.13	5845
0.10	1266	0.61	3127	1.12	4238	1.63	5114	2.14	5859
0.11	1328	0.62	3153	1.13	4257	1.64	5129	2.15	5872
0.12	1387	0.63	3179	1.14	4276	1.65	5144	2.16	5886
0.13	1444	0.64	3204	1.15	4295	1.66	5160	2.17	5899
0.14	1498	0.65	3229	1.16	4314	1.67	5175	2.18	5913
0.15	1551	0.66	3254	1.17	4332	1.68	5191	2.19	5927
0.16	1602	0.67	3279	1.18	4350	1.69	5206	2.20	5940
0.17	1651	0.68	3303	1.19	4368	1.70	5222	2.21	5954
0.18	1699	0.69	3327	1.20	4386	1.71	5237	2.22	5967
0.19	1746	0.70	3351	1.21	4405	1.72	5253	2.23	5981
0.20	1791	0.71	3375	1.22	4423	1.73	5268	2.24	5994
0.21	1835	0.72	3398	1.23	4442	1.74	5283	2.25	6008
0.22	1879	0.73	3422	1.24	4460	1.75	5298	2.26	6021
0.23	1921	0.74	3445	1.25	4478	1.76	5313	2.27	6034
0.24	1962	0.75	3468	1.26	4495	1.77	5328	2.28	6047
0.25	2003	0.76	3491	1.27	4513	1.78	5343	2.29	6061
0.26	2042	0.77	3514	1.28	4531	1.79	5359	2.30	6074
0.27	2081	0.78	3537	1.29	4549	1.80	5374	2.31	6087
0.28	2119	0.79	3560	1.30	4566	1.81	5388	2.32	6100
0.29	2157	0.80	3582	1.31	4583	1.82	5403	2.33	6113
0.30	2193	0.81	3604	1.32	4601	1.83	5418	2.34	6128
0.31	2230	0.82	3625	1.33	4619	1.84	5433	2.35	6140
0.32	2266	0.83	3657	1.34	4636	1.85	5447	2.36	6153
0.33	2301	0.84	3669	1.35	4653	1.86	5462	2.37	6166
0.34	2335	0.85	3690	1.36	4671	1.87	5477	2.38	6179
0.35	2369	0.86	3709	1.37	4688	1.88	5491	2.39	6192
0.36	2403	0.87	3729	1.38	4705	1.89	5506	2.40	6205
0.37	2436	0.88	3758	1.39	4722	1.90	5521	2.41	6217
0.38	2469	0.89	3779	1.40	4739	1.91	5535	2.42	6230
0.39	2501	0.90	3800	1.41	4756	1.92	5550	2.43	6243
0.40	2533	0.91	3821	1.42	4773	1.93	5564	2.44	6256
0.41	2563	0.92	3842	1.43	4790	1.94	5579	2.45	6269
0.42	2595	0.93	3863	1.44	4806	1.95	5593	2.46	6282
0.43	2626	0.94	3884	1.45	4823	1.96	5608	2.47	6294
0.44	2656	0.95	3904	1.46	4840	1.97	5623	2.48	6307
0.45	2687	0.96	3924	1.47	4856	1.98	5637	2.49	6320
0.46	2716	0.97	3945	1.48	4873	1.99	5651	2.50	6332
0.47	2746	0.98	3965	1.49	4889	2.00	5664	2.60	6458
0.48	2775	0.99	3985	1.50	4905	2.01	5678	2.70	6581
0.49	2804	1.00	4005	1.51	4921	2.02	5692	2.80	6702
0.50	2832	1.01	4025	1.52	4938	2.03	5706	2.90	6820
0.51	2860	1.02	4045	1.53	4954	2.04	5720	3.00	6937
								3.10	7051
								3.20	7164
								3.30	7275
								3.40	7385
								3.50	7492
								3.60	7599
								3.70	7704
								3.80	7807
								3.90	7909
								4.00	8010
								4.10	8109
								4.20	8208
								4.30	8305
								4.40	8401
								4.50	8496
								4.60	8590
								4.70	8683
								4.80	8774
								4.90	8865
								5.00	8955
								5.10	9044
								5.20	9133
								5.30	9220
								5.40	9307
								5.50	9392
								5.60	9477
								5.70	9562
								5.80	9645
								5.90	9728
								6.00	9810
								6.10	9891
								6.20	9972
								6.30	10052
								6.40	10132
								6.50	10210
								6.60	10289
								6.70	10366
								6.80	10444
								6.90	10520
								7.00	10596
								7.50	10968
								8.00	11328
								8.50	11675
								9.00	12015
								9.50	12344
								10.00	12665
								11.00	13293
								12.00	13874
								13.00	14440
								13.61	14775
								14.00	14986

**ANEXO 4.**

**PLANOS.**



**ELEVACION FRONTAL**  
ESCALA 1 : 200

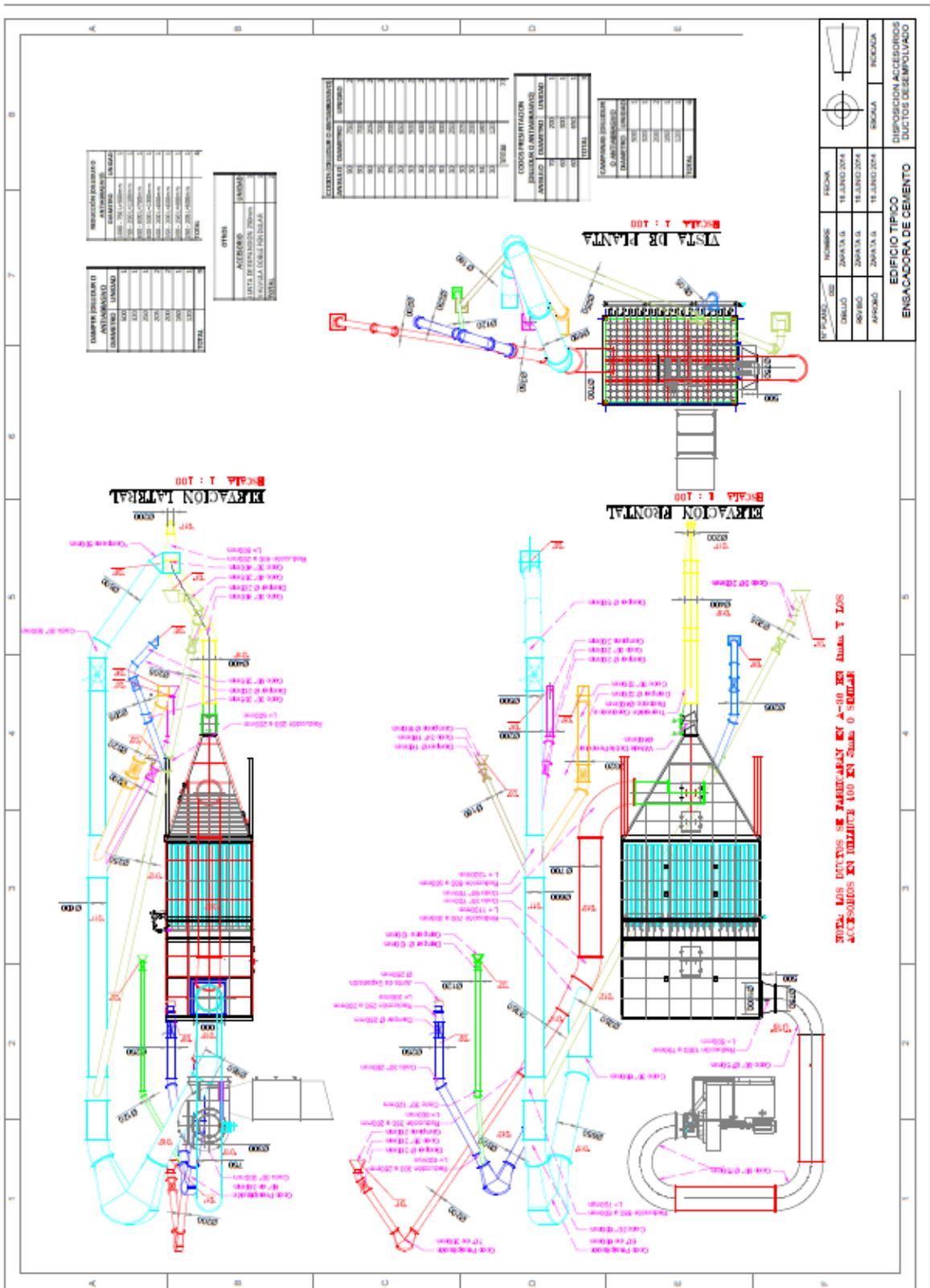
**ELEVACION LATERAL**  
ESCALA 1 : 200

**VISTA DE PLANTA**  
ESCALA 1 : 200

LONGITUDES DE DUCTOS (mm)

EQUIPO	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (mm)
ELEVADOR	02	200
SILO	02	220
TAPA ENSACADORA	03	300
BRANCA 1	04	200
BRANCA 2	05	220
RECHAZO SACOS	06	200
RECHAZO DUCTOS	07	200
RECHAZO DUCTOS	08	200
RECHAZO DUCTOS	09	200
RECHAZO DUCTOS	10	200
RECHAZO DUCTOS	11	200
RECHAZO DUCTOS	12	200
RECHAZO DUCTOS	13	200
RECHAZO DUCTOS	14	200
RECHAZO DUCTOS	15	200
RECHAZO DUCTOS	16	200
RECHAZO DUCTOS	17	200
RECHAZO DUCTOS	18	200
RECHAZO DUCTOS	19	200
RECHAZO DUCTOS	20	200
RECHAZO DUCTOS	21	200
RECHAZO DUCTOS	22	200
RECHAZO DUCTOS	23	200
RECHAZO DUCTOS	24	200
RECHAZO DUCTOS	25	200
RECHAZO DUCTOS	26	200
RECHAZO DUCTOS	27	200
RECHAZO DUCTOS	28	200
RECHAZO DUCTOS	29	200
RECHAZO DUCTOS	30	200
RECHAZO DUCTOS	31	200
RECHAZO DUCTOS	32	200
RECHAZO DUCTOS	33	200
RECHAZO DUCTOS	34	200
RECHAZO DUCTOS	35	200
RECHAZO DUCTOS	36	200
RECHAZO DUCTOS	37	200
RECHAZO DUCTOS	38	200
RECHAZO DUCTOS	39	200
RECHAZO DUCTOS	40	200
RECHAZO DUCTOS	41	200
RECHAZO DUCTOS	42	200
RECHAZO DUCTOS	43	200
RECHAZO DUCTOS	44	200
RECHAZO DUCTOS	45	200
RECHAZO DUCTOS	46	200
RECHAZO DUCTOS	47	200
RECHAZO DUCTOS	48	200
RECHAZO DUCTOS	49	200
RECHAZO DUCTOS	50	200
RECHAZO DUCTOS	51	200
RECHAZO DUCTOS	52	200
RECHAZO DUCTOS	53	200
RECHAZO DUCTOS	54	200
RECHAZO DUCTOS	55	200
RECHAZO DUCTOS	56	200
RECHAZO DUCTOS	57	200
RECHAZO DUCTOS	58	200
RECHAZO DUCTOS	59	200
RECHAZO DUCTOS	60	200
RECHAZO DUCTOS	61	200
RECHAZO DUCTOS	62	200
RECHAZO DUCTOS	63	200
RECHAZO DUCTOS	64	200
RECHAZO DUCTOS	65	200
RECHAZO DUCTOS	66	200
RECHAZO DUCTOS	67	200
RECHAZO DUCTOS	68	200
RECHAZO DUCTOS	69	200
RECHAZO DUCTOS	70	200
RECHAZO DUCTOS	71	200
RECHAZO DUCTOS	72	200
RECHAZO DUCTOS	73	200
RECHAZO DUCTOS	74	200
RECHAZO DUCTOS	75	200
RECHAZO DUCTOS	76	200
RECHAZO DUCTOS	77	200
RECHAZO DUCTOS	78	200
RECHAZO DUCTOS	79	200
RECHAZO DUCTOS	80	200
RECHAZO DUCTOS	81	200
RECHAZO DUCTOS	82	200
RECHAZO DUCTOS	83	200
RECHAZO DUCTOS	84	200
RECHAZO DUCTOS	85	200
RECHAZO DUCTOS	86	200
RECHAZO DUCTOS	87	200
RECHAZO DUCTOS	88	200
RECHAZO DUCTOS	89	200
RECHAZO DUCTOS	90	200
RECHAZO DUCTOS	91	200
RECHAZO DUCTOS	92	200
RECHAZO DUCTOS	93	200
RECHAZO DUCTOS	94	200
RECHAZO DUCTOS	95	200
RECHAZO DUCTOS	96	200
RECHAZO DUCTOS	97	200
RECHAZO DUCTOS	98	200
RECHAZO DUCTOS	99	200
RECHAZO DUCTOS	100	200
TOTAL		8000

PROYECTISTA	INGENIERO	FECHA
DELIJO	ZAPATA G.	16 JUNIO 2014
REVISO	ZAPATA G.	16 JUNIO 2014
APROBO	ZAPATA G.	16 JUNIO 2014
EDIFICIO TÍPICO		
ENSACADORA DE CEMENTO		
ESCALA		INDICADA
DISPOSICION GENERAL		DUCTOS DESEMPOLVADO



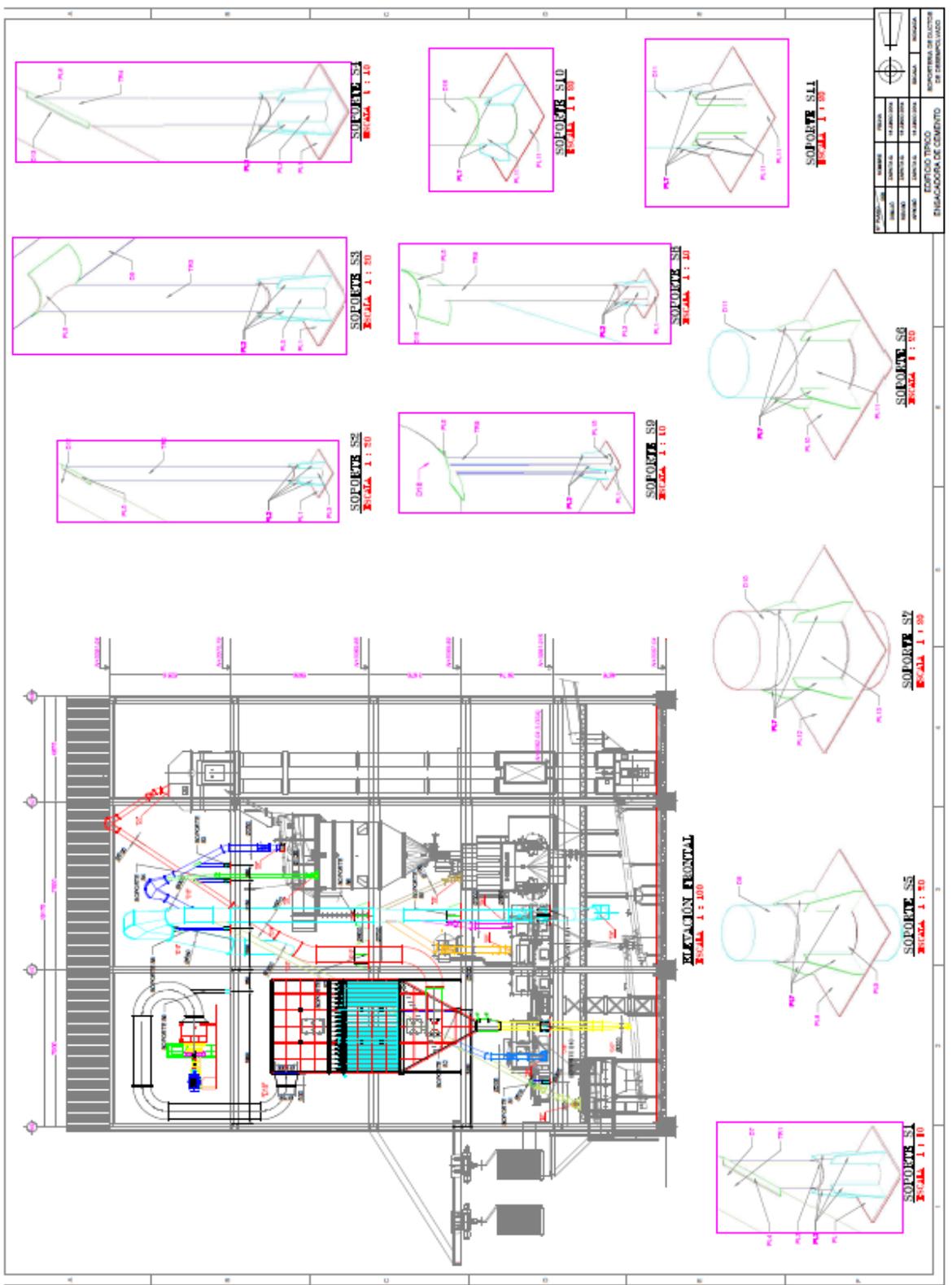
FECHA	PROYECTO	PROYECTANTE	PROYECTADO POR	PROYECTADO POR	PROYECTADO POR
18 JUNIO 2014	ENSACADORA DE CEMENTO	JAVIER A. GARCIA	JAVIER A. GARCIA	JAVIER A. GARCIA	JAVIER A. GARCIA
18 JUNIO 2014		JAVIER A. GARCIA	JAVIER A. GARCIA	JAVIER A. GARCIA	JAVIER A. GARCIA
18 JUNIO 2014		JAVIER A. GARCIA	JAVIER A. GARCIA	JAVIER A. GARCIA	JAVIER A. GARCIA

EDIFICIO TÍPICO  
ENSACADORA DE CEMENTO  
DISTRIBUCIÓN DE DUCTOS DE DESMOLVADO ACCESORIOS

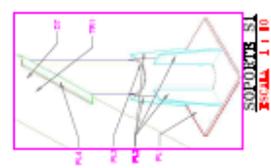
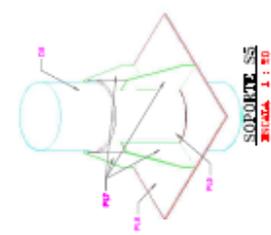
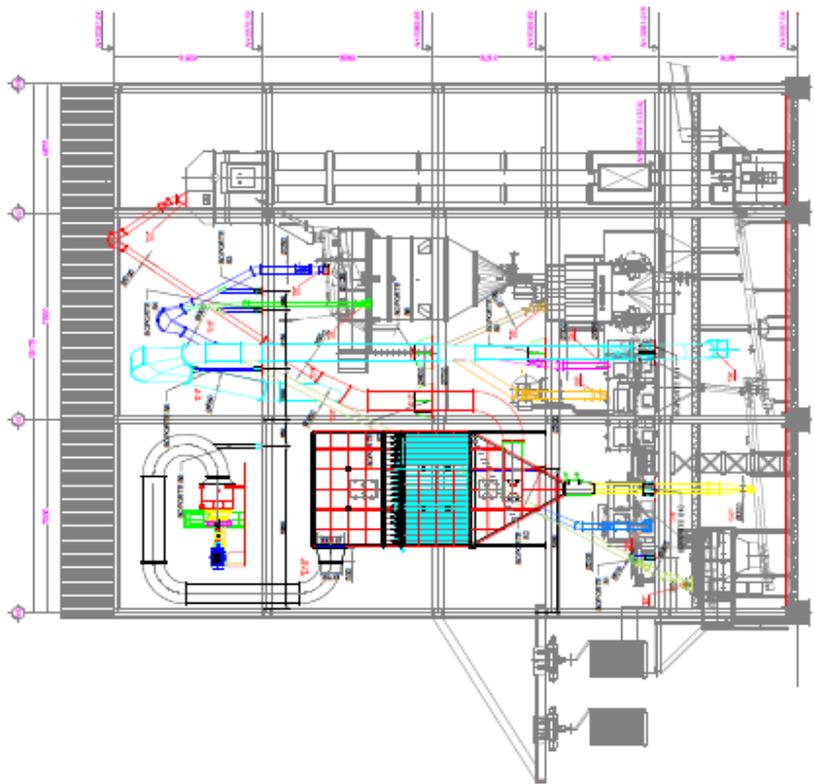
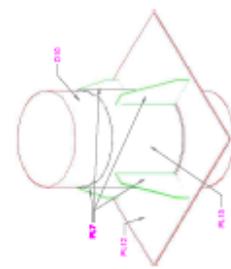
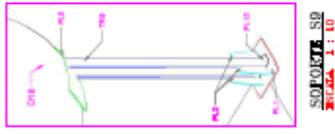
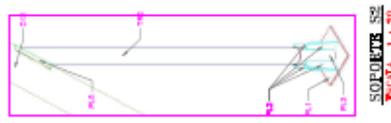
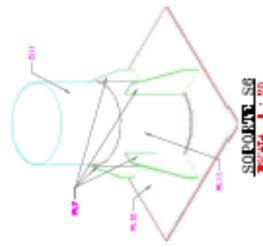
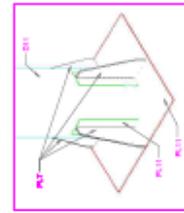
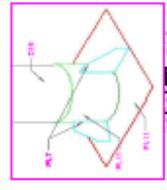
DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS	CANTIDAD	UNIDAD
DUCTOS DE 150mm	100	M
DUCTOS DE 200mm	50	M
DUCTOS DE 250mm	20	M
DUCTOS DE 300mm	10	M
DUCTOS DE 350mm	5	M
DUCTOS DE 400mm	2	M
DUCTOS DE 450mm	1	M
DUCTOS DE 500mm	1	M
TOTAL	199	M

DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS	CANTIDAD	UNIDAD
DUCTOS DE 150mm	100	M
DUCTOS DE 200mm	50	M
DUCTOS DE 250mm	20	M
DUCTOS DE 300mm	10	M
DUCTOS DE 350mm	5	M
DUCTOS DE 400mm	2	M
DUCTOS DE 450mm	1	M
DUCTOS DE 500mm	1	M
TOTAL	199	M

NOTA: LOS DUCTOS SE FABRICARÁN EN 4-80 EN 300mm Y 100mm ACCESORIOS EN 100mm EN 100mm O 200mm



PROYECTO	FECHA	ESCALA	PROYECTISTA	REVISOR	APROBADO	OTRO
EDIFICIO TIPO	14.08.2014	1:10	...	...	...	...
ENLAZADOR DE CEMENTO	14.08.2014	1:10	...	...	...	...
REPORTERÍA DE ESTRUCTURA DE CONCRETO	14.08.2014	1:10	...	...	...	...



## ANEXO 5.

### CANTIDAD DE AIRE A DESEMPOLVAR.

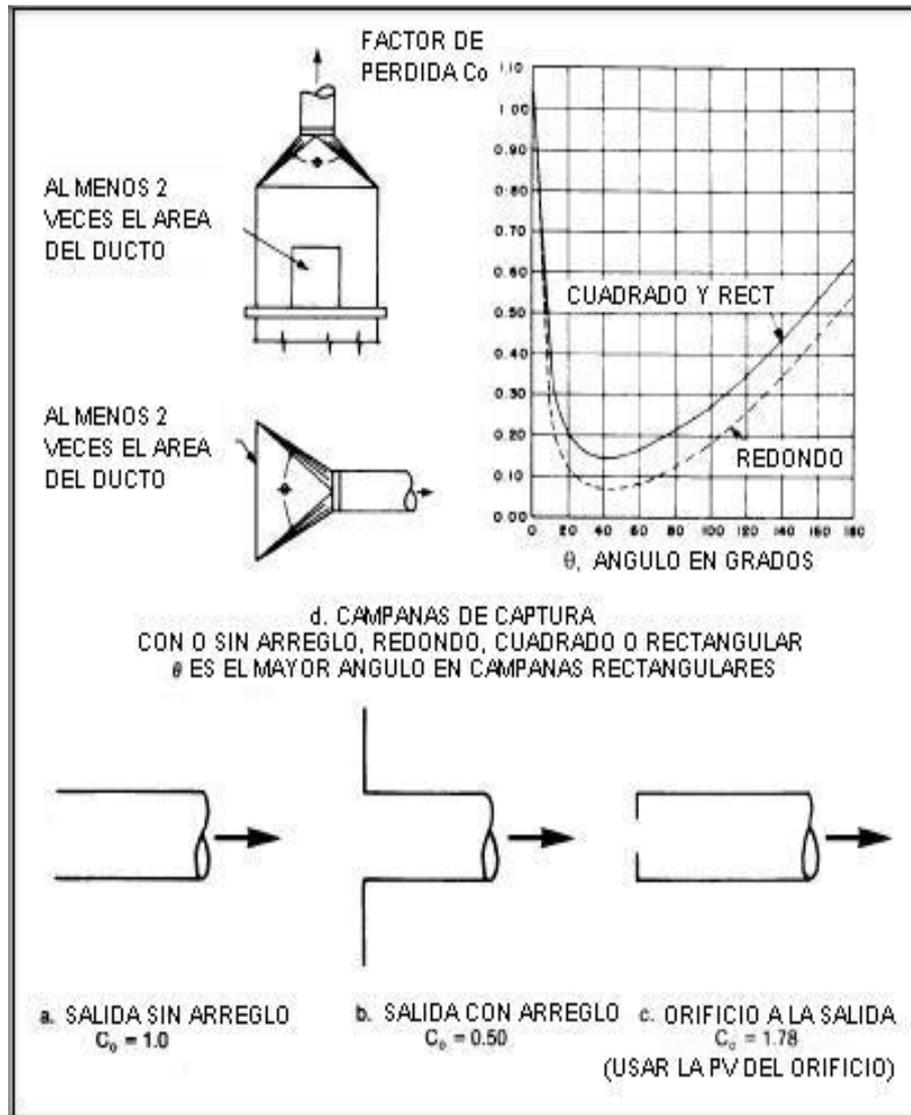
**TABLA 1. CANTIDAD DE AIRE A DESEMPOLVAR SEGÚN EL EQUIPO DE ACUERDO AL HOLCIM DESIGN CRITERIA<sup>90</sup>**

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

<sup>90</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/31.

## ANEXO 6.

### COEFICIENTES DE PÉRDIDAS EN CAMPANAS COLECTORAS.



**FIGURA 1. FACTOR DE PERDIDA EN CAMPANAS<sup>91</sup>**

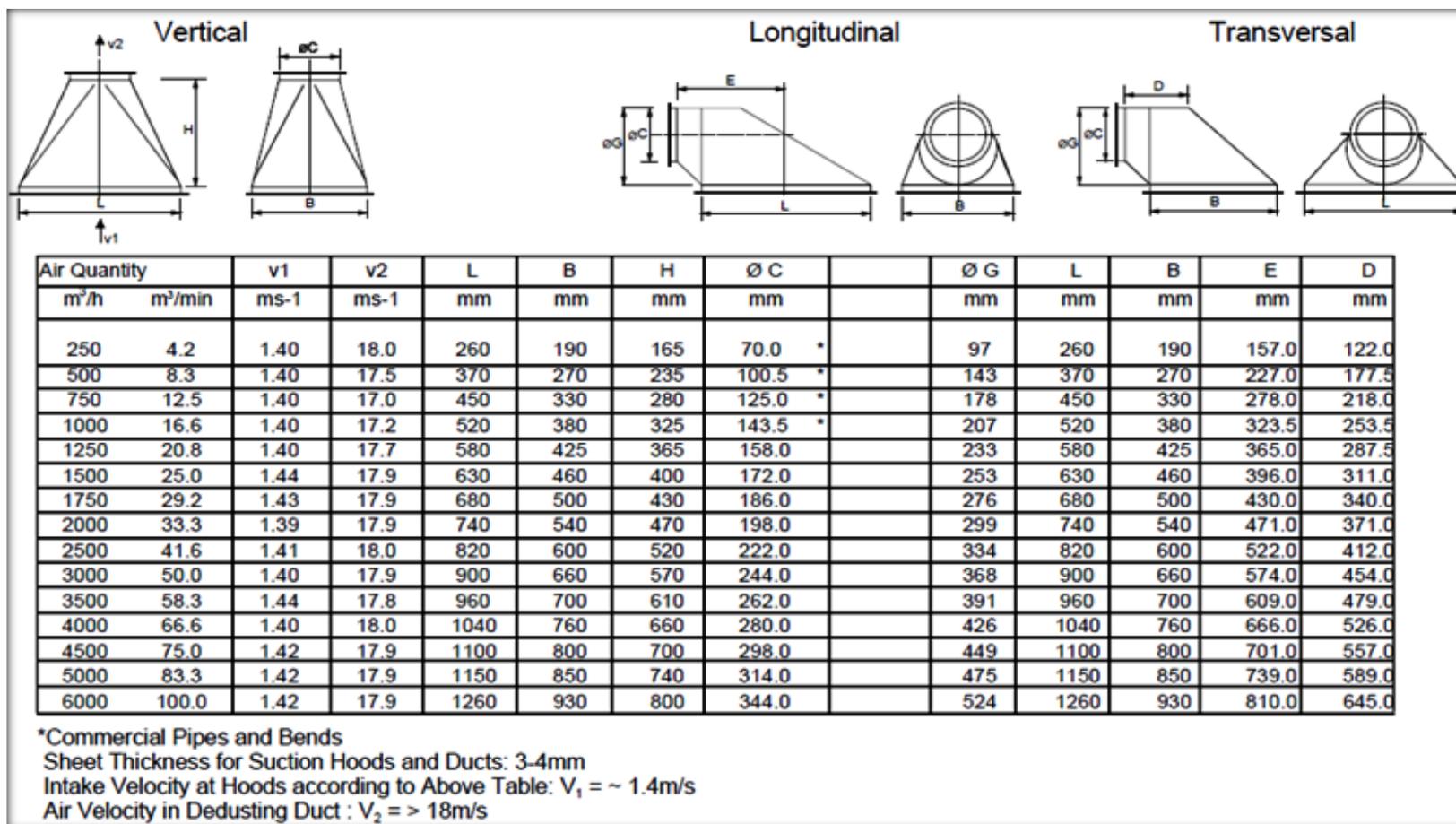
<sup>91</sup> FUENTE: Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

**TABLA 1. RANGO DE VELOCIDADES DE CAPTURA<sup>92</sup>**

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

<sup>92</sup> **FUENTE:** Arias, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Espol Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006

TABLA 2. DISEÑO DE CAMPANAS DE CAPTURA<sup>93</sup>



<sup>93</sup> FUENTE: Holcim Design Criteria; Holcim Group Support; Fabric Dust Collection; p. B1/35.

# ANEXO 7.

## TABLAS PARA CÁLCULOS DE PÉRDIDAS EN CONDUCTOS.

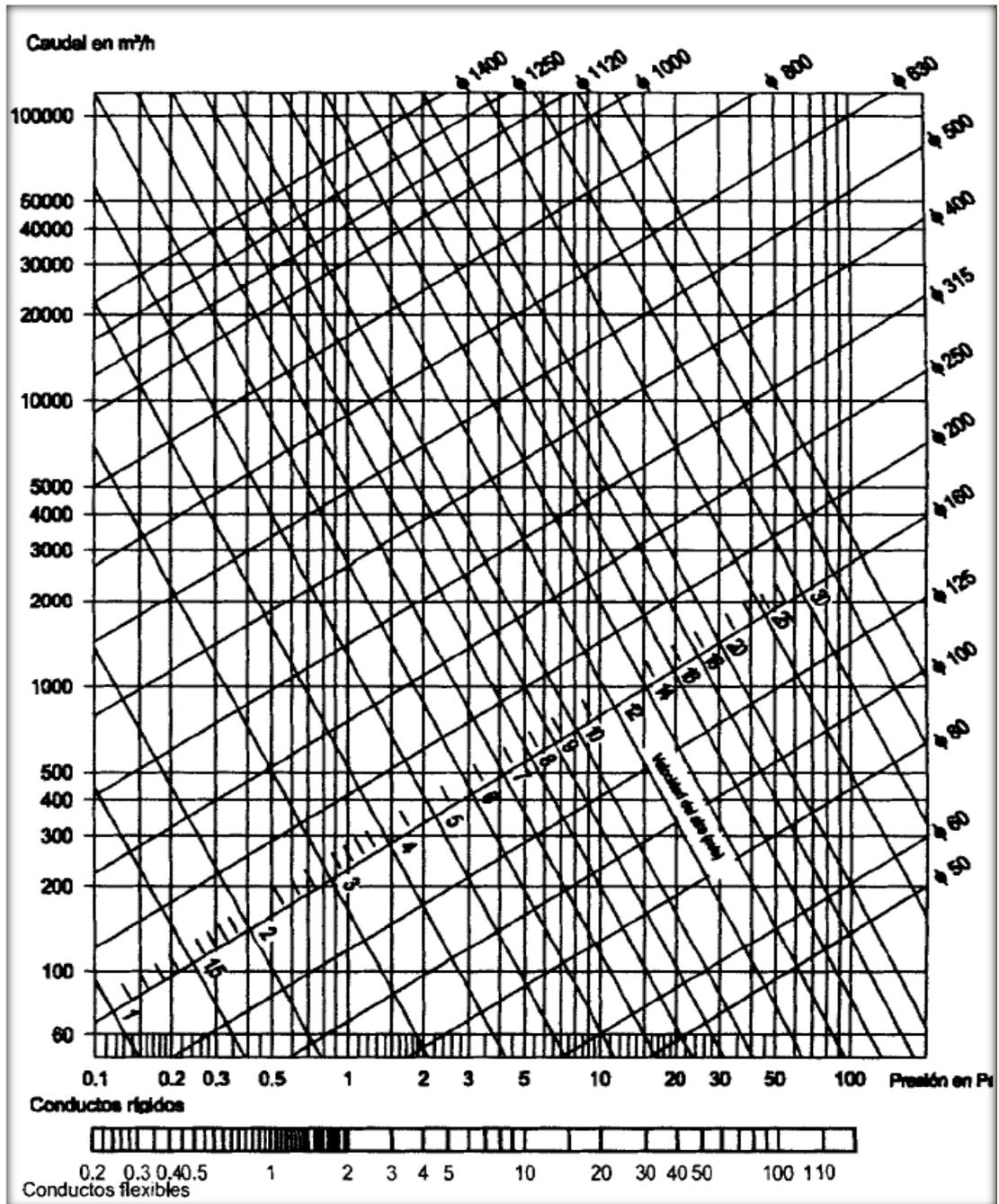


FIGURA 1. PÉRDIDA DE CARGA EN CONDUCTOS CIRCULARES.

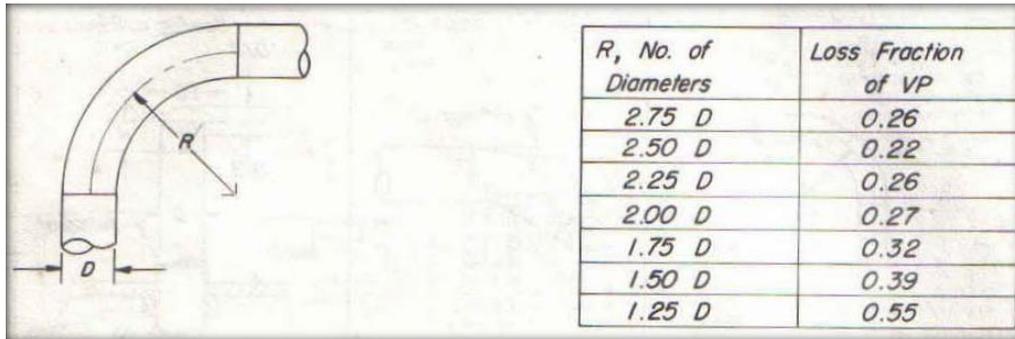


FIGURA 2. FACTOR DE PÉRDIDAS EN CODOS.

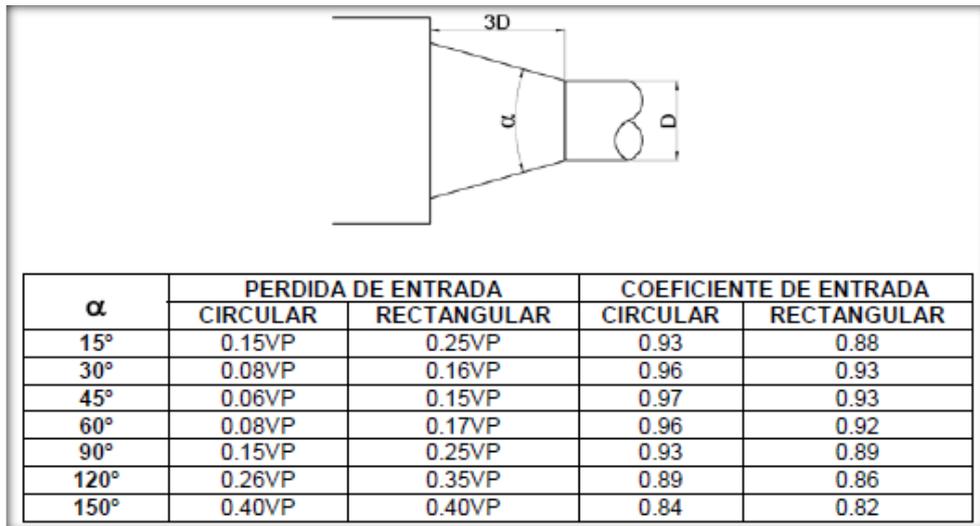


FIGURA 3. FACTOR DE PÉRDIDAS PARA REDUCCIONES.



FIGURA 4. FACTOR PARA Y (PANTALÓN)

## ANEXO 8.

### TABLA DE TEJIDOS

TABLA 1. PROPIEDADES DE RESISTENCIA EN MATERIALES DE TEJIDOS

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

## **ANEXO 9.**

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

**TABLA 1. VALORES DE COEFICIENTES**

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

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

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

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

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

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

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

## ANEXO 10.

### POSICIONES DE LOS VENTILADORES.

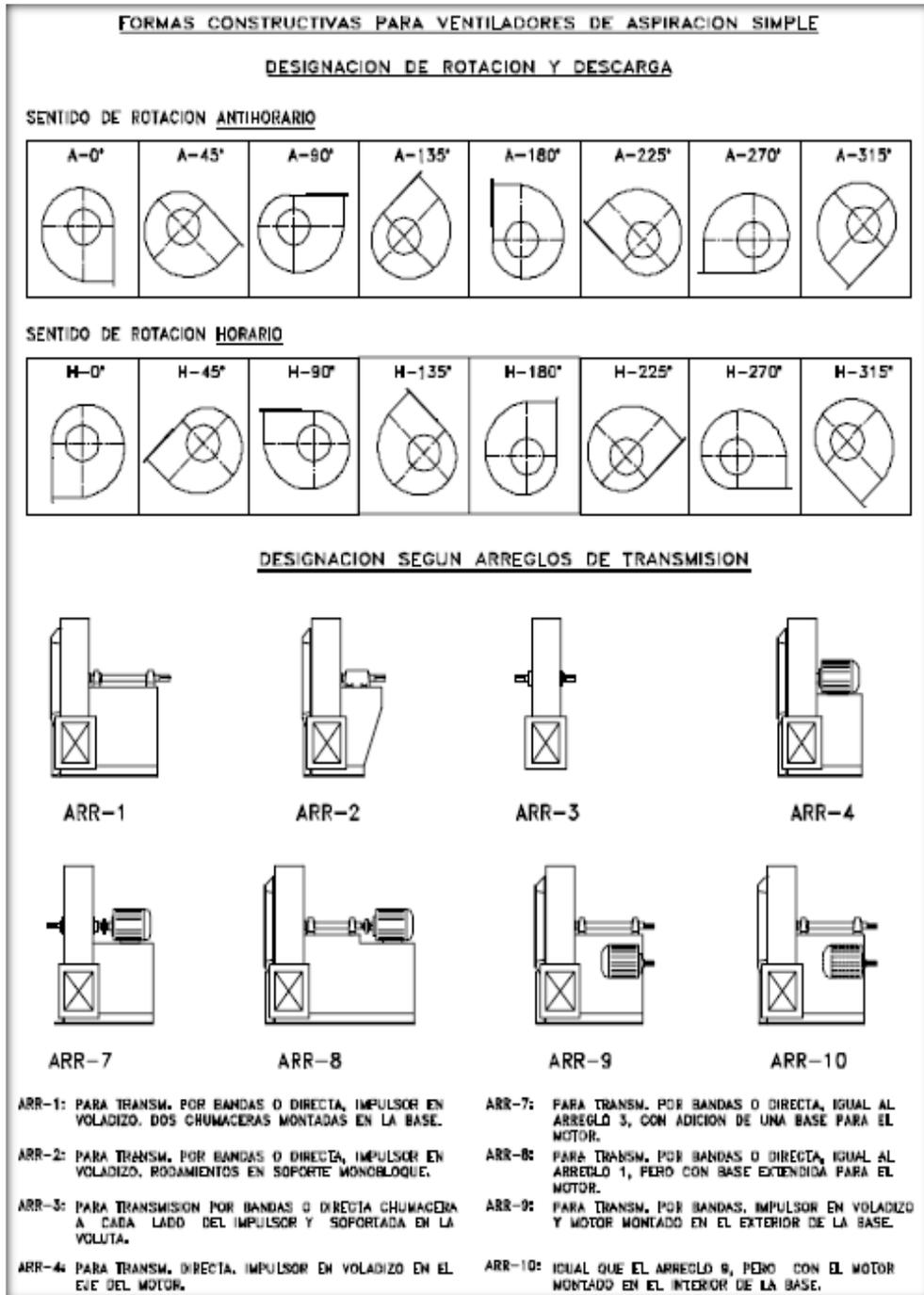


FIGURA 1. POSICIONES DE LAS VOLUTAS DE LOS VENTILADORES

## ANEXO 11.

### COTIZACION DE LOS DIFERENTES EQUIPOS DEL SISTEMA.

**TABLA 1. DETALLE DE FABRICACION DEL FILTRO DE MANGAS, VENTILADOR DE CON SUS RESPECTIVOS SOPORTES**

Espejo	Material	Dimensiones	Cant.	Peso (Kg)	P.U. (\$)	P. T. (\$)
<i>placa de espejo</i>	A36	4.08x2.61x0.004 m	1	334,37	3,00	1.003,11
<i>platina de refuerzo</i>	A36	5"*1/4"	5	35,89	3,00	538,35
<i>agujeros</i>	N/A	D=0.160m	228		45,00	10.260,00
					<b>TOTAL</b>	<b>\$ 11.801,46</b>

Flautas	Material	Dimensiones	Cant.	Peso (Kg)	P.U. (\$)	P. T. (\$)
<i>Flauta 19 tubos 3m</i>	A36/Galv.	Tubo D=1" ced 40 galv.L 6m	10		34,84	348,40
<i>Agujeros</i>	N/A	\$180 c/12 agujeros	19		180,00	3.420,00
<i>Roscado</i>	N/A		38			760,00
					<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4.528,40</b>

Manifold	Material	Dimensiones	Cant.	Peso (Kg)	P.U. (\$)	P. T. (\$)
<i>Manifold tubo 6" ced 40</i>	A36	Tubo D=6" ced 40 L 6 m	2			570,80
<i>Casquetes</i>	A36	\$180 c/casquete	6			1.080,00
<i>base</i>	A36	\$80 c/base	3			240,00
<i>M.O. soldadura</i>	N/A	\$180 por los 3 manifold				180,00
					<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.070,80</b>

calculo de consumo de aire de las valvulas	
<i>consumo c/valvula= 20m3/h * h/3600seg * 2seg c/disparo * 6 disparos/h * 36 valvulas</i>	
Consumo M3/h	2,4

Cuerpo	Material	Dimensiones	Cant.	Peso (Kg)	P.U. (\$)	P. T. (\$)
<i>planchas</i>	A36	1,22x2,44x0,003m	12	70,10	3,00	2.523,60
<i>platina de refuerzo</i>	A36	2"x8mm	16	18,84	3,00	904,32
					<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3.427,92</b>

Tolva	Material	Dimensiones	Cant.	Peso (Kg)	P.U. (\$)	P. T. (\$)
<i>planchas</i>	A36	2,00x6,00x0,005m	2	471,00	3,00	2.826,00
<i>planchas</i>	A36	1,50x6,00x0,005m	2	353,25	3,00	2.119,50
<i>plancha</i>	Cronit	1,5x0x6,00x0,010m	1	706,50	8,00	5.652,00

**TOTAL \$ 10.597,50**

ducteria y otros	Material	Dimensiones	Cant. (m)	Peso (Kg)	P.U. (\$)	P. T. (\$)
Valvula doble pendular	A36					
ducto al elevador	A36	d=200mm e=4mm	7,00	147,77	3,30	487,64
ducto al silo	A36	d=120mm e=4mm	4,50	56,99	3,30	188,07
ducto tapa ensacadora	A36	d=160mm e=4mm	7,50	126,66	3,30	417,98
ducto banda 1	A36	d=200mm e=4mm	3,00	63,33	3,30	208,99
ducto banda 2	A36	d=320mm e=4mm	2,10	70,93	3,30	234,07
ducto rechazo sacos	A36	d=205mm e=4mm	5,70	123,33	3,30	406,99
ducto destructor sacos	A36	d=205mm e=4mm	7,50	162,29	3,30	535,56
ducto ensacadora	A36	d=500mm e=4mm	6,50	343,04	3,30	1.132,03
ducto criba	A36	d=250mm e=4mm	2,50	65,97	3,30	217,70
ducto principal	A36	d=700mm e=4mm	3,70	255,49	3,30	843,12
ducto descarga filtro	A36	d=400mm e=4mm	4,10	173,10	3,30	571,23
ducto salida ventilador	A36	d=750mm e=4mm	7,70	609,56	3,30	\$ 2.011,55
					<b>TOTAL</b>	<b>\$ 7.254,92</b>

estructura soporte	Cant.	Dimensiones	Peso Unit.	Peso (Kg)	P.U. (\$)	P. T. (\$)
Estructuras de soportación	2	UPN 100	63,60	127,20	2,00	254,40
	2	Fleje 200x6x6000	56,52	113,04	2,00	226,08
	24	pernos expansivos			18,00	432,00
					<b>TOTAL</b>	<b>\$ 254,40</b>

embalaje y transporte	Cantidad	Dimensiones	Peso Unit.	Peso (Kg)	P.U. (\$)	P. T. (\$)
Embalaje						400
					<b>sub total 1</b>	
Transp. de equipos y otros	2	plataforma de 12mt			300,00	600,00
	8	camión grúa			60,00	480,00
	50	Canter			20,00	1.000,00
	15	camioneta			35,00	525,00
	16	Grúa de 70 ton			125,00	2.000,00
	1	trans. de grúa			2.500,00	2.500,00
					<b>sub total 2</b>	<b>\$ 7.105,00</b>

**TABLA 2. DETALLE DE FABRICACIÓN DEL VENTILADOR**



Señores  
**MOLEMOTOR**  
 Ciudad

Atn: Sr. Gabriel Mogdón

Oferta No.	MA2-2012-12	Fecha:	Marzo 30, 2012
Referencias:	Ventilador centrífugo industrial para Filtro Desempolvado		

Precios:	En dólares.	Entrega:	10 semanas ex fábrica DELTA
Forma de Pago:	50% anticipo. 50% contra entrega en fábrica DELTA		
Validez:	Siete (7) días.		

Renglón	Cantidad	Descripción	Precios	
			Unitario	Renglón
A	1	Ventilador centrífugo industrial de 28.500 m <sup>3</sup> /h, 30 mbar (306 mm H <sub>2</sub> O) de presión total, para operar con una temperatura de 80 °C, a 3200 m.s.n.m. Se fabrica de acero al carbono, transmisión según arreglo ARR-8, A-0, con acople Falk tipo T10, chumaceras partidas de doble hilera de rodillos a rotula. No se incluye motor eléctrico.		
		<b>TOTAL EX FABRICA GUAYAQUIL</b>	<b>USD.</b>	<b>12,450.00</b> =====
		<b>NOTAS:</b>		
		Los precios no incluyen el IVA.		
		Los precios no incluyen trabajos de montaje ni transporte.		
		El ventilador se entrega pre-alineado en fábrica DELTA. La alineación final debe ser realizada por terceros una vez que el equipo haya sido instalado y anclado en sitio.		
		La potencia absorbida al eje del ventilador es de 39.0 hp, en el punto de operación normal de trabajo. Se recomienda instalar un motor eléctrico de 60 hp, 1800 rpm para vencer la inercia del rodete al momento del arranque. La potencia en arranque en frío (15 °C) será de 49 hp.		

**TABLA 3. PRESUPUESTO PARA EL SUMINISTRO FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL FILTRO DE DESEMPOLVADO.**

N.- item	DESCRIPCIÓN	Características Técnicas	Unid.	Cant.	USD
	<b><u>A.- Suministro y Montaje de Equipos/componentes</u></b>	-			
1	Ventilador centrífugo	25000 m3/h	Un.	1	\$12.450,00
2	Motor de alta eficiencia	150Hp-1800Rpm	Un.	1	\$5.764,92
3	Mangas de Poliéster de 6"x100" Tipo Snap Band		Un.	228	\$3.990,00
4	Canastilla Galvanizada de 5.875" x 99.5" de 12 alambres con venturi incluido			228	\$5.700,00
5	Medidor de presión diferencial Magnehelic				\$2.088,00
6	Caja de protección para solenoides tipo NEMA 4				\$200,00
7	Valvulas				\$2.888,00
8	Juntas de expansión	Caucho puro de 4mm	Un.	1	\$1.150,00
9	Repuestos recomendados para dos años de operación	20% de mangas y 5 válvulas	Global		\$1.558,00
10	Montaje de equipos				\$6.720,00
	<b>Total A</b>				<b>\$42.508,92</b>
	<b><u>B.- Equipos adicionales</u></b>	-			
11	Válvula de doble efecto		Un.	1	\$4.025,00
	<b>Total B</b>				<b>\$4.025,00</b>
	<b><u>C.- Fabricación y Montaje (Fab Local)</u></b>	-			
12	Cuerpo del filtro		Global		\$3.427,92
13	Tolva del filtro + deflectores		Global		\$10.597,50
14	Espejo		Global		\$11.801,46
15	ducto al elevador		Kg.	147,77	\$487,64
16	ducto al silo		Kg.	56,99	\$188,07
17	ducto tapa ensacadora		Kg.	126,66	\$417,98
18	ducto banda 1		Kg.	63,33	\$208,99
19	ducto banda 2		Kg.	70,93	\$234,07
20	ducto rechazo sacos		Kg.	123,33	\$406,99
21	ducto destructor sacos		Kg.	162,29	\$535,56
22	ducto ensacadora		Kg.	343,04	\$1.132,03
23	ducto criba		Kg.	65,97	\$217,70
24	ducto principal		Kg.	255,49	\$843,12
25	ducto descarga filtro		Kg.	173,1	\$571,23
26	ducto salida ventilador		Kg.	609,56	\$2.011,55

27	Estructuras de soportación		Kg.	240,24	\$7.500,00
	<b>Total C</b>				<b>\$40.581,81</b>
	<b>D.- Embalaje y transporte</b>				
28	Embalaje		Global	1	\$400,00
29	Transporte de equipos y otros dentro del Ecuador		Global	1	\$7.105,00
	<b>Total D</b>				<b>\$7.505,00</b>
	<b>E.- Trabajos eléctricos y electrónicos</b>				
30	Montaje Eléctrico				\$4.300,00
31	Montaje Electrónico				\$3.700,00
32	Cuarto de Control				\$3.000,00
	<b>Total E</b>				<b>\$11.000,00</b>
	<b>F.- Condiciones comerciales</b>				
33	Desaduanización	-			\$24.000,00
34	Tiempo de entrega				120 días laborables
35	Sistema de pago				40% anticipo 40% inicio de montaje 20% entrega de la obra
36	Validez de la oferta				30 días calendario
	<b>Total F</b>				<b>\$24.000,00</b>
	<b>Total (A+B+C+D+E+F)</b>				<b>\$129.620,73</b>
	<b>G.-POLIZAS</b>				
37	Pólizas por el buen uso de anticipo (100% del anticipo)				<b>\$797,56</b>
38	Pólizas por el fiel cumplimiento del contrato (10% del contrato)				<b>\$348,59</b>
	<b>Total General (A+B+C+D+E+F)+G</b>				<b>\$130.766,88</b>

## **BIBLIOGRAFIA:**

- 1) ALEMAN, Francisco. Análisis y Evolución de los Costos de los Principales Insumos del Sector de la Construcción en el Ecuador en el Período 2004 –2011; Ecuador; 2012
- 2) ARIAS, Juan, *Análisis al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* Tesis Facultad De Ingeniería Mecánica Y Ciencias De La Producción, Escuela Superior del Litoral, 2006
- 3) Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, Norma de Calidad del Aire Ambiente, Libro VI Anexo 4, Ecuador, 2003
- 4) BHA, *Guía de Referencias y Soluciones de Problemas*, 1998
- 5) BUCHELLI, Luis, *Diseño Fluidodinámico de un Sistema de Extracción de Polvo en un Ingenio Azucarero*, Tesis Espol Facultad De Ingeniería En Mecánica Y Ciencias De La Producción, Guayaquil, 2006
- 6) CECALA, Andrew B. Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing; Center for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Office of Mine Safety and Health Research; Spokane WA; 2012
- 7) DURAN, José Antonio, El Financiera, Editorial Arroyo, México 2009
- 8) *Fabric Dust Collector Systems*, HOLCIM-ECUADOR.

- 9) GARCÍA, DAVID, *Equipo para el transporte de materiales de la industria azucarera, transportadores y bomba*, Unidad de producción del EMAV, Cuba, 1987
  
- 10)GE, *Principios Básicos de Ventiladores* GE Energy
  
- 11)GE, *Principios Básicos para Diseño de Ducterías* GE Energy,
  
- 12)GE, *Diseño Básico de Colectores Pulse-Jet* GE Energy,
  
- 13)KOHLHAAS, B. and 16 other authors, *Cement Engineers' Handbook*, Fourth English edition Bauverlag 1983