



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

“Selección de un sistema de desempolvado en área de trituración en
la industria cementera”

TRABAJO FINAL DE GRADUACION

Examen Complexivo

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Fernando Xavier Jiménez Matías.

GUAYAQUIL –ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTO

A Dios y a las personas que
brindaron su apoyo para la
realización de este TFG.

DEDICATORIA

A MI FAMILIA.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Dr. Juan Peralta.

VOCAL

Dra. Emérita Delgado.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Examen Complexivo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Fernando Xavier Jiménez Matías.

RESUMEN

En este trabajo se alcanzaron los objetivos fundamentales de seleccionar un sistema de desempolvado para el área de trituración en la industria cementera.

Se consideraron diversas alternativas de equipos de desempolvado, y basados en parámetros tales como eficiencia, factores técnicos económicos y, condiciones de trabajo, se estableció que la mejor opción es el filtro de mangas tipo pulse jet.

Se determinaron las variables involucradas tales como caudal, velocidad de captura, velocidad de transporte, relación aire tela, número de mangas, tipo de tela de las mangas, dimensiones de las mangas, obteniendo un sistema de desempolvado altamente eficiente.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	iii
INDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS.....	vi
SIMBOLOGÍA.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. SELECCION DEL TIPO DE COLECTOR DE POLVO.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Tipos de colectores de polvos	5
1.2.1. colectores de polvos tipo ciclón.....	7

1.2.2. Precipitador electrostático.....	8
1.2.3. Filtro de mangas.....	10
1.3 selección del tipo colector de polvo.....	10

CAPITULO 2

2. TIPOS DE FILTROS DE MANGAS.....	13
2.1. Tipos de filtro de mangas.....	13
2.2. Filtro de Manga pulse jet.....	15

CAPÍTULO 3

3. SELECCIÓN DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA	17
3.1 Volumen de aire total.....	17
3.2 velocidad de captura	19
3.3 velocidad de transporte en los ductos.....	19
3.4.campana de captura.....	20
3.5. Ductos.....	22

3.5.1. Tamaño de ducto.....	23
3.6. Relación gas-tela _Velocidad de filtración.....	24
3.7. Dimensionamiento de mangas.....	27
3.8. Número de mangas.....	27
3.9. Velocidad ascendente.....	28
3.10. Selección para la tela de filtrado.....	30
3.11 Selección del ventilador.....	32
3.12 Resultados.....	34
CAPITULO 4	
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
APENDICES	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

°C	Grado Centígrado
°F	Grado Fahrenheit
A/T	Relación aire tela
AT	Área total filtrante
ATM	Atmosfera
Cm	Cantidad de mangas
cm	Centímetro
Dm	Diámetro de mangas
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del litoral
ft	Pie Lineal
ft/min	Pie por Minuto
ft ²	Pie Cuadrado
ft ³ /min	Pie Cúbico por Minuto
g	Gravedad (9.81 m/s ²)
g/cm ³	Gramo por Centímetro Cúbico
g/m ²	Gramo por Metro Cuadrado
g/m ³	Gramo por Metro Cúbico
gr/ft ³	Grano por Pie Cúbico
HDC	Holcim desing critreria
Hp	Caballo de Fuerza
Kg	Kilogramo
Kg/m ³	Kilogramo por Metro Cúbico
Lb	Libra
Lb/ft ²	Libra por Pie Cuadrado

Lb/ft ³	Libra por Pie Cúbico
Lb/pulg ²	Libra por Pulgada Cuadrada (psi)
Lt	Litro
Lt/min	Litro por Minuto
m	Metro Lineal
m/min	Metro por Minuto
m/s	Metro por Segundo
m ²	Metro Cuadrado
m ³ /min	Metro Cúbico por Minuto
min	Minuto
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro Cuadrado
MPa	Megapascal
ms	Milisegundo
oz	Onza
Pa	Pascal
Pulg H ₂ O	Pulgada de Agua
pulg	Pulgada Lineal
RPM	Revoluciones por Minuto
s	Segundo
UDV	Universidad de Valencia
Va	Velocidad ascendente
Vc	Velocidad de captura
μm	Micra o Micrómetro
π	Pi (3.1416)

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
A	Área
A_{NETA}	Área Neta de Tela de Filtración
B	Ancho
D_p	Diámetro de Partícula
E	Espesor
FS	Factor de Seguridad
H	Altura
L	Longitud
N°	Número
N_{MANGAS}	Número Total de Mangas de un Filtro
Ø	Diámetro
P	Presión
P_e	Presión de Entrada al Filtro
Pot	Potencia
P_s	Presión de Salida del Filtro
Q_D	Caudal de Diseño
Q_e	Caudal de Entrada al Filtro
Q_{gas}	Caudal del Gas
Q_s	Caudal de Salida del Filtro
X	Profundidad del Filtro o de la Capa de Polvo

X_f	Profundidad del Filtro Limpio
X_p	Profundidad de la Capa de Polvo
ρ_g	Densidad del Gas
ΔP	Caída de Presión Total
ΔP_f	Caída de Presión a través de la Tela Limpia
ΔP_p	Caída de Presión a través del Pastel de Polvo
ΔP_s	Caída de Presión a través de la Estructura

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Fabricación de cemento.....	3
Figura 1.2	Puntos a desempolvar.....	4
Figura 1.3	Ciclón.....	7
Figura 1.4	Precipitador electrostático.....	9
Figura 2.1	Colector de polvo.....	17
Figura 3.1	Sistema de desempolvado.....	18
Figura 3.2	Conservación de masas en ductos.....	25
Figura 3.3	velocidad constante en ductos.....	25
Figura 3.4	Velocidad ascendente.....	29
Figura 3.5	Ventilador centrífugo.....	33
Figura 3.6	Tipos de turbinas.....	34

...

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Control de contaminación en la industria.....	6
Tabla 2	Equipos de contaminación industrial.....	11
Tabla 3	Tabla Comparativa de tipos de colectores de polvo.....	12
Tabla 4	característica de filtros de mangas.....	14
Tabla 5	Caudales de aire por equipos	19
Tabla 6	Rango de velocidades de captura.....	20
Tabla 7	Velocidades en ductos.....	21
Tabla 8	Campana de captura.....	22
Tabla 9	Velocidad de filtración.....	27
Tabla 10	Propiedades de la tela.....	32
Tabla 11	Resultados.....	34

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo la selección de un sistema de desempolvado en el área de trituración en una industria cementera tomando en cuenta todos los factores involucrados en el proceso.

Para alcanzar este objetivo este trabajo se lo dividido en 4 capítulos que abarcan lo siguiente: (1) selección del tipo de colector de polvo (2) selección del tipo de filtro de mangas (3) selección de los parámetros del sistema de desempolvado (4) conclusiones y recomendaciones.

El capítulo 1 plantea hace una descripción del problema y se realiza una comparación de los tipos de filtros que pueden utilizarse en el área de trituración en base a factores técnicos y económicos y con estos elementos se selecciona el adecuado para esa aplicación, del mismo modo se escoge el tipo de filtro de mangas a utilizarse.

En el capítulo 2 se escoge el tipo de filtro de mangas a utilizarse y se describe las partes que conforma un filtro de mangas con limpieza por pulsos.

El capítulo 3 proporciona la descripción de los parámetros involucrados en la selección del filtro tales como: caudales, velocidad de filtración, tela a utilizarse en las mangas con su respectivo dimensionamiento y enuncia los criterios técnicos para la selección optima del sistema de desempolvado.

En el capítulo 4 Se exponen las conclusiones y las recomendaciones con la finalidad de alcanzar mayor eficiencia y reducir costos financieros.

CAPITULO 1

1. SELECCIÓN DEL TIPO DE COLECTOR DE POLVO

1.1 Antecedentes.

El proceso de fabricación de cemento está conformado por las siguientes etapas:

- A. Extracción de materias primas.
- B. Trituración de materias primas.
- C. Molienda de crudo.
- D. Fabricación de Clinker.
- E. Molienda de cemento.
- .
- F. Envase y despacho.

En la figura 1.1 podemos apreciar las etapas mencionadas.

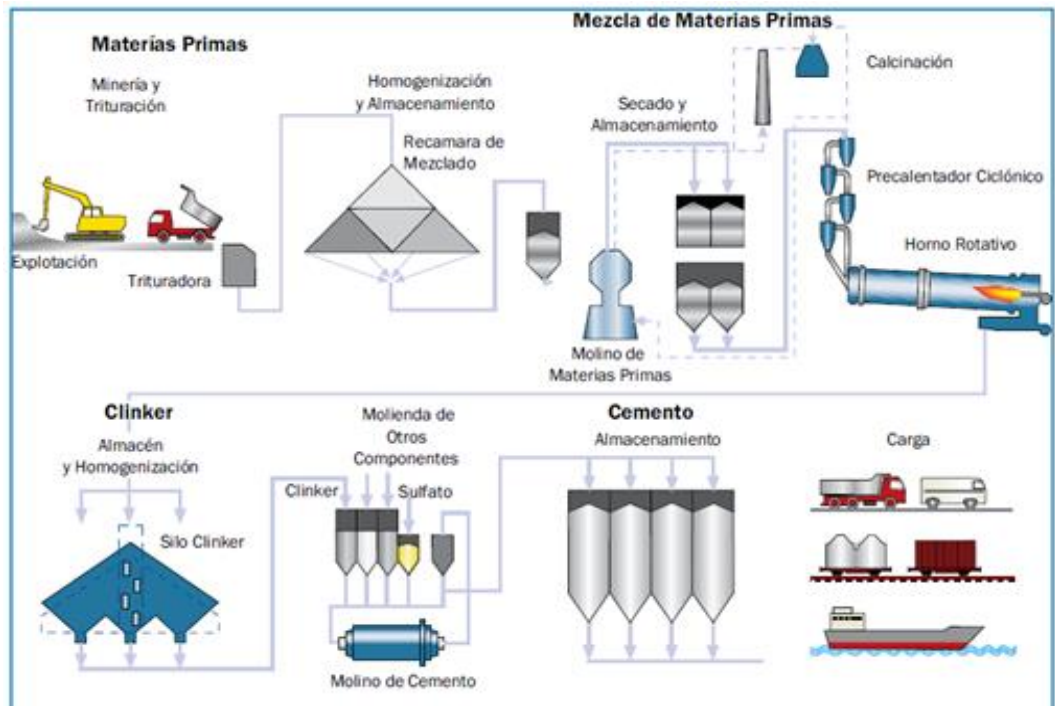


FIGURA 1.1. Fabricación de cemento

Fuente: HDC

Una de las etapas donde se produce la mayor emisión de partículas y derrame de material es la trituración esta fase se la realiza por medio de máquinas trituradoras primaria, secundaria y terciaria donde las piedras obtenidas en las canteras van reduciendo su tamaño, de 1 metro cubico hasta 1 cm cubico.

La trituradora primaria reduce el tamaño de la piedra después de la voladura hasta 20 a 25 cm de lado. La trituradora secundaria reduce el tamaño hasta 10 cm y con la trituradora terciaria se obtiene piedra de 1 a 5 cm.

Debido a la gran cantidad de pérdidas de material en esta etapa es necesario la implementación de un sistema de desempolvado con la finalidad de optimizar el proceso y reducir las pérdidas económicas.

El área a desempolvar tiene 3 equipos ubicados en el edificio de la trituradora primaria el cual tiene el siguiente esquema:

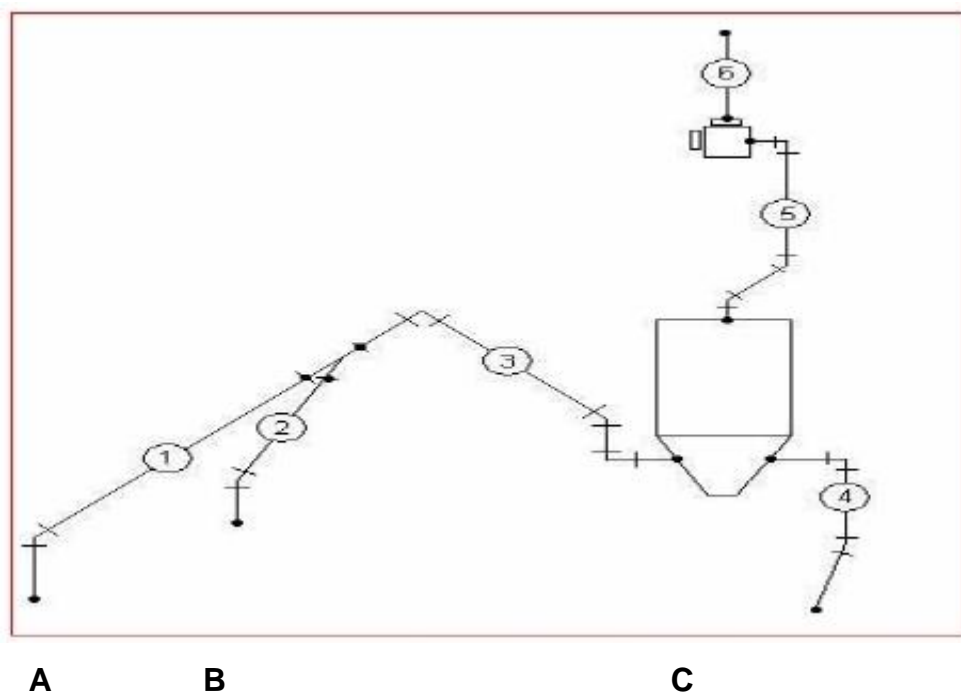


Figura 1.2 Puntos a desempolvar

Los puntos a desempolvar:

- A.** Banda transportadora (Alimentación) de 1200 mm.
- B.** Banda transportadora (Descarga) de 1800 mm.
- C.** Banda transportadora (Descarga) de 1000 mm.

Característica de la partícula

Tipo de polvo: Caliza.

Diámetro de la partícula: 10 micras.

Temperatura: 60 grados centígrados.

1.2. Tipos de colectores de polvo.

Los colectores de polvos se clasifican en cuatro grupos:

Por su aplicación en:

- Auxiliar (no paran la producción: puntos de transferencia de las bandas transportadoras, zarandas, elevadores).
- De proceso (afectan la producción).

Por el diseño de filtración:

- Filtración interior.
- Filtración exterior.

Por la presión del sistema:

- Presión positiva (ventilador antes del colector).
- Presión negativa (ventilador después del colector).

Por su operación:

- Colector tipo ciclones.
- Colectores húmedos.
- Precipitadores electrostáticos.
- Colectores tipo mangas.

TABLA 1
CONTROL DE CONTAMINACION EN LA INDUSTRIA

Industria o Proceso	Partículas	Método de Control.
<i>Fábricas de hierro y acero</i>	<i>Óxidos</i>	<i>CL, FM, PE, CH</i>
<i>Fundiciones de hierro gris</i>	<i>Óxidos</i>	<i>CH, CL</i>
<i>Metalurgia no ferrosa</i>	<i>Vapores</i>	<i>PE, FM</i>
<i>Refinerías de Petróleo</i>	<i>Polvos</i>	<i>CL, FM, PE, CH</i>
<i>Cemento Pórtland</i>	<i>Polvos</i>	<i>FM, PE, CL</i>
<i>Fábrica de Papel</i>	<i>Polvos</i>	<i>PE, CH</i>
<i>Manufactura de ácidos</i>	<i>Polvos, gas</i>	<i>PE</i>
<i>Vidrio y fibra de vidrio</i>	<i>Óxidos, gas</i>	<i>FM</i>

FUENTE: w. Jost. Phys. Chem. N.F.

Donde:

- CL Ciclones,
- FM Filtro de mangas,
- PE Precipitador electrostático,
- CH Colector húmedo.

De acuerdo a tabla 1 en la industria cementera se utilizan ciclones, filtros de mangas y precipitadores electrostáticos.

1.2.1 Colectores de polvo tipo Ciclón.

Son colectores centrífugos, que están compuestos por un cilindro y un cono, donde los gases particulados entran tangencialmente en la cabeza, moviéndose en forma espiral formando un torbellino exterior o descendente y de ahí se mueven hacia el centro, formando una espiral ascendente (torbellino interior) hasta llegar al ducto de salida (tubo de inmersión).

La fuerza centrífuga separa las partículas de los gases. La eficiencia de los ciclones es inversamente proporcional al diámetro (de 200 hasta 8000 mm) la ausencia de partes móviles hace de los ciclones un medio ideal y económico para la separación de polvo de grandes cantidades de gases calientes.

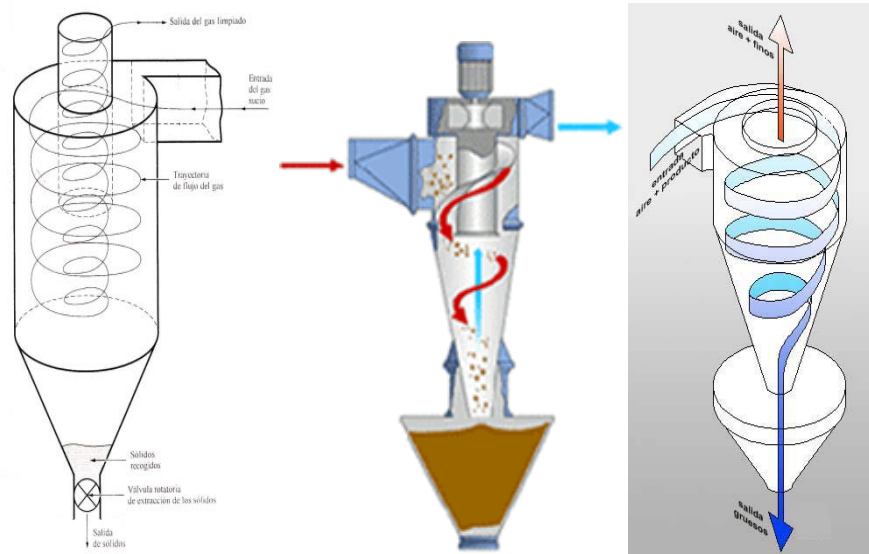


FIGURA 1.3. CICLÓN Fuente: UVD.

Las normas actuales para la protección del medio ambiente impiden el uso exclusivo de ciclones como medio de colección de polvo. Con diámetros de 225, 400, 600,3000 mm alcanzan eficiencias de 97%,93%,88%,60% respectivamente (Hoffmann y Stein, 2008).

1.2.2 Precipitador Electrostático.

Los precipitadores electrostáticos son equipos de recolección de partículas de polvo mediante la acción de un campo eléctrico intenso sobre las partículas previamente cargadas.

El proceso de precipitación consta de tres etapas fundamentales:

1. Carga electrostática de las partículas
2. Recolección de partículas sobre las placas del precipitador
3. Evacuación del material recolectado.

Los precipitadores electrostáticos están especialmente indicados en los casos que requieran una elevada eficacia de tratamiento de grandes caudales de gases con partículas pequeñas y temperaturas elevadas (hasta 700 pc).

Presentan eficacias de captación del 99 al 99.9 %. La eficacia de captación depende, fundamentalmente, del tamaño del equipo.

La figura 1.4 ilustra el funcionamiento de los filtros electrostáticos.

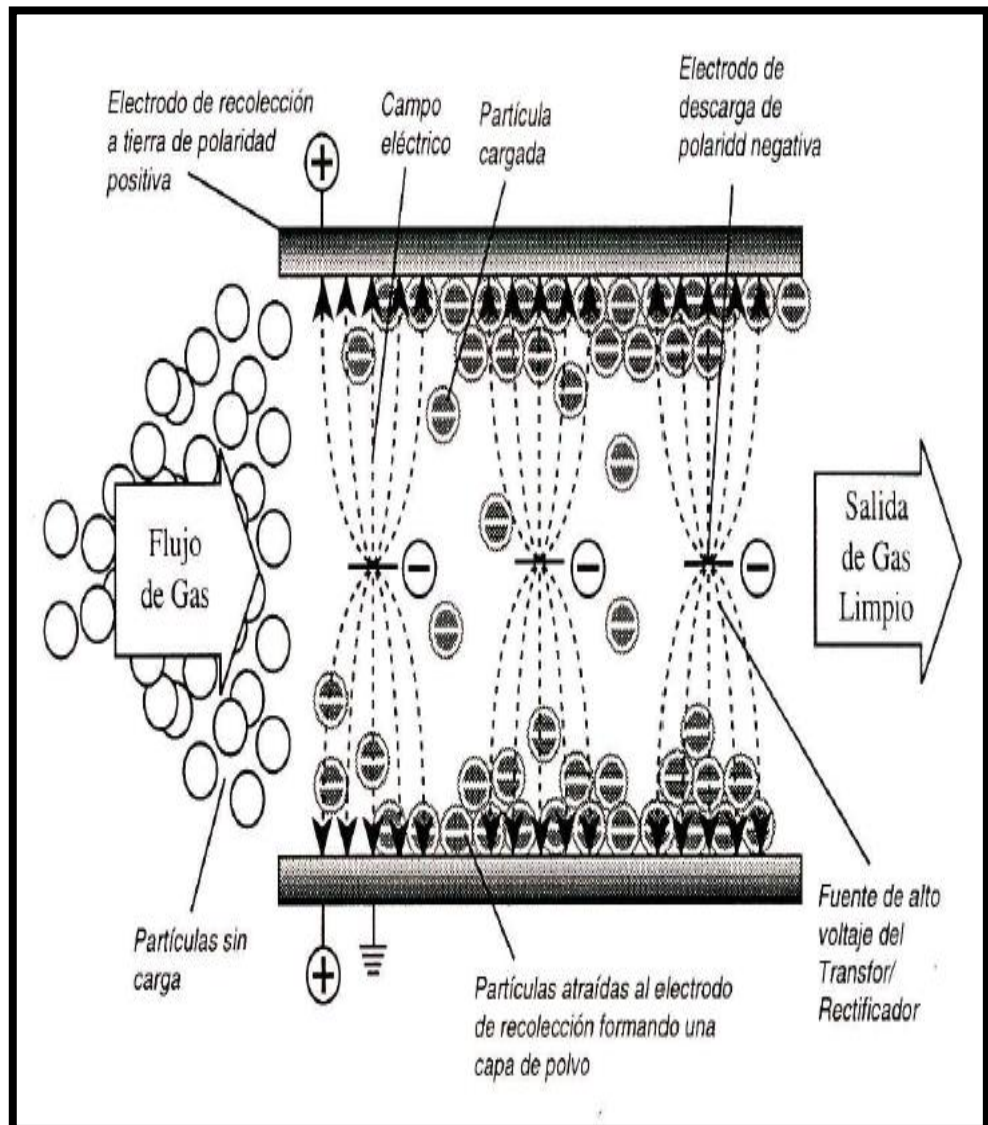


FIGURA 1.4. PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO.

Fuente: (UDV)

1.2.3. Filtros de Mangas.

Los filtros de mangas son estructuras metálicas cerradas en cuyo interior tienen elementos filtrantes textiles en formas tubulares llamados mangas, o formas rectangulares llamadas sacos o bolsas. Generalmente las mangas están dispuestas en el filtro en posición vertical.

El aire/gas cargado de sólidos es forzado a pasar a través del textil, sobre el que se forma una capa de polvo que separa las partículas sólidas del aire/gas.

Las mangas se limpian periódicamente en el interior del filtro por medio de un sistema de limpieza. Son muy eficaces, 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.

1.3. Selección de tipo colector de polvo.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente se puede analizar las características principales como bajo costo de inversión, su aplicación como filtro auxiliar, mayor volumen permisible, facilidad de limpieza y eficiencia alta, algunas propiedades las encontramos en la tabla 2 y hemos comparado en la tabla 3. Por lo cual seleccionamos colector de mangas.

TABLA 2
EQUIPOS DE CONTAMINACION INDUSTRIAL

Tipo de Colector	Eficiencia en peso	Caída de Presión (mm H ₂ O)	Energía (W. por 28 m ³ /min. gas)
	<i>Buena</i>		
<i>Cámara de Sedimentación</i>	<i>superior</i> <i>de 50 μm.</i>	<i>5.08-12.7</i>	<i>30 - 90</i>
	<i>Aprox.</i>		
<i>Ciclón convencional</i>	<i>50% con</i> <i>20 μm.</i>	<i>25.4-76.2</i>	<i>179 - 545</i>
	<i>Aprox.</i>		
<i>Ciclón de alta eficiencia</i>	<i>80% con</i> <i>10 μm.</i>	<i>76.2-127</i>	<i>545 - 895</i>
<i>Precipitador Electrostático.</i>	<i>80% con</i> <i>15 μm.</i>	<i>Sin</i> <i>pérdida</i>	<i>Eficiencia Mecánica</i> <i>40-50%</i>
<i>Filtro de Mangas</i>	<i>90% con</i> <i>10 μm.</i>	<i>25.4-127</i>	<i>179 - 895</i>

Fuente: American Industrial Higiene Association EPA

TABLA 3
TABLA COMPARATIVA DE TIPOS DE COLECTORES DE POLVO.

	FACTOR	CICLONES	PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO	FILTRO DE MANGAS
INVERSION (ALTO- 1, MEDIO 0, BAJO 1)	3	0	-1	1
APLICACION PARA FILTRO AUXILIAR (SI: 1, NO: 0)	7	0	0	1
CONTINUIDAD DURANTE LIMPIEZA (SI: 1, NO: 0)	5	0	1	1
VOLUMEN AIRE PERMISIBLE (MENOR VOLUMEN -1, MEDIO 0, MAYOR VOLUMEN +1)	4	1	1	1
ASPECTOS SECUNDARIOS DE LIMPIEZA (DIFICULTAD EN LIMPIEZA -1, NORMAL 0, FACILIDAD +1)	1	-1	0	1
CONSUMO DE AGUA (MAYOR CONSUMO -1, NORMAL 0, MENOR CONSUMO +1)	2	1	1	1
EFICIENCIA (MENOS EFICIENTE -1, MEDIO 0, MAS EFICIENTE +1)	6	0	1	1
TOTAL	5		14	28

CAPITULO 2

2. TIPOS DE FILTROS DE MANGAS

2.1. Tipo de filtro de mangas

Los filtros de mangas varían de acuerdo al mecanismo de limpieza que emplean y pueden ser:

- Con filtración interna:
 - Filtros de mangas de sacudido:
 - Mecánica (Shaker),
 - Vibratoria
 - Sonido.
 - Filtros de mangas de aire reverso.

- Con filtración externa:
 - Filtro de mangas pulse jet.

De acuerdo a las características tabuladas en la tabla 4, se determina que el tipo de filtro con limpieza pulse jet es el más adecuado para la aplicación determinada, ya que tiene limpieza continua en línea menor necesidad de mantenimiento, y mangas más pequeñas por lo tanto filtros más pequeños.

TABLA 4
CARACTERISTICAS DE FILTROS DE MANGAS

		SACUDIDO	AIRE REVERSO	PULSE JET
CANTIDAD DE COMPARTIMIENTOS (1: 1, 2: 0, MAS DE DOS: -1)	3	0	-1	1
LIMPIEZA CONTINUA EN LINEA (SI: 1, FUERA DE LINEA: 0, NO: -1)	8	-1	0	1
ACUMULACION 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
TAMANO DE MANGAS (PEQUENAS: 1, GRANDES: -1)	2	1	-1	1
RELACION AIRE/TELA (MAYOR: 1, MENOR: -1, MEDIA: 0)	5	0	-1	1
TAMANO DEL FILTRO (COMPACTO: 1, GRANDE: -1)	4	1	-1	1
TOTAL		-16	-13	36

2.2. Filtro de Manga pulse jet.

Los filtros de mangas son estructuras metálicas cerradas en cuyo interior se disponen elementos filtrantes textiles en posición vertical. Según el diseño pueden adoptar formas tubulares, y se denominan mangas, o formas rectangulares, y se denominan bolsas. Se montan sobre una cámara que termina en su parte inferior en una tolva de recogida de partículas.

El aire cargado de sólidos es forzado a pasar a través del textil, sobre el que se forma una capa de polvo. La filtración se produce como resultado de la formación de una capa de polvo primaria en la superficie de las mangas y una acumulación de partículas de polvo en el interior del material filtrante. Una vez formada la capa primaria, la penetración se hace muy baja y la filtración se produce por tamizado (filtración superficial). El proceso de filtración continúa hasta que la caída de presión se hace tan importante que requiere la limpieza del sistema (EPA, 1998).

Los filtros de mangas son instalaciones de depuración de partículas altamente eficaces, lo que permite cumplir con las más estrictas normativas de calidad de aire. Se obtienen eficacias por encima del 99% para partículas mayores de 10 $\mu\text{m.}$, pudiendo superar el 99.99%. Para partículas de 0.5 $\mu\text{m.}$ alcanzan eficacias del 99% y se obtienen

eficacias aceptables para partículas de hasta $0.01 \mu\text{m}$. (R.M. Seguridad Ambiental, 2009).

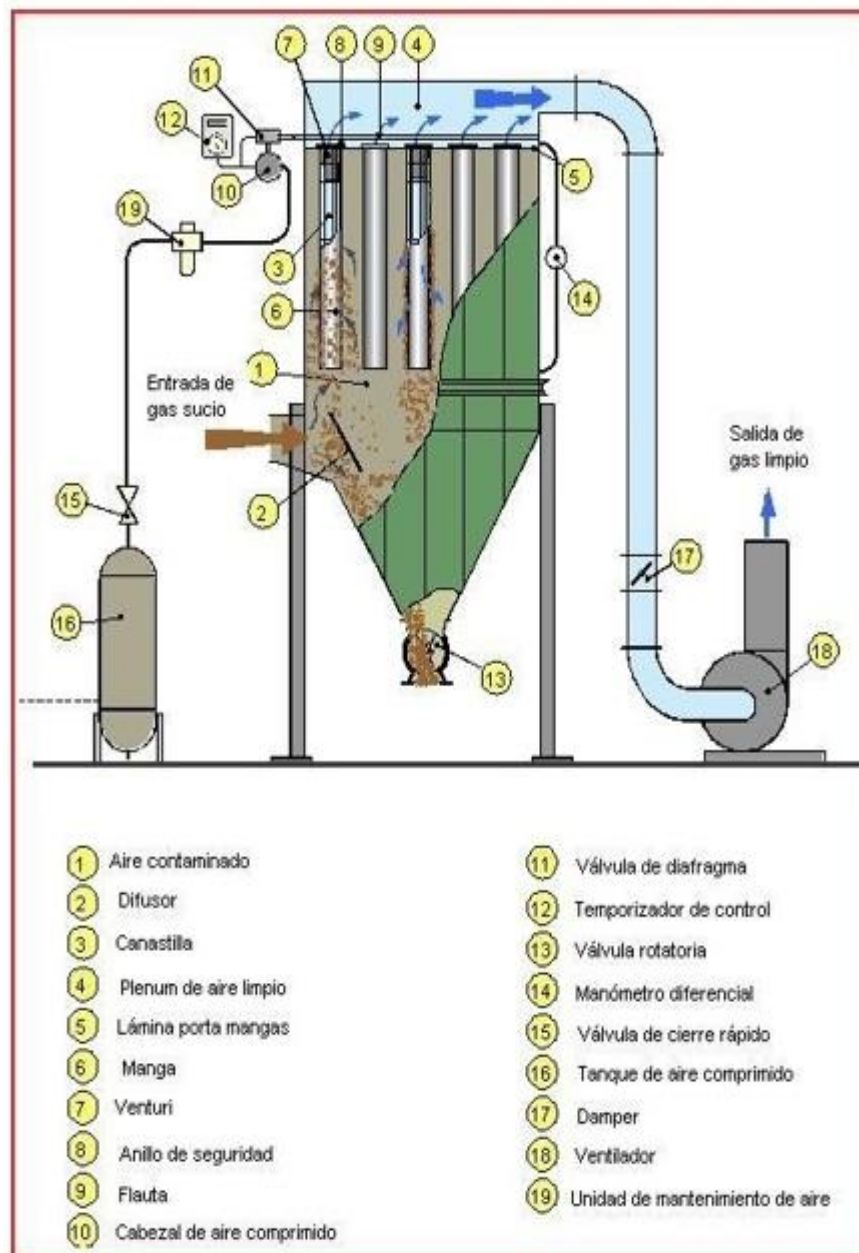


FIGURA 2.1. Colector de polvo. Fuente: HDC.

CAPÍTULO 3

3. SELECCIÓN DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA.

El sistema de desempolvado consta de: campana de captura, ductos de transporte, colector de polvo y ventilador como lo indica la Figura 3.1.

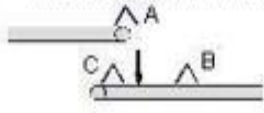
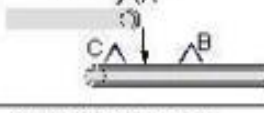
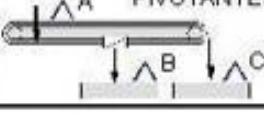
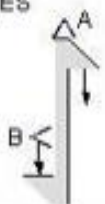


FIGURA 3.1. Sistema de desempolvado Fuente: HDC.

3.1. Volumen de aire total.

El volumen total de aire, que es la suma de los volúmenes de cada punto o equipo a desempolvar. Para poder determinar volumen de aire total, recurriremos a la **TABLA 5** (4) HDC recomienda máximo 8 puntos a desempolvar por equipo.

TABLA 5
CAUDAL DE AIRE POR EQUIPO

Equipo	Tam. (mm)	m³/h	Valores/consideraciones				
			A	B	C		
BANDAS TRANSPORTADORAS 	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	10000	4000	4250	1750		
ALIMENTADORES DE PLACAS 	800	6500	3500	2000	1000	m³/h	
	1000	7500	4000	2500	1000		
	1200	8750	4500	3000	1250		
	1400	9750	5000	3500	1500		
	1600	10000	5500	4000	1500		
ALIMENTADORES PIVOTANTES 	800		2500	9000	9000	m³/h	
	1000		3000	10000	10000		
	1200		3500	11000	11000		
	1400		4000	12000	12000		
ELEVADORES 	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	
			3500	1500	4500	1500	
		4000	1500	6000	1500		
RASCADORES Y TORNILLOS SIN FIN	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				

Fuente: HDC.

3.2. Velocidad de captura.

Para el dimensionamiento de la campana de captura se debe seleccionar, en primer lugar, la velocidad de captura o velocidad de partículas flotantes, la norma HDC. Recomienda 1.4 m/sg. Como lo indica la TABLA 6.

TABLA 6
RANGO DE VELOCIDADES DE CAPTURA

RANGO DE VELOCIDADES DE CAPTURA		
CONDICION DE LA DISPERSION DEL CONTAMINANTE	APLICACION	VELOCIDAD DE CAPTURA (m/s)
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

Fuente : HDC:

3.3. Velocidad de transporte en los Ductos.

Según la misma norma (HDC) la velocidad de salida o velocidad de transporte las partículas deberán tener 18 m/s como mínimo (evita el estancamiento de partículas) y 20 m/s como máximo (para evitar la abrasión); valores que coinciden con los expuestos por Cooper & Alley (6) en la tabla 8.4 de la 4ta edición con estos 2 criterios tendríamos las dimensiones para las campanas de captura como lo indica la TABLA 7.

TABLA 7
VELOCIDADES TRANSPORTE EN DUCTOS

Tipo de Material	Velocidad mínima (m/s)	Ejemplos
Gases, polvos muy finos y ligeros	10-13	polvos de harina, grano, goma fina, pintura en spray
Polvos finos y secos	15	polvo de cacao, algodón, almidón, plásticos, jabón
Polvos industriales típicos	18	arcilla, cal, áridos
Polvos bastos	20-23	polvo de aluminio, hierro, cobre, carbón, plomo, magnesio, sílice, gomas gruesas
Polvos pesados o húmedos	>23	polvos de fundición y de metal gruesos

Fuente UDC.

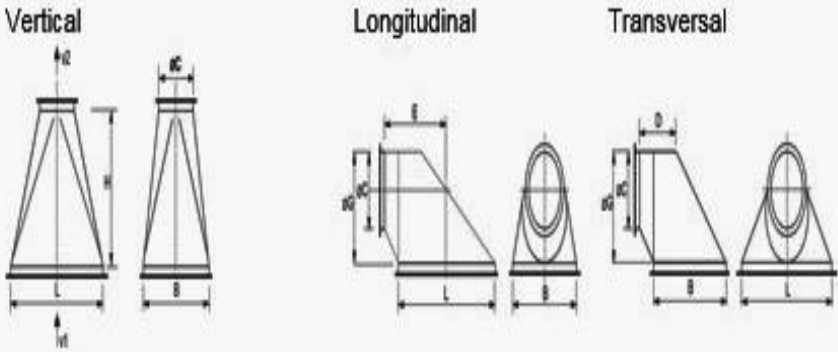
3.4. Campana de captura.

Se denomina campana de captura cualquier abertura de succión independientemente de su forma o tamaño, que permite que el aire ingrese al sistema de conductos (Pedelabode, 2007). (5).

La correcta selección de la campana de captura evita pérdidas de material, el dimensionamiento como la ubicación son factores importantes.

La TABLA 8 de la Holcim Desing Criteria (HDC) nos proporciona las dimensiones de la campana con velocidad de captura de 1,4 m/sg y velocidad de salida de 18m/ sg para distintos valores de caudales.

TABLA 8
CAMPANA DE CAPTURA



Air Quantity		v1	v2	L	B	H	ØC	ØG	L	B	E	D
m³/h	m³/min	ms-1	ms-1	mm	mm	mm	Mm	mm	mm	mm	mm	mm
250	4.2	1.40	18.0	260	190	165	70.0	97	260	190	157.0	122.0
500	8.3	1.40	17.5	370	270	235	100.5	143	370	270	227.0	177.5
750	12.5	1.40	17.0	450	330	280	125.0	178	450	330	278.0	218.0
1000	16.6	1.40	17.2	520	380	325	143.5	207	520	380	323.5	253.5
1250	20.8	1.40	17.7	580	425	365	158.0	233	580	425	365.0	287.5
1500	25.0	1.44	17.9	630	450	400	172.0	253	630	450	396.0	311.0
1750	29.2	1.43	17.9	680	500	430	186.0	276	680	500	430.0	340.0
2000	33.3	1.39	17.9	740	540	470	198.0	299	740	540	471.0	371.0
2500	41.6	1.41	18.0	820	600	520	222.0	334	820	600	522.0	412.0
3000	50.0	1.40	17.9	900	660	570	244.0	368	900	660	574.0	454.0
3500	58.3	1.44	17.8	960	700	610	262.0	391	960	700	609.0	479.0
4000	66.6	1.40	18.0	1040	760	660	280.0	426	1040	760	666.0	526.0
4500	75.0	1.42	17.9	1100	800	700	298.0	449	1100	800	701.0	557.0
5000	83.3	1.42	17.9	1150	850	740	314.0	475	1150	850	739.0	589.0
6000	100.0	1.42	17.9	1260	930	800	344.0	524	1260	930	810.0	645.0

*Commercial Pipes and Bends
Sheet Thickness for Suction Hoods and Ducts: 3-4mm
Intake Velocity at Hoods according to Above Table: $V_1 = \sim 1.4\text{m/s}$
Air Velocity in Dusting Duct: $V_2 = > 18\text{m/s}$

Fuente: HDC.

3.5. Ductos

Los ductos deben garantizar que cada campana capte el caudal requerido con una adecuada velocidad de transporte, evitando así problemas por acumulación de materia que originan costos de mantenimiento o caídas de presión elevadas que aumentan el consumo de potencia (Salvador Escoda S.A. 2011).

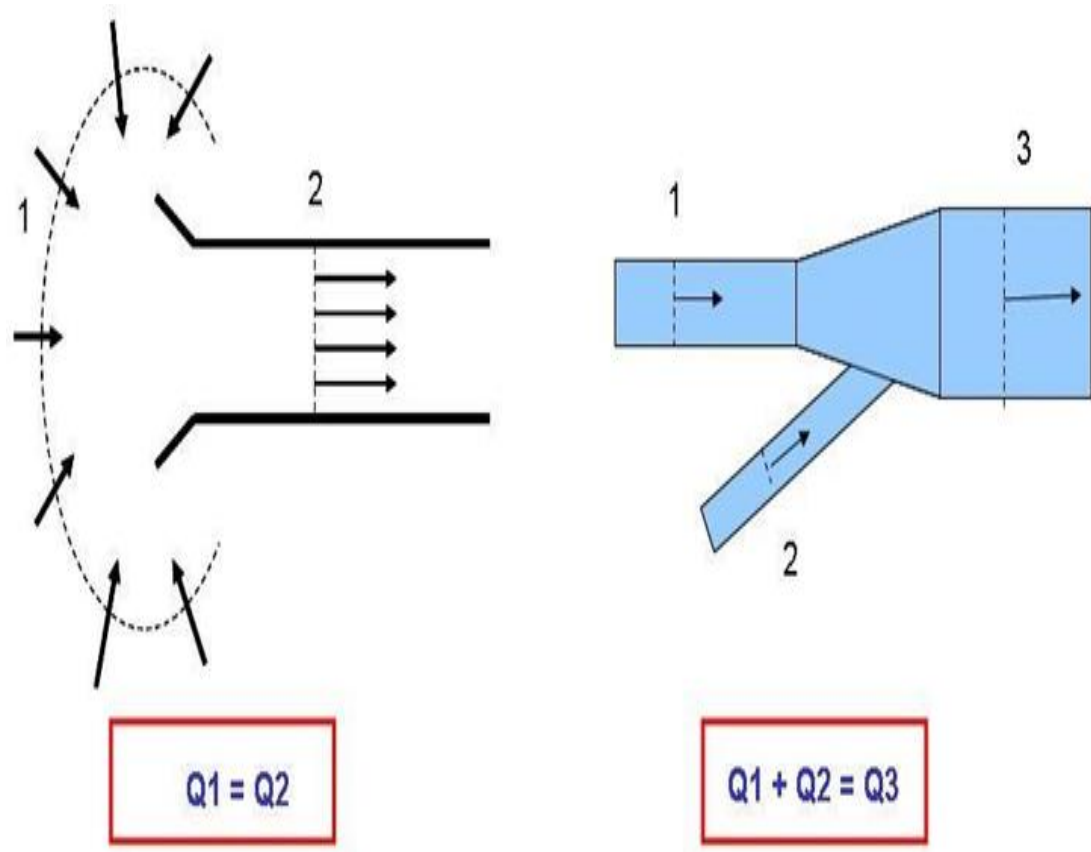


FIGURA 3.2 Conservación de masas en ductos. Fuente HDC.

3.5.1. Tamaño del ducto.

Para calcular el tamaño del ducto utilizamos la siguiente fórmula:

$$A = Q_{ramal} / v \quad \text{Ec 3.1.}$$

Donde A es igual a:

$$A = \frac{\pi \times d_{ducto}^2}{4} \quad \text{Ec. 3.2.}$$

Despejando la ecuación 3.2 se obtiene que el diámetro del ducto será:

$$d_{ducto} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Donde:

Q es el caudal necesario para el sistema,

A es el área de la sección transversal del ducto.

V es la velocidad de transporte (18 m/s).

Los valores para los ductos se escogen con el método de velocidad constante, balanceando presiones y recalculando los flujos.

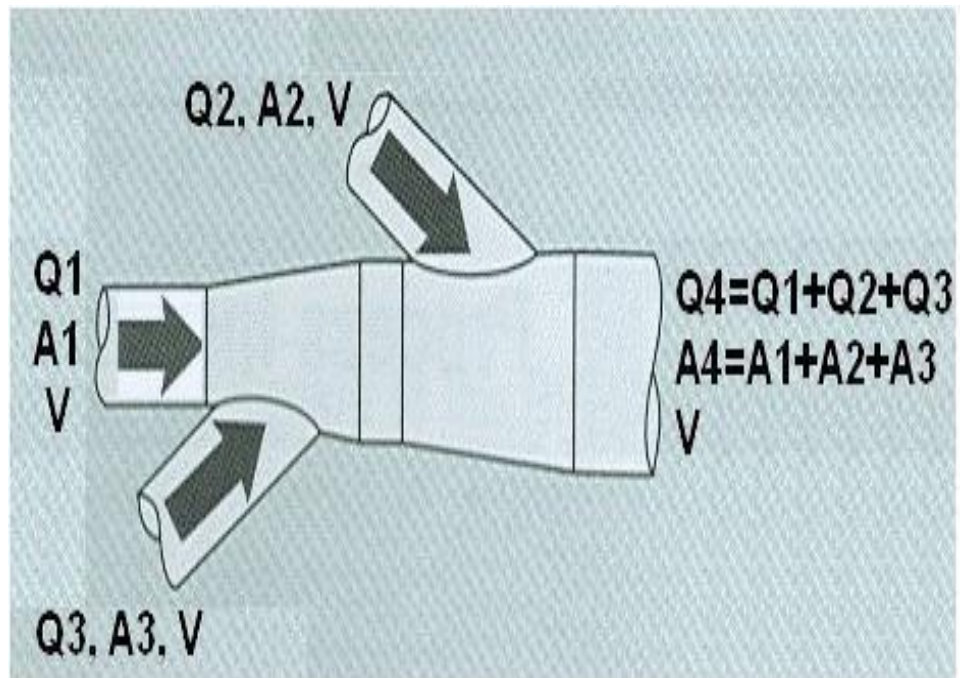


FIGURA 3.3 Velocidad constante en ductos. Fuente HDC.

3.6. RELACION GAS _ TELA. VELOCIDAD DE FILTRACION.

La velocidad de filtración utilizada 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 cúbico por minuto y el medio filtrante de un metro cuadrado de área. Se la selecciona mediante la TABLA 9 o se la calcula con la formula Ec.3.3 y se la expresa como:

$$V_f = \frac{Q_{GAS}}{A_{NETA}} \quad \text{Ec. 3.3.}$$

Donde:

V_f = Velocidad de Filtración (Relación Gas – Tela)

Q_{GAS} = Caudal del gas con concentración de partículas

A_{NETA} = Área neta de tela de filtración

Esta relación es un factor importante para determinar la cantidad de área de tela necesaria para la filtración.

El tamaño del baghouse se reduce a medida que aumenta la velocidad de filtración, sin embargo, esta alta relación produce caídas de presión más altas que afectan su costo.

El dimensionamiento de un filtro de mangas se realiza a partir del criterio de diseño de la *velocidad de filtración* o lo que es lo mismo, de la relación aire/tela.

La velocidad de filtración si tiene un valor bajo indica la necesidad de aumentar la superficie filtrante, y si es demasiado alto, aumenta la frecuencia de limpieza, la TABLA 9 de EPA contiene valores de velocidad de filtración para diferente partículas, para cal - cemento la establece en 2,44 m/ min.

TABLA 9
VELOCIDAD DE FILTRACION

<i>Polvo</i>	<i>Velocidad de filtración (m/min)</i>
<i>Aluminio</i>	2.44
<i>Asbesto</i>	3.05
<i>Bauxita</i>	2.44
<i>Carbón</i>	1.53
<i>Cal</i>	2.44
<i>Cocoa</i>	3.66
<i>Cemento</i>	2.44
<i>Granos</i>	4.27
<i>Fertilizantes</i>	2.44
<i>Harina</i>	3.66
<i>Plásticos</i>	2.13
<i>Papel</i>	3.05
<i>Azúcar</i>	3.96
<i>Talco</i>	1.52

Fuente: EPA.

3.7. 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. Se realiza una selección preliminar del diámetro y del largo De acuerdo a las dimensiones de la manga seleccionada se puede determinar el área total por manga calculando el área superficial de un cilindro como se muestra a continuación:

$$A_{MANGA} = \pi DL \quad \text{Ec. 3.4}$$

Las dimensiones típicas pueden ser de 0.15 - 0.3 m de diámetro y 6 - 10 m de longitud, oscilando el número de mangas por compartimento entre 40-700(UDV).

3.8. Numero de mangas

Una vez obtenida el área de la manga individual y el área neta de filtración se puede calcular el número real de mangas que va a operar dentro del baghouse como se indica a continuación:

$$N_{MANGAS} = \frac{A_{NETA}}{A_{MANGA}} \quad \text{Ec. 3.5.}$$

Donde;

$$A_{NETA} = \frac{Q_e}{V_f} \quad \text{Ec. 3.6.}$$

$$A_{MANGA} = \pi DL \quad \text{Ec. 3.7.}$$

3.9. Velocidad ascendente o interseccial.

Es la velocidad del gas sucio calculada teóricamente entre las mangas del filtro en la parte inferior de la manga.

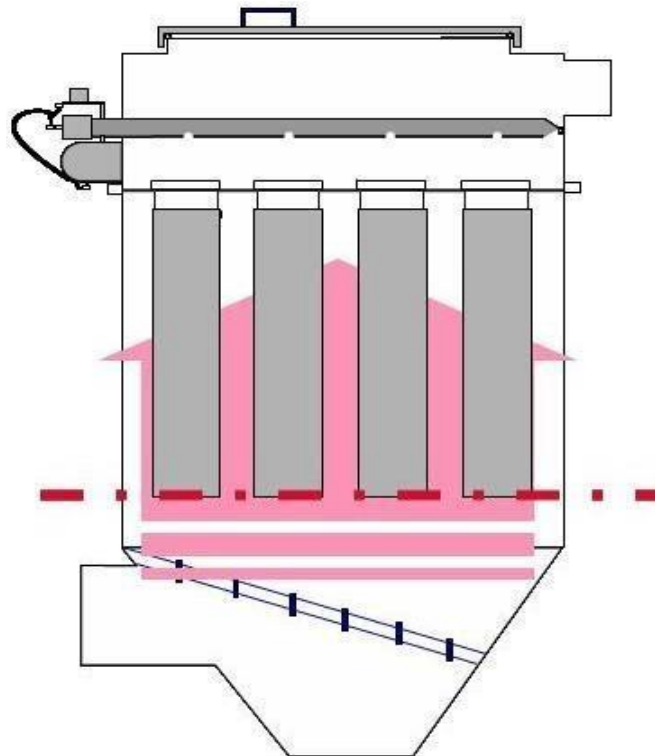


FIGURA 3.4. Velocidad ascendente

El valor de la velocidad ascendente que debe mantenerse en sistemas colectores auxiliares es de **1.0 m/s** o máximo **1.3 m/s**. (EPA ,1998), con el valor de la velocidad ascendente y el caudal obtenemos el área libre, la cual dará las dimensiones del filtro a y b, (largo y ancho).

Para el cálculo de la velocidad ascendente tenemos:

$$V_a = Q_{\text{gas}} / A_i \quad \text{Ec. 3.8.}$$

Donde A_i : Área libre

$$A_i = a b - C_m A_s. \quad \text{Ec. 3.9.}$$

Donde

- a: longitud lado a del filtro (m)
- b: longitud lado b del filtro (m)
- C_m : número de mangas del filtro
- A_s : área de la sección de la manga

El área de la sección de la manga esta dada por:

$$A_s = \pi r^2$$

3.10. Selección de la tela de filtrado

Existen dos grupos principales de textiles para el filtrado, el tejido y el no tejido (llamado también fieltro).

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.

Entre los aspectos más importantes a considerar para la selección tenemos:

Tipo de colector, particularmente su tipo de limpieza

Nivel de humedad

Temperatura

Composición química de la mezcla gas/polvo,

Abrasividad del material.

De igual manera, el medio filtrante debe satisfacer las siguientes condiciones:

Alta permeabilidad, para menores pérdidas

Gran capacidad para soportar esfuerzos

Estabilidad térmica a temperatura de operación

Estabilidad dimensional.

En la TABLA 10 encontramos las propiedades para los tipos de tela más usuales:

TABLA 10
PROPIEDADES DE LA TELA

PROPIEDADES DE RESISTENCIA EN MATERIALES DE TEJIDO					
TEJIDO	TEMPERATUR A		RESISTENCIA		ABRASIÓN FLEXIBLE
	°F	°C	ÁCIDA	ALCALINA	
Algodón	180	82	Pobre	Muy bueno	Muy bueno
Dacrón (poliéster)	275	135	Buena con minerales ácidos	Buena - Regular en alcalinidad fuerte	Muy bueno
Eiberglas	500	260	Más o menos bueno	Regular a bueno	Regular
Nextel	1400	760	Muy bueno	Bueno	Bueno
Nomex	375	191	Regular	Excelente a baja temperatura	Excelente
Nylon	200	93	Regular	Excelente	Excelente
Orlón	260	127	Bueno a excelente	Regular a bueno en baja alcalinidad	Bueno
P84*	475	246	Bueno	Bueno	Bueno
Polipropileno	200	93	Excelente	Excelente	Excelente
Ryton	375	191	Excelente	Excelente	Bueno
Teflón	450	232	Inerte excepto para flour	Inerte excepto para trifluoruro, cloruro y metales alcalinos	Regular
Lana	200	93	Muy bueno	Pobre	Regular a bueno

Fuente: EPA.

3.11. Selección del ventilador

Los ventiladores pueden ser:

Axiales

Centrífugos.

En sistemas de control de la contaminación se emplean ventiladores centrífugos con dámper a la entrada o salida del ventilador para controlar el flujo de gas al o desde el ventilador.

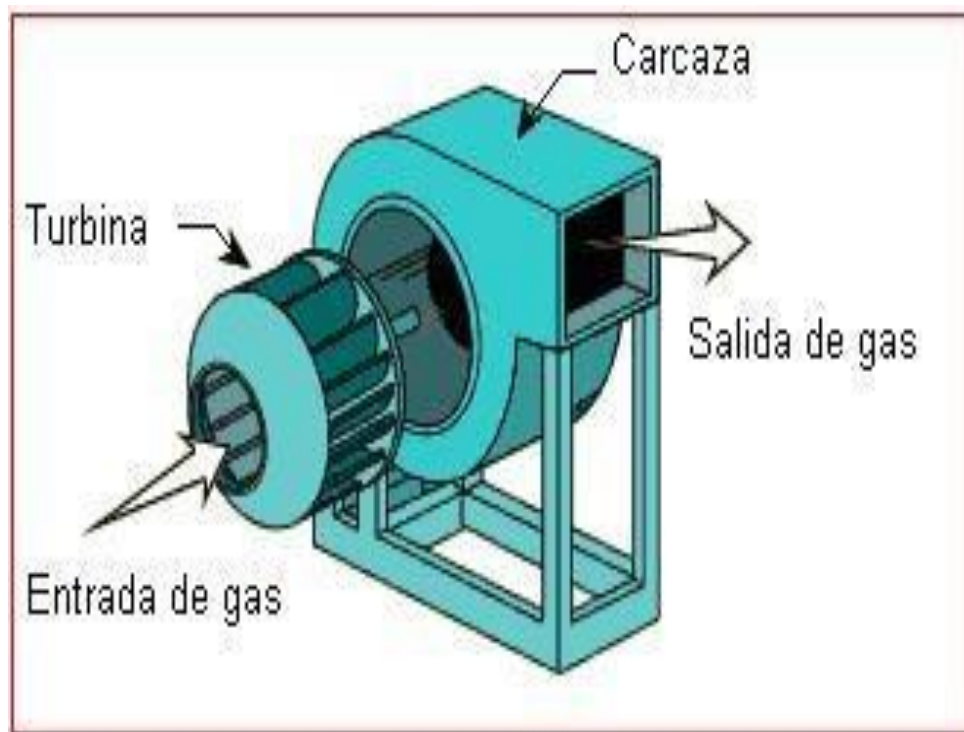


FIGURA 3.5 Ventilador centrífugo. Fuente HDC.

Las turbinas para los ventiladores centrífugos son de tres tipos:

Curvas hacia delante.

Curvas hacia atrás.

Radiales.

Las aletas radiales son las que mejor desempeño tienen para flujo de gases con alta concentración de material particulado.

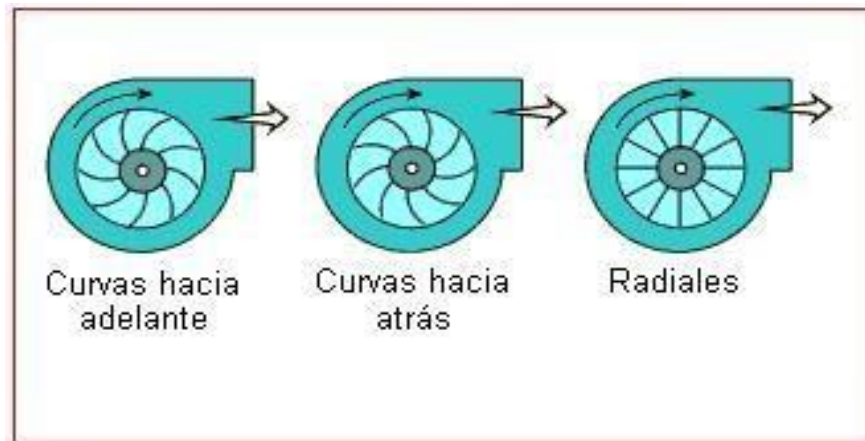


FIGURA 3.6 TIPO DE TURBINAS. Fuente HDC.

3.12. Resultados.

TABLA 11
RESULTADOS OBTENIDOS.

Caudal de aire punto A	4.578 m ³ /hr
Banda transportadora	Descarga
Ancho de la banda	1800 mm
Caudal de aire punto B	3.236 m ³ /hr
Banda transportadora	Descarga
Ancho de la banda	1200 mm
Caudal de aire punto C	3.044 m ³ /hr
Banda transportadora	Descarga
Ancho de la banda	1000 mm
Caudal total	10.858 m ³ /hr

Material	caliza
Tamaño de partícula	10 micras
Temperatura	60 grados C.
Caudal total	10.858 m ³ /hr.
Velocidad de captura	1.4 m/sg.
Velocidad de transporte	18m/sg.
Velocidad de filtración	2.44 m/min.
Velocidad ascendente	1.0 m/sg.
Area neta de filtración	74.16 m ² .
Diámetro de mangas	150 mm.
Longitud de mangas	2500mm.
Tela de la manga	polipropileno
Numero de mangas	64.
Ancho de la cámara	2000 mm
Largo de la cámara	2000 mm
Caída de presión en el filtro	6" H ₂ O
Tipo de ventilador	centrifugo
Tipo de turbina	radiales

CAPÍTULO 4

4 .CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las emisiones de material particulado en el área de trituración de una industria cementera causan:

- Perdidas económicas
- Desperdicio de material.
- Condiciones de riesgo laboral.
- Contaminacion del ambiente.
- Incumplimiento de leyes ambientales.

Ante esta situación se planteó en el presente trabajo efectuar una selección de un sistema de desempolvado que cumpla con las especificaciones técnicas uso los principios ingenieriles, para lo cual se usó los principios ingenieriles adecuados llegando a las siguientes conclusiones:

1. De acuerdo a las normas de calidad del aire de la Agencia de protección ambiental americana EPA se determinó que en la industria cementera se debe utilizar:
 - Colectores tipo ciclón
 - Filtros de mangas.

Precipitadores electrostático

2. Después de analizar las características de estos tipos de recolectores de polvo tomando en cuenta condiciones mecánicas de la piedra caliza y factores como:

- Eficiencia

- Caída de presión

- Consumo de energía

- Inversión económica

- Continuidad de la limpieza

Se escogió el Filtro de mangas como la opción más adecuada.

3. se llevó a cabo una comparación de

- Filtros de mangas por sacudido

- Filtro de mangas por aire reverso

- Filtro de mangas con limpieza por puso o pulse jet

En base a características como:

- Menor cantidad de compartimientos

- Limpieza más continúa

- Menor acumulación de material a la salida

- Menor necesidad de mantenimiento

- Menor tamaño del filtro.

- Mayor relación aire tela

Se estableció que el filtro de mangas tipo puse jet es el más óptimo.

- De acuerdo al tamaño de partícula de piedra caliza que en promedio tiene un valor de 10 micras y temperatura de 60 grados centígrados se determinaron los siguientes valores:

Velocidad de las partículas flotantes en las campanas de captura (HDC): 1,4 m/seg

Velocidad de transporte en los ductos (HDC): 18 m/seg

Velocidad de filtración o relación aire tela (EPA): 2,44 m/min

Velocidad ascendente (EPA): 1,0 m/seg.

Tipo de tela de filtro (EPA): Polipropileno.

Tipo de ventilador (HDC): Centrifugo

Tipo de turbina (HDC): Radial

- Se realizaron los cálculos con los valores previamente seleccionados y se obtuvo lo siguiente:

Caudal total: 10.858 m³/hr

Dimensionamiento de manga: 150mm x 2.500mm

Números de mangas: 64

Dimensionamiento del filtro: 2.000mm x 2.000mm

Caída de presión del filtro: 6 pulg H₂O

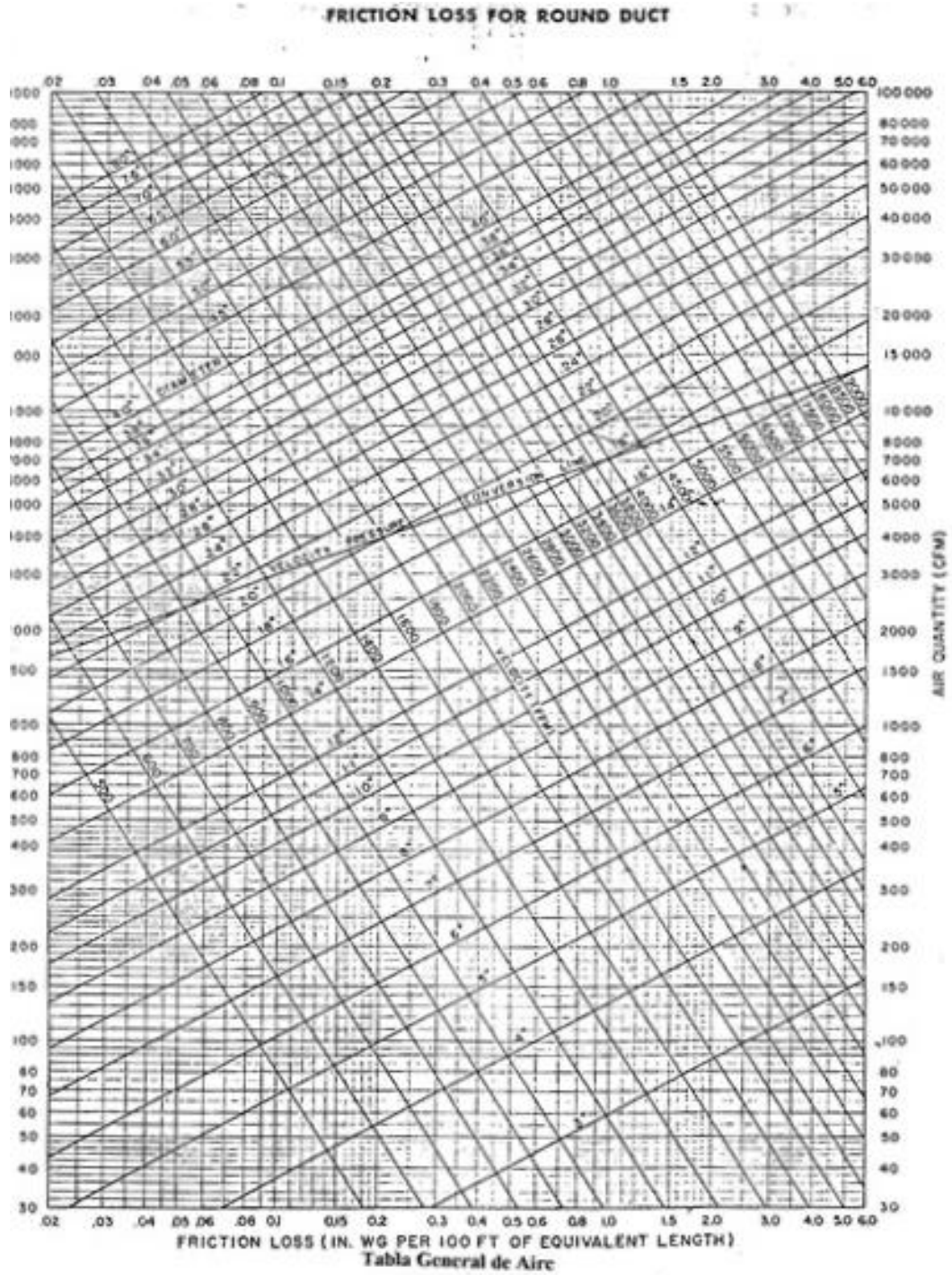
Área neta de filtración: 74.16 m²

- Después de llevar a cabo los cálculos se concluye que con el filtro de mangas tipo pulse jet se cumple los objetivos propuestos tanto en lo técnico, económico y nos permite cumplir con las normas de calidad de aire ambiente, vigentes en el país. (Anexo 4), ya que se obtienen eficacias de 99% y 99.99% para partículas de 0,5 y 10 micras respectivamente.

APÉNDICES

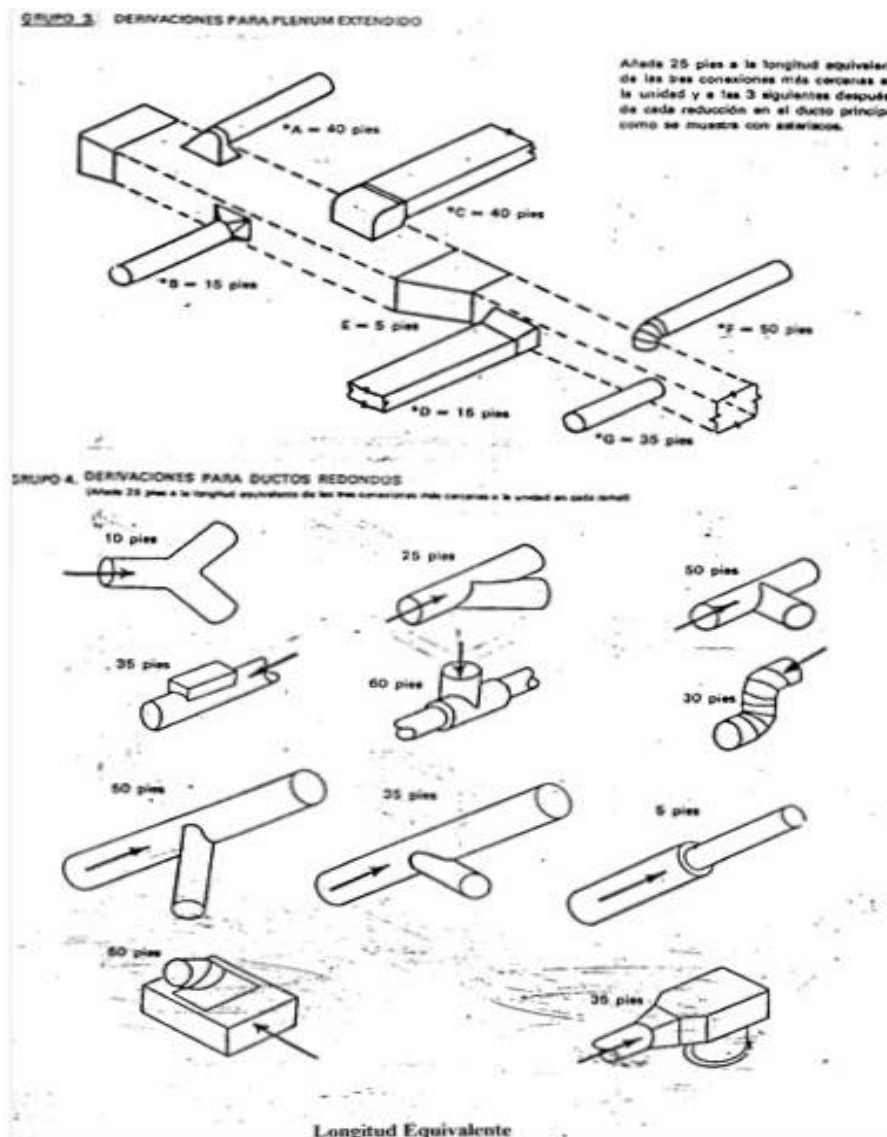
APENDICE A

Perdida de presiones en inH₂O por ft



APENDICE B

LONGITUDES EQUIVALENTES.



Fuente BHA.

APENDICE C

Pérdidas de presión en campanas de captura:

A la entrada de la campana ocurren pérdidas dinámicas, que causan caídas de la presión total.

Las cuales se determinan por la ecuación:

$$\Delta P_e = C_0 P_v \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

ΔP_e = Pérdidas a la entrada de la campana

C_0 = Factor de pérdida (de acuerdo a la geometría)

P_v = Velocidad de presión

El valor absoluto de la presión estática en la succión de la campana es el siguiente:

$$P_{st} = P_v + \Delta P_e \text{ (Ecuación 2)}$$

Siendo:

P_{st} = La succión de la campana

La succión de la campana es la presión estática negativa medida aproximadamente 3 diámetros del ducto luego de la campana.

Para campanas simples, la fórmula es la siguiente:

$$P_{st} = (1 + C_0) \cdot P_v \text{ (Ecuación 3)}$$

Para el factor de pérdida, se obtiene su valor de acuerdo a las dimensiones y forma de la campana.

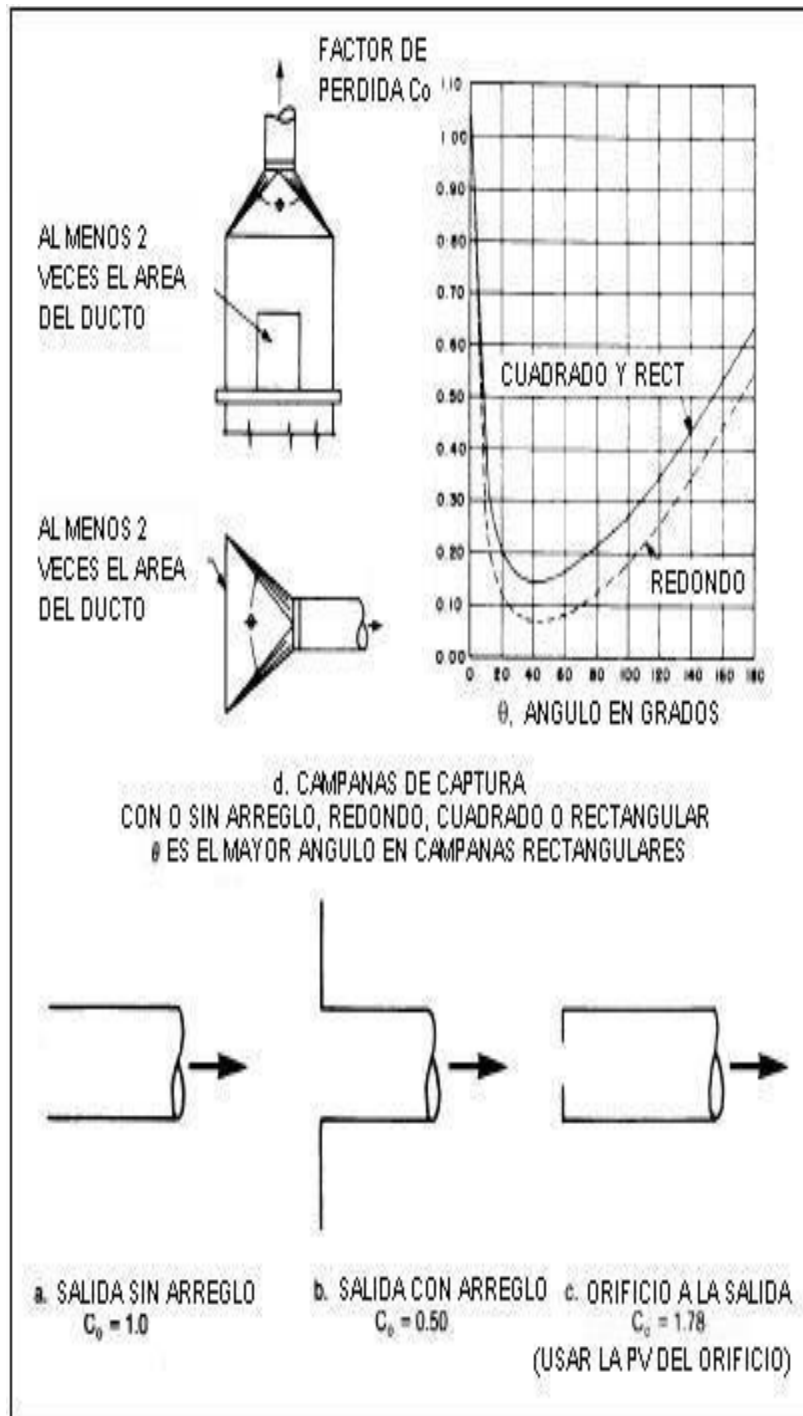


FIGURA Coeficientes de pérdidas en campanas colectoras

APENDICE D

Norma de Calidad de Aire Ambiente

Libro VI Anexo 4, vigente en el país .

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

- *Partículas Sedimentables.*
- *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 $PM_{2.5}$.*

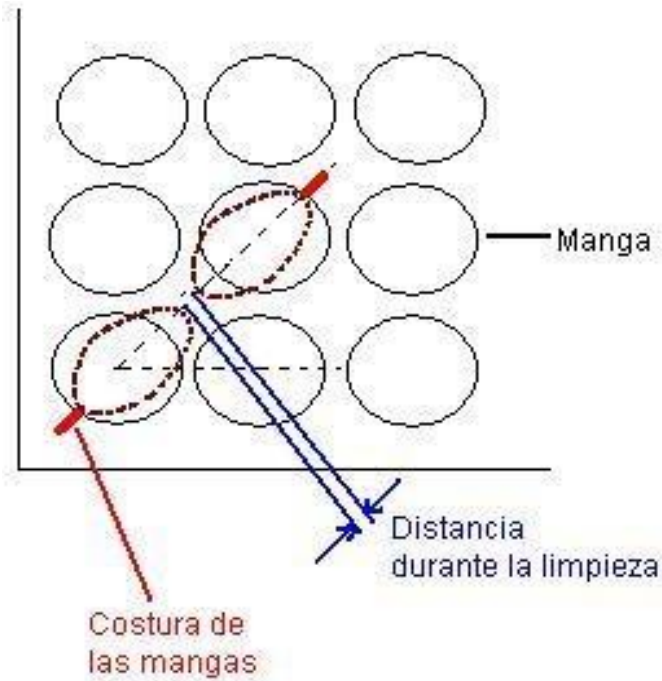
Material particulado menor a 10 micrones (PM_{10}).- El promedio aritmético de la concentración de PM_{10} de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas,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

Material particulado menor a 2.5 micrones ($PM_{2.5}$).- Se ha establecido que el promedio aritmético de la concentración de $PM_{2.5}$ de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince

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

APENDICE E

DISPOSICIÓN DE LAS MANGAS Y CANASTILLAS



Ubicación de mangas

Distancia entre mangas

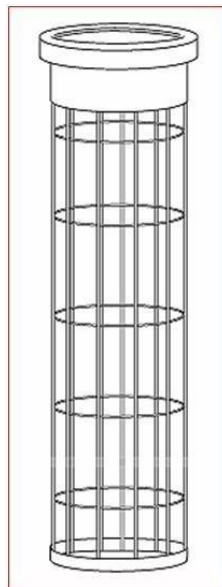
La distancia mínima entre manga es de 50mm y entre mangas y paredes 75 mm.

El número máximo de mangas por columna no debe ser mayor a 15

Canastillas

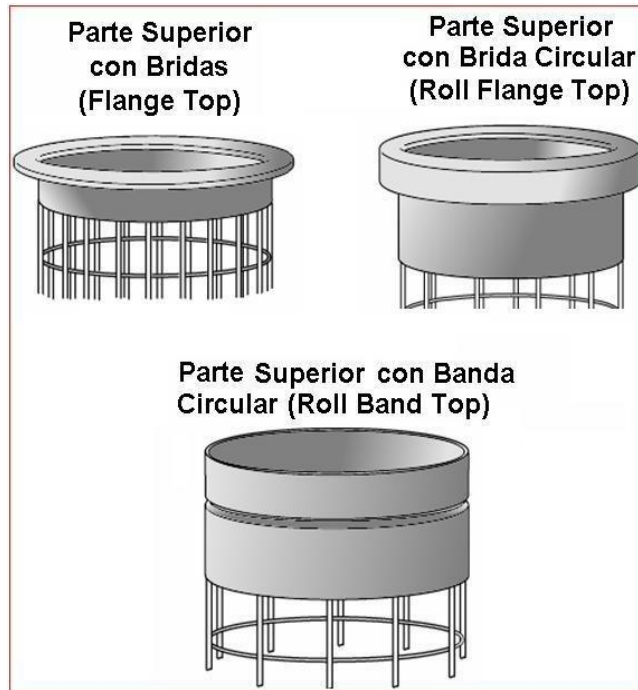
Las canastillas son utilizadas con el fin de que en los periodos de limpieza o filtración, las mangas no colapsen manteniendo su forma cilíndrica a lo largo de la misma.

Las canastillas son básicamente un alabrado, preferiblemente de una sola pieza y resistente a la corrosión, que tiene forma cilíndrica con anillos de forma circular a lo largo de la manga y con varillas verticales para completar la forma cilíndrica y poder alojarse dentro de la manga.



Canastilla para mangas

. Los tipos de canastillas de acuerdo a su parte superior, se indican a continuación:



Tipos de canastillas

Fijación de las mangas

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

El denominado “pellizco” es necesario para que la manga tenga facilidad de movimiento ligero durante la limpieza. Si se mantuviera rígida por falta del pellizco, el aire de limpieza a alta presión no sería suficiente para generar una onda en reacción al pulso de aire.

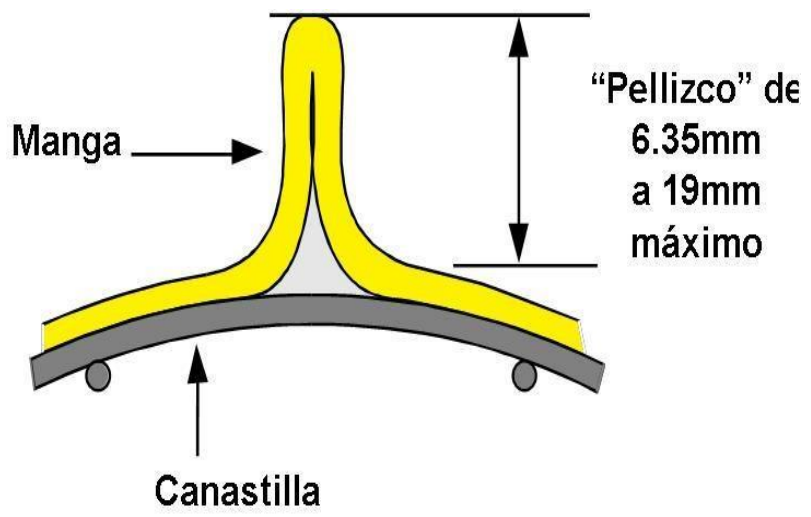


FIGURA Pellizco para mangas

TABLA 1

PRECIO DE MANGAS											
2do CUARTO DE 1998 EN \$/pie²											
TIPO DE LIMPIEZA	DIÁMETRO DE MANGA	TIPO DE TELA									
		pulg	PE	PP	NO	HA	FG	CO	TF	P8	RT
Pulse-Jet	4-1/2 a 5-1/8	0,75	0,81	2,17	1,24	1,92	NA	12,20	4,06	2,87	20,60
	6 a 8	0,67	0,72	1,95	1,15	1,60	NA	9,70	3,85	2,62	NA
	4-1/2 a 5-1/8	0,53	0,53	1,84	0,95	1,69	NA	12,90	3,60	2,42	16,70
	6 a 8	0,50	0,60	1,77	0,98	1,55	NA	9,00	3,51	2,30	NA
Pulse-Jet (cartucho)	4-7/8	2,95	NA	6,12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	6-1/8	1,53	NA	4,67	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Sacudimiento	5	0,63	0,88	1,61	1,03	NA	0,70	NA	NA	NA	NA
	5	0,61	1,01	1,53	1,04	NA	0,59	NA	NA	NA	NA
Aire reverso	8	0,63	1,52	1,35	NA	1,14	NA	NA	NA	NA	NA
	11-1/2	0,62	NA	1,43	NA	1,01	NA	NA	NA	NA	NA
	8	0,44	NA	1,39	NA	0,95	NA	NA	NA	NA	NA
	11-1/2	0,44	NA	1,17	NA	0,75	NA	NA	NA	NA	NA

Fuente EPA

NA = No aplicable

APENDICE F

VENTURI

Los Venturi son componentes integrales en la mayoría de colectores del tipo pulse-jet. 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 Venturi garantiza un eficiente desprendimiento de la capa de polvo y ahorro en el consumo de aire comprimido al ser más eficiente la limpieza por cada disparo genera.

Otro punto importante del Venturi, es que además crea una entrada de aire secundario a la manga. Esto se da por la velocidad de entrada de aire comprimido y por la forma del Venturi que crea una succión en el momento que se produce el disparo de la válvula.

La ubicación de la flauta en relación al Venturi es muy importante; para efectos de que se produzca la energía de velocidad necesaria, su ubicación respectiva debe cumplir la siguiente relación:

$$\tan 7^\circ = d/X \quad (\text{Ec})$$

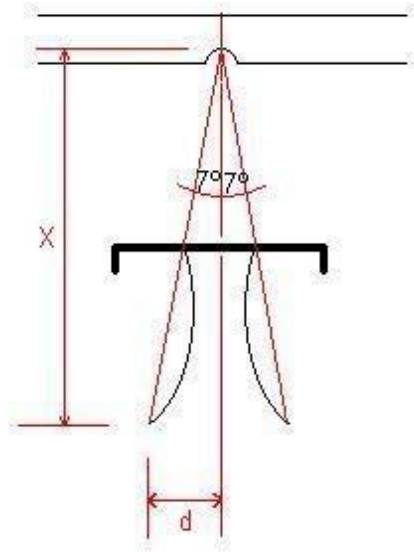


FIGURA . Ubicación Venturi vs. Flauta

APENDICE G

VENTILADORES

Para la selección de un ventilador, debemos basarnos en la presión estática del sistema que le corresponde compensar al ventilador, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P_{st} = P_t - P_{vo}$$

P_{st} = presión estática

P_t = presión total del ventilador

P_{vo} = presión a la salida del ventilador

$P = q$ caída de presión/ 6356 eficiencia del ventilador

P = potencia del ventilador en Hp

Q = caudal en cf.

N = eficiencia del ventilador

Caída de presión en pulg de H₂O

Leyes de los ventiladores

1. El flujo es directamente proporcional a la velocidad y en razón cúbica

al diámetro:

$$Q'' = (D''/D)^3 * (n''/n) * Q$$

2. La presión cambia en razón directamente proporcional a un cambio de densidad:

$$P'' = (\rho'' / \rho) * P$$

3. La presión es cuadráticamente proporcional a un cambio en el diámetro del rodete impulsor de la velocidad:

$$P'' = (D''/D)^2 * (n''/n)^2 * P$$

4. La potencia consumida N, varía proporcionalmente a la quinta potencia en un cambio de diámetro, cúbicamente cuando varía la velocidad y en forma proporcional directa si cambia la densidad del flujo: $N'' = (D''/D)^5 * (n''/n)^3 * (\rho'' / \rho) * N$

APENDICE G : FACTORES DE CONVERSION

How to use these tables:

1 unit from column A = table entry units from row B

Examples: 1 lb_m = 453.6 g; 1 kg = 2.205 lb_m

Table A.1 Mass

Column A	Row B					
	lb _m	g	gr	kg	ton	tonne
lb _m	1.0	453.6	7,000	0.4536	0.00050	0.000454
g	0.002205	1.0	15.43	0.001	1.10 (10) ⁻⁶	1.0 (10) ⁻⁶
gr	0.000143	0.0648	1.0	6.48 (10) ⁻⁵	7.14 (10) ⁻⁸	6.48 (10) ⁻⁸
kg	2.205	1,000	1.54 (10) ⁴	1.0	0.0011	0.001
ton	2,000	9.07 (10) ⁵	1.40 (10) ⁷	907	1.0	0.907
tonne (metric ton)	2,205	(10) ⁶	1.54 (10) ⁷	1,000	1.102	1.0

NOTE: 1 Gt = (10)⁹ tonnes

Table A.2 Length

Column A	Row B					
	m	ft	in.	µm	km	miles
m	1.0	3.281	39.37	10 ⁶	0.001	6.21 (10) ⁻⁴
ft	0.3048	1.0	12	3.05 (10) ⁵	3.05(10) ⁻⁴	1.894 (10) ⁻⁴
in.	0.0254	0.0833	1.0	2.54 (10) ⁴	2.54 (10) ⁻⁵	1.578 (10) ⁻⁵
µm	10 ⁻⁶	3.28 (10) ⁻⁶	3.94 (10) ⁻⁵	1.0	1.0 (10) ⁻⁹	6.22 (10) ⁻¹⁰
km	1,000	3,281	3.94 (10) ⁴	1.0 (10) ⁹	1.0	0.6215
miles	1,609	5,280	6.336 (10) ⁴	1.61 (10) ⁹	1.609	1.0

Table A.3 Area

Column A	Row B					
	ft ²	m ²	Ac	Ha	mi ²	km ²
ft ²	1.00	0.0929	2.29 (10) ⁻⁵	9.29 (10) ⁻⁶	3.587 (10) ⁻⁸	9.29 (10) ⁻⁸
m ²	10.76	1.00	2.47 (10) ⁻⁴	0.0001	3.86 (10) ⁻⁷	1.00 (10) ⁻⁶
Acres (Ac)	43,560	4047	1.00	0.4047	0.001562	0.004047
Hectares (Ha)	1.076 (10) ⁵	10,000	2.2471	1.00	0.003861	0.01
mi ²	2.788 (10) ⁷	2.59 (10) ⁶	640	259	1.00	2.59
km ²	1.076 (10) ⁷	1.0 (10) ⁶	247.1	100	0.386	1.00

Table A.4 Volume

Column A	Row B			
	ft ³	L	gal	m ³
ft ³	1.0	28.32	7.481	0.02832
L	0.03531	1.0	0.2642	0.001
gal	0.1337	3.785	1.0	0.003785
m ³	35.31	1,000	264.2	1.0

Table A.5 Force

Column A	Row B			
	N	lb _f	kg-m/s ²	lb _m -ft/s ²
N	1.0	0.2248	1.0	7.232
lb _f	4.448	1.0	4.448	32.17
kg-m/s ²	1.0	0.2248	1.0	7.232
lb _m -ft/s ²	0.1383	0.03108	0.1383	1.0

NOTE: 1 dyne = 10.0 μN and 1 N = 1(kg-m)/s²

Table A.6 Pressure

Column A	Row B					
	atm	psi	mm Hg	in. H ₂ O	mbar	Pa (N/m ²)
atm	1.0	14.70	760	406.8	1,013	101,325
psi	0.068	1.0	51.7	27.67	68.9	6,891
mm Hg	1.316 (10) ⁻³	0.0193	1.0	0.535	1.333	133.3
in. H ₂ O	0.002458	0.03614	1.868	1.0	2.49	249
mbar	9.87 (10) ⁻⁴	0.0145	0.750	0.4016	1.0	100
Pa	9.87 (10) ⁻⁶	1.45 (10) ⁻⁴	0.0075	0.00402	0.01	1.0

NOTE: 1 Pa = 1 N/m²

Table A.7 Energy

Column A	Row B					
	Btu	kJ	cal	ft-lb _f	kWh	liter-atm
Btu	1.0	1.055	252	778	2.93 (10) ⁻⁴	10.41
kJ	0.948	1.0	239	737.5	2.778 (10) ⁻⁴	98.62
cal	0.00397	0.004184	1.0	3.087	1.163 (10) ⁻⁶	0.0413
ft-lb _f	0.001285	0.001356	0.3239	1.0	3.766 (10) ⁻⁷	0.01338
kWh	3,412	3,600	8.60 (10) ⁵	2.66 (10) ⁶	1.0	3.55 (10) ⁴
liter-atm	0.0961	0.01014	24.22	74.74	2.82 (10) ⁻⁵	1.0

NOTE: 1 J = 1 N-m

Table A.8 Power

Column A	Row B				
	W	kW	ft-lb _f /s	hp	Btu/hr
W	1.0	0.001	0.737	0.00134	3.412
kW	1,000	1.0	737.6	1.341	3,412
ft-lb _f /s	1.356	0.001356	1.0	0.001818	4.63
hp	745.5	0.7455	550	1.0	2,545
Btu/hr	0.293	2.93 (10) ⁻⁴	0.216	3.93 (10) ⁻⁴	1.0

NOTE: 1 W = 1 J/s

Table A.9 Speed

Column A	Row B			
	ft/s	m/s	mi/hr	ft/min
ft/s	1.0	0.3048	0.6818	60.0
m/s	3.281	1.0	2.237	196.8
mi/hr	1.467	0.447	1.0	88.0
ft/min	0.01667	0.00508	0.01136	1.0

Table A.10 Viscosity

Column A	Row B			
	cp	g/cm-s	lb _m /ft-hr	kg/m-hr
cp	1.0	0.01	2.42	3.61
g/cm-s	100	1.0	242	361
lb _m /ft-hr	0.413	0.00413	1.0	1.492
kg/m-hr	0.277	0.00277	0.670	1.0

APENDICE H

TOLVA

Tolva de descarga

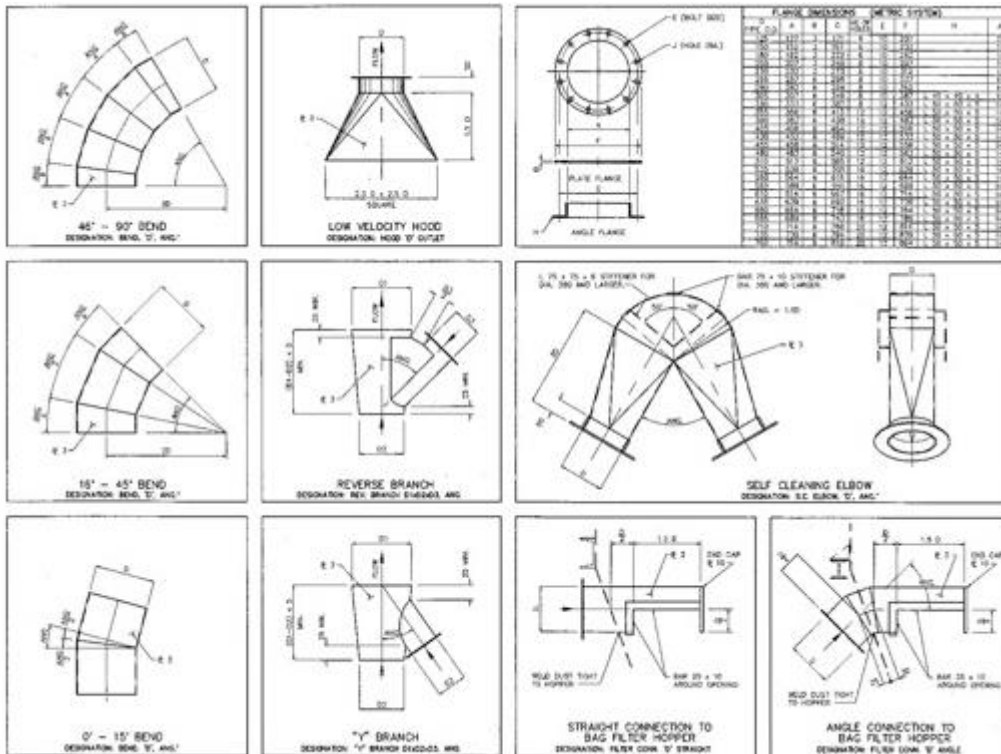
Se recomienda que las esquinas de las tolvas sean redondeadas y que el ángulo de inclinación no sea menor a 55° .

Frecuente se aglomera 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. 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.

Generalmente, las válvulas rotatorias se utilizan para el cemento y caliza; Las pendulares se utilizan con el Clinker. .

APENDICE I

DUCTOS



BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, Applications Handbook, 1999, pp
2. ASHRAE Handbook Systems and Equipment <http://www.ashrae.org>. Handbook Editor, ASHRAE, 1791 Tullie Circle, Atlanta, GA 30329 Robert A. Parsons.
3. BAUMISTER, TEHODORE.E, Manual del Ingeniero Mecánico MARKS, novena edición, 1996 Ed. McGraw Hill.
4. BHA, Guía de referencia y soluciones de problemas, BHA, BHA Group, 1998.
5. COOPER, D.,ALLEY,F.(2011) Air Pollution Control
6. EPA,Manual de Costos de Control de Contaminacion del Aire de la EPA Sexta Edición EPA 452/B-02-002 June 2002, OAQPS, Oficina de Normas y Planeación de la Calidad del Aire , USEPA Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. Research Triangle Park, NC 27711
7. ESCODA, SALVADOR. (2011). Manual Práctico de Ventilación, *Catálogo técnico 2ªEdición*
8. FLAKT WOODS, Ventiladores Industriales.

9. FORMOSA A., Procedimientos Industriales, San Andrés 157 - 159 y Huertas, 2 a 8, la Coruña – España
10. HGRS LTD, Holcim Desing criteria, Basic Requerimients ,2001
11. HOFFMANN. STEIN, L.E. (2008). Gas Cyclones and Swirl Tubes. Principles, Design
12. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE - República del Ecuador. Texto Unificado Libro VI: De la Calidad Ambiental Anexo 4: NORMA DE CALIDAD DE AIRE AMBIENTE.
13. PRONTUARIO DEL CEMENTO OTTO LABHAN
14. PEDELABORDE C.L. Curso de Ventilación Industrial. Universidad de Buenos Aires.
- 15 .PRONTUARIO DEL CEMENTO OTTO LABHAN
16. UDV: http://www.uv.es/gabaldoc/apuntes/Control_partículas.pdf, Universidad de Valencia, España, 2008.
17. R.M. SEGURIDAD AMBIENTAL (2009). Sistemas de Ventilación Industrial.