

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Auditoria al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de  
Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Juan Andrés Arias Llorenty

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

## AGRADECIMIENTO

A todas las personas que brindaron su apoyo para la elaboración de este trabajo y a la ESPOL por su soporte académico y enseñanzas.

## DEDICATORIA

A mi familia y amigos.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Ernesto Martínez L.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Federico Camacho B.  
VOCAL

---

Ing. Manuel Helguero G.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

-----

Juan Andrés Arias Llorenty

## RESUMEN

Considerando que en la actualidad, la tendencia de las industrias es reducir en la mayor cantidad posible el costo de la producción para ser cada vez más competitivos y poder seguir creciendo con el pasar del tiempo, y que además, hoy en día existe una mayor cultura sobre la relación que debemos llevar con el medio ambiente para su preservación, es necesario implementar acciones para poder ir de la mano con este par de consideraciones mencionadas anteriormente y obtener beneficios comunes.

En la industria del cemento, grandes cantidades de diversos tipos materiales provenientes de la tierra se procesan, pasando por diversas etapas para obtener finalmente el producto deseado. Siendo esto así, el evitar la generación de polvo fugitivo es una parte primordial para el proceso. Cada tonelada de material derramado genera costos para su reingreso al sistema, mala imagen para propios y visitantes y pérdidas cuando no se las recuperan en el momento que se escapan al ambiente. Es por esto importante evitar

que material se escape de la línea de producción y para este fin se utilizan los filtros que se encuentran en puntos claves a lo largo del proceso.

Por lo indicado anteriormente, se plantea el objetivo de implementar mejoras en el control de la polución para incrementar la capacidad de producción y la disponibilidad de los equipos reduciendo las fuentes de polvos, el mantenimiento y limpieza, adicionalmente, otro aspecto positivo es la protección ambiental, mejorar el área de trabajo, seguridad laboral y disminución del desgaste de los equipos.

Como parte de este trabajo, primeramente se indicará de manera breve las etapas del proceso de fabricación de cemento, para después conocer las diversas razones por las que se utilizan sistemas de desempolvado, los tipos que existen, y sus componentes. Posteriormente se detallarán las consideraciones de diseño de sistemas colectores de mangas y en base a ellas, se analizarán las condiciones actuales de los filtros del área de trituración de caliza y los problemas que presenta.

Todo esto mediante una inspección general de las partes relevantes, con observaciones y toma de datos en campo y en archivos de mantenimiento disponibles de los equipos. Así, podremos enfocarnos en las fuentes de polvo fugitivo y derrames de material.

Finalmente, con los resultados de la auditoria, se espera obtener beneficios para los sistemas, el proceso, el personal que labora en planta y los acreedores. En caso de que sea necesario recomendar alguna mejora, se buscará la implementación de ésta ya sea a corto o mediano plazo; por otro lado, si actualmente existen condiciones positivas en las instalaciones, se las mantendrá, procurando seguir con el programa mantenimiento hasta ahora realizado.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE PLANOS.....	VII
GLOSARIO.....	VIII
ANTECEDENTES.....	1
CAPITULO 1	
1. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CEMENTO.....	3
1.1. Extracción de Materias Primas.....	5
1.2. Trituración de Materias Primas.....	6

1.3.	Molienda de Crudo.....	8
1.4.	Fabricación de Clínker.....	11
1.5.	Molienda de Cemento.....	13
1.6.	Envase y Despacho.....	15

## CAPITULO 2

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA SISTEMAS DE DESEMPOLVADO EN PLANTAS CEMENTERAS.....	17
2.1.	Importancia de los sistemas de desempolvado.....	17
2.2.	Tipos de colectores de polvo.....	19
2.2.1.	Por su principio de operación.....	19
2.2.2.	Por su aplicación.....	25
2.2.3.	Por su diseño de filtración.....	28
2.2.4.	Por la presión en el sistema.....	29
2.3.	Tipos de filtros de mangas.....	35
2.3.1.	Por su mecanismo de limpieza.....	35
2.3.2.	Por su secuencia de limpieza.....	43
2.4.	Componentes en un sistema colector de mangas.....	46

## CAPÍTULO 3

3.	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS COLECTORES DE MANGAS.....	52
----	---	----

3.1.	Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a desempolvar.....	54
3.2.	Campana de captura.....	57
3.3.	Diseño de ductos.....	66
3.4.	Colector de polvo.....	79
3.4.1.	Entrada y distribución del flujo.....	81
3.4.2.	Velocidad de filtración.....	85
3.4.3.	Relación aire-tela.....	86
3.4.4.	Velocidad ascendente.....	87
3.4.5.	Dimensionamiento de mangas.....	88
3.4.6.	Distancia entre mangas.....	91
3.4.7.	Número de mangas por columna.....	92
3.4.8.	Canastillas.....	93
3.4.9.	Fijación de las mangas.....	94
3.4.10.	Criterio de selección para la tela de filtrado.....	95
3.4.11.	Venturis.....	99
3.4.12.	Tolva de descarga.....	101
3.4.13.	Válvulas a la salida. ....	102
3.4.14.	Cámara limpia.....	103
3.5.	Selección del ventilador.....	103
3.6.	Consideraciones para la chimenea.....	112
3.7.	Control de limpieza.....	113

3.8. Balanceo de flujos.....	118
------------------------------	-----

#### CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS COLECTORES DE POLVO DEL ÁREA DE TRITURACIÓN DE CALIZA.....	120
4.1. Filtro del Edificio de la Trituradora Primaria.....	121
4.2. Filtro de la Pila Intermedia.....	135
4.3. Filtro del Edificio de las Trituradoras Secundarias.....	147
4.4. Filtro del Edificio de Transferencia.....	165
4.5. Equipos adicionales para mejoras en los sistemas de desempolvado.....	180

#### CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	182
-----------------------------------	-----

#### APÉNDICES

#### BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

$A_i$	Área intersticial
$A_T$	Área total filtrante
Atm.	Atmósfera
A/T	Relación aire-tela
bar	Bar
cm	Centímetro
$C_m$	Cantidad de mangas
$C_o$	Factor de pérdida
cos	Coseno
d	Distancia
$D_m$	Diámetro de mangas
$F_{up}$	Sección de ducto arriba del ventilador
$F_{dn}$	Sección de ducto abajo del ventilador
g	Gravedad
h	Hora
Kg	Kilogramo
$L_m$	Longitud de mangas
m	Metro
max	Máximo
min	Minuto
mm	Milímetro
mmcda	Milímetro de columna de agua
$m^2$	Metro cuadrado
$m^3$	Metro cúbico
n	Velocidad
Pa	Pascal
$P_e$	Pérdida de entrada en la campana
psi	Libra por pulgada cuadrada
$P_{st}$	Presión estática
$P_t$	Presión total
pulg	Pulgada
$P_v$	Presión de velocidad
rpm	Revoluciones por minuto

s	Segundo
sin	Seno
s <sup>2</sup>	Segundo cuadrado
tan	Tangente
Tam.	Tamaño
Ton	Tonelada
V <sub>a</sub>	Velocidad ascendente
V <sub>c</sub>	Velocidad de captura

## SIMBOLOGÍA

A	Área
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
D	Diámetro
D <sub>h</sub>	Diámetro equivalente
f	Factor de fricción
H <sub>2</sub> O	Agua
K	Factor de fricción por pérdidas dinámicas
L	Longitud
P	Presión
Q	Caudal
r	Radio
Re	Número de Reynolds
V	Velocidad
°C	Grados centígrados
%	Porcentaje
∈	Pertenece a
Δ	Variación
ε	Rugosidad absoluta
Σ	Sumatoria
π	Pi
ρ	Densidad
θ	Ángulo
ν	Viscosidad cinemática

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1. Proceso de fabricación de cemento.....	4
Figura 1.2. Proceso de extracción de materias primas.....	5
Figura 1.3. Tipos de trituradoras.....	7
Figura 1.4. Apilamiento y prehomogenización del material.....	8
Figura 1.5. Molienda de crudo.....	9
Figura 1.6. Molino vertical.....	10
Figura 1.7. Fabricación de clínker.....	13
Figura 1.8. Efecto de los cuerpos moledores en un molino tubular.....	14
Figura 1.9. Molino tubular.....	14
Figura 1.10. Envasado y despacho de cemento.....	16
Figura 2.1. Ciclón.....	20
Figura 2.2. Torre de atomización.....	21
Figura 2.3. Precipitador electrostático.....	23
Figura 2.4. Filtro de cartuchos.....	24
Figura 2.5. Filtro auxiliar.....	26
Figura 2.6. Filtro de proceso.....	27
Figura 2.7. Filtrado exterior.....	28
Figura 2.8. Filtrado interior.....	29
Figura 2.9. Sistema de presión positiva.....	31
Figura 2.10. Sistema de presión negativa.....	33
Figura 2.11. Filtro de mangas de sacudido.....	35
Figura 2.12. Filtro de mangas de aire reverso.....	39
Figura 2.13. Filtro de mangas tipo pulse jet.....	43
Figura 2.14. Diagrama general de la instalación.....	48
Figura 2.15. Diseño estándar a la entrada del filtro.....	49
Figura 2.16. Elementos de un ventilador.....	50
Figura 3.1. Desempolvado para el ensacado de cemento.....	55
Figura 3.2. Emisiones capturadas/fugitivas.....	57
Figura 3.3. Tipos de campanas de captura.....	59
Figura 3.4. Coeficientes de pérdidas en campanas colectoras.....	61
Figura 3.5. Campanas en bandas transportadoras.....	62
Figura 3.6. Campanas en alimentadores de placas.....	62

Figura 3.7. Ubicación de campanas de captura en alimentadores.....	63
Figura 3.8. Diagrama de Moody.....	69
Figura 3.9. Cambios de presión en el sistema.....	71
Figura 3.10. Cambios de presión en el sistema.....	71
Figura 3.11. Relación $r/D$ de codos en ductos.....	73
Figura 3.12. Pendientes en ductos para caliza, cemento y clínker.....	75
Figura 3.13. Diseño en ductos.....	76
Figura 3.14. Conservación de masa en ductos.....	76
Figura 3.15. Diseño de codos y ramales en ductos.....	77
Figura 3.16. Velocidad constante en ductos.....	78
Figura 3.17. Elementos mecánicos en un colector de polvo.....	80
Figura 3.18. Diseño típico en la entrada del filtro.....	82
Figura 3.19. Diseño mejorado a la entrada del filtro.....	83
Figura 3.20. Diseño mejorado para deflectores.....	84
Figura 3.21. Velocidad ascendente.....	87
Figura 3.22. Costuras al momento de ubicar las mangas.....	90
Figura 3.23. Pellizco para mangas.....	91
Figura 3.24. Número de mangas por columna.....	92
Figura 3.25. Canastilla para mangas.....	93
Figura 3.26. Tipos de canastillas.....	94
Figura 3.27. Fijación de mangas con fleje metálico.....	95
Figura 3.28. Tipos de textiles para mangas.....	96
Figura 3.29. Venturi para filtros de mangas pulse-jet.....	99
Figura 3.30. Ubicación venturi vs. flauta.....	100
Figura 3.31. Atoramiento de tolva.....	101
Figura 3.32. Modificación de tolva.....	102
Figura 3.33. Ventilador centrífugo.....	104
Figura 3.34. Tipos de turbinas.....	106
Figura 3.35. Comportamientos de un ventilador.....	108
Figura 3.36. Punto de operación con diferentes aberturas.....	108
Figura 3.37. Efecto de la compuerta a la descarga.....	109
Figura 3.38. Operación con velocidad variable.....	110
Figura 3.39. Limpieza por aire comprimido para pulse-jet.....	113
Figura 3.40. Secuencia incorrecta y correcta de pulsación.....	114
Figura 3.41. Manómetro diferencial.....	116
Figura 3.42. Funcionamiento de la válvula solenoide y diafragma.....	117
Figura 3.43. Válvula de purga.....	118
Figura 3.44. Placa orificio y guillotina.....	119
Figura 4.1. Diagrama esquemático del filtro del edificio de la trituradora primaria.....	124
Figura 4.2. Entrada de aire falso al sistema.....	133
Figura 4.3. Entrada de ductos en sentido opuesto.....	133
Figura 4.4. Diagrama esquemático del filtro de la pila intermedia.....	138
Figura 4.5. Diagrama esquemático del filtro de las trituradoras	152

secundarias.....	164
Figura 4.6. Entrada de aire falso	164
Figura 4.7. Diagrama esquemático del filtro del edificio de transferencia	169
Figura 4.8. Cepillos de limpieza en bandas transportadoras.....	181
Figura 4.9. Cepillos de limpieza primario, secundario y terciario.....	181

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Reacciones en la fabricación de clínker.....	12
Tabla 2. Comparación entre los diferentes tipos de colectores.....	34
Tabla 3. Comparación entre diferentes tipos de filtros de mangas.....	45
Tabla 4. Cantidad de aire a desempolvar según el equipo de acuerdo al Holcim Design Criteria.....	56
Tabla 5. Rango de velocidades de captura.....	64
Tabla 6. Diseño de campanas de captura.....	65
Tabla 7. Acabados para fibra de vidrio.....	97
Tabla 8. Características de los tipos de fibras.....	98
Tabla 9. Características de la instalación del filtro de la trituradora primaria.....	121
Tabla 10. Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a Desempolvar (Edificio de la Trituradora Primaria).....	122
Tabla 11. Campana de captura (Edificio de la trituradora primaria).....	122
Tabla 12. Diseño de ductos (Edificio de la trituradora primaria).....	123
Tabla 13. Coeficientes de pérdidas por accesorios por secciones (Edificio de la trituradora primaria).....	125
Tabla 14. Pérdidas de presión por secciones (Edificio de la trituradora primaria).....	126
Tabla 15. Colector de polvo (Edificio de la trituradora primaria).....	127
Tabla 16. Selección del ventilador (Edificio de la trituradora primaria).....	128
Tabla 17. Control de limpieza (Edificio de la trituradora primaria).....	128
Tabla 18. Pérdidas de presión por secciones a 18m/s.....	134
Tabla 19. Selección del ventilador con velocidades balanceadas.....	135
Tabla 20. Características de la instalación del filtro de pila intermedia....	135
Tabla 21. Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a Desempolvar (Filtro de la pila intermedia).....	136
Tabla 22. Campana de captura (Filtro de la pila intermedia).....	136
Tabla 23. Diseño de ductos (Filtro de la pila intermedia).....	137
Tabla 24. Coeficientes de pérdidas por accesorios por secciones (Filtro de la pila intermedia).....	139
Tabla 25. Pérdidas de presión por secciones (Filtro de la pila	140

intermedia).....	
Tabla 26. Colector de polvo (Filtro de la pila intermedia).....	141
Tabla 27. Selección del ventilador (Filtro de la pila intermedia).....	142
Tabla 28. Control de limpieza (Filtro de la pila intermedia).....	142
Tabla 29. Pérdidas de presión por secciones a 18m/s.....	146
Tabla 30. Selección del ventilador con velocidades balanceadas.....	146
Tabla 31. Características de la instalación del filtro del edificio de las trituradoras secundarias.....	147
Tabla 21. Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a Desempolvar (Filtro del edificio de las trituradoras secundarias).....	148
Tabla 33. Campana de captura (Filtro del edificio de las trituradoras secundarias).....	149
Tabla 34. Diseño de ductos (Filtro del edificio de las trituradoras secundarias).....	151
Tabla 35. Coeficientes de pérdidas por accesorios por secciones (Filtro del edificio de las trituradoras secundarias).....	153
Tabla 36. Pérdidas de presión por secciones (Filtro del edificio de las trituradoras secundarias).....	156
Tabla 37. Colector de polvo (Filtro del edificio de las trituradoras secundarias).....	158
Tabla 38. Selección del ventilador (Filtro del edificio de las trituradoras secundarias).....	159
Tabla 39. Control de limpieza (Filtro del edificio de las trituradoras secundarias).....	159
Tabla 40. Pérdidas de presión por secciones a 18m/s.....	163
Tabla 41. Selección del ventilador con velocidades balanceadas.....	164
Tabla 42. Características de la instalación del filtro del edificio de transferencia.....	165
Tabla 43. Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a Desempolvar (Filtro del edificio del edificio de transferencia....	166
Tabla 44. Campana de captura (Filtro del edificio de transferencia.....	166
Tabla 45. Diseño de ductos (Filtro del edificio de transferencia).....	168
Tabla 46. Coeficientes de pérdidas por accesorios por secciones (Filtro del edificio de transferencia).....	170
Tabla 47. Pérdidas de presión por secciones (Filtro del edificio de transferencia).....	173
Tabla 48. Colector de polvo (Filtro del edificio de transferencia).....	174
Tabla 49. Selección del ventilador (Filtro del edificio de transferencia)....	175
Tabla 50. Control de limpieza (Filtro del edificio de transferencia).....	175
Tabla 51. Pérdidas de presión por secciones a 18m/s.....	178
Tabla 52. Selección del ventilador con velocidades balanceadas.....	179

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1. Accesorios varios para ductos en sistemas de desempolvado	Pag. 74
--	------------

## GLOSARIO

- Gas: Fluido sin forma que tiende a ocupar uniformemente la totalidad del espacio disponible a temperatura y presión ordinarias.
- Aire: Mezcla de varios gases en su mayoría formado por Oxígeno y Nitrógeno y algunas proporciones menores de otros gases.
- Aire estándar: Aire seco a 20°C y 1 atmósfera de presión. Su densidad es de 1,2 Kg/m<sup>3</sup>
- Depurador: Aparato diseñado con el fin de separar del aire los contaminantes que contiene, tales como polvo, gases, vapores y humos. (Son depuradores los lavadores, filtros de aire, precipitadores electrostáticos y filtros de carbón activado).
- Densidad: Cociente entre la masa de un elemento o compuesto y su volumen
- Humedad absoluta: Peso del vapor de agua por unidad de volumen del gas que lo contiene
- Humedad relativa: Cociente entre la presión parcial de vapor de agua en un espacio y la presión de saturación del agua pura a la misma temperatura.

- Columna de agua. Elemento básico para la medición de presión de un gas.
- Pleno: Cámara para la igualación de presión (plenum)
- Polvo: Pequeñas partículas sólidas producidas por la ruptura de partículas de mayor tamaño mediante procesos mecánicos como molturación, perforación, pulido, explosiones, etc. Las partículas de polvo pueden pasar al aire a causa de operaciones como tamizado, transporte, etc.
- Presión de vapor: Presión parcial del vapor o presión de saturación.
- Presión Estática: Presión potencial ejercida en todas direcciones por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento la tendencia del fluido a inflar o colapsar el ducto que lo transporta y se mide en dirección perpendicular al flujo.
- Presión Dinámica: Presión cinemática en dirección del flujo necesaria para hacer que un fluido se mueva a una determinada velocidad.
- Presión Total: Es la suma algebraica de las presiones dinámica y estática.
- Manómetro: Instrumento para la medición de la presión, y su construcción básica es un tubo en “U” lleno parcialmente de un líquido que puede ser mercurio o agua.
- Convección: Transmisión de calor entre una superficie en contacto con un fluido que tiene temperatura diferente a la de la superficie.

- Vapor: Forma gaseosa de una sustancia que se encuentra normalmente en estado sólido o líquido y que pueden cambiar a dichos estados ya sea aumentando la presión o reduciendo la temperatura.
- Velocidad de captura: Velocidad del aire en cualquier punto de la boca de una campana y es la velocidad necesaria para vencer las corrientes opuestas a la captación y aspiración de una partícula de contaminante situado en un punto frente a la campana.
- Velocidad de transporte: Es la velocidad mínima del flujo de aire en el conducto que garantiza el transporte del contaminante a lo largo del mismo.
- Velocidad mínima de conducto: Velocidad mínima del aire para mover las partículas en la corriente de aire dentro del conducto.

## **ANTECEDENTES**

Se plantea esta auditoria al sistema de desempolvado del área de trituración de caliza, con el fin de poder determinar los puntos más críticos que se encuentran afectando al sistema para poder poner en práctica soluciones económicas y a corto plazo obteniendo como resultado mejoras en la eficiencia de los equipos, reducción de los costos de limpieza por motivos de derrames de material o escape del mismo hacia la atmósfera, mejoramiento del aspecto general del área y más seguridad para los trabajadores y visitantes.

Básicamente se cuestiona la eficiencia de los equipos del sistema; es decir, si se encuentra o no dentro de rangos aceptables para su correcto funcionamiento; en caso de no estarlo, determinar las causas que originan este mal funcionamiento apoyado en las consideraciones teóricas de diseño para este tipo de sistemas.

Se realizará un levantamiento de datos técnicos de sistema instalado, y se obtendrán datos relevantes tales como velocidades de transporte de flujo en ductos, velocidades de captura, diseños de ductos, capacidad de ventiladores, tipo y cantidad de mangas,

entre otros, para poder establecer diferencias con las consideraciones de diseño antes mencionadas y recomendar posibles soluciones.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CEMENTO.

El proceso de fabricación de cemento constituye una amplia gama de subprocesos cada uno con sus condiciones individuales bien definidas presentándose procesos mecánicos, térmicos y químicos a lo largo del mismo, teniendo como fin obtener el producto de mejor calidad posible para la satisfacción de los clientes y beneficio de accionistas y empleados.

Podemos nombrar como parte de estos procesos, a la simple reducción del tamaño de la piedra para que luego pueda ser molida, al análisis químico de los materiales que ingresarán a la molienda para determinar las proporciones en las que deben ingresar en combinación con gases del mismo proceso para facilitar la molienda, al almacenamiento y homogenización del material en silos, al proceso

termoquímico que se lleva dentro del horno, la molienda de cemento, así mismo con las proporciones exactas acorde al tipo de cemento que se esté fabricando, el envase y el despacho, modernos equipos para disminuir el tiempo de entrega de los sacos de cemento.

Proceso de la manufactura de cemento - Esquemático

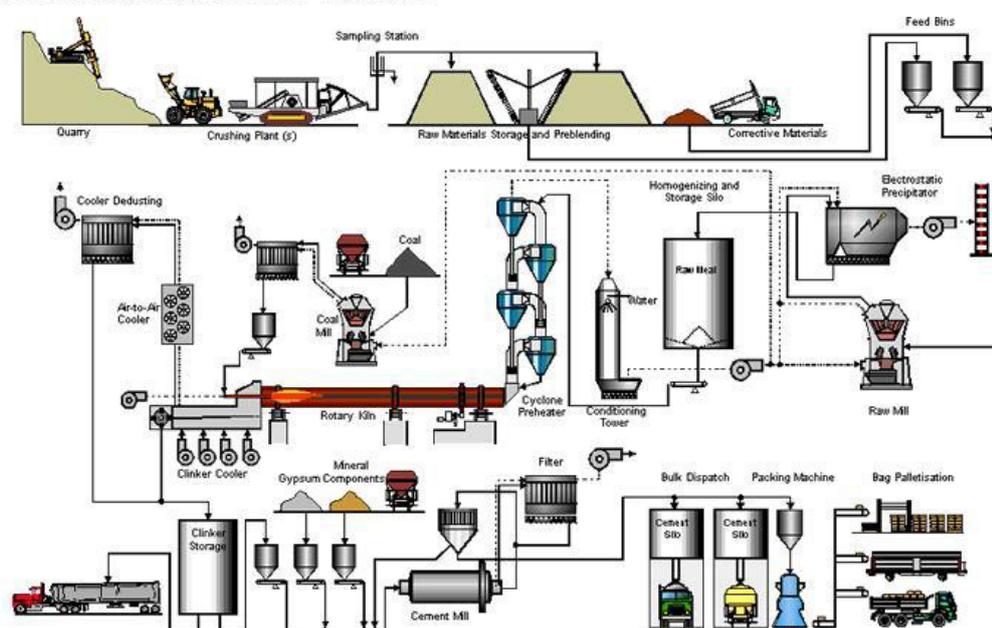


FIGURA 1.1. Proceso de fabricación de cemento

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

- 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

### 1.1. Extracción de Materias Primas

En 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 (esto depende del tamaño del grano deseado para las moliendas de crudo o de cemento).



FIGURA 1.2. Proceso de extracción de materias primas

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 1.2.

## **1.2. Trituración de Materias Primas**

En la trituración de materias primas el material que ingresa debe ser reducido de tamaño para su posterior almacenaje con el fin de que en la mezcla correcta todos estos materiales ingresen a la molienda de crudo; el tamaño máximo lo determina el tipo de molino para el crudo (capacidad del molino de crudo). 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 roca. Para lograr este rango de reducción usualmente se necesitan dos o más fases de trituración (primaria, secundaria, terciaria) y el tipo de trituradora depende de factores como abrasividad, pegajosidad, producción (ton/h), tamaño de la alimentación y consumo de energía.

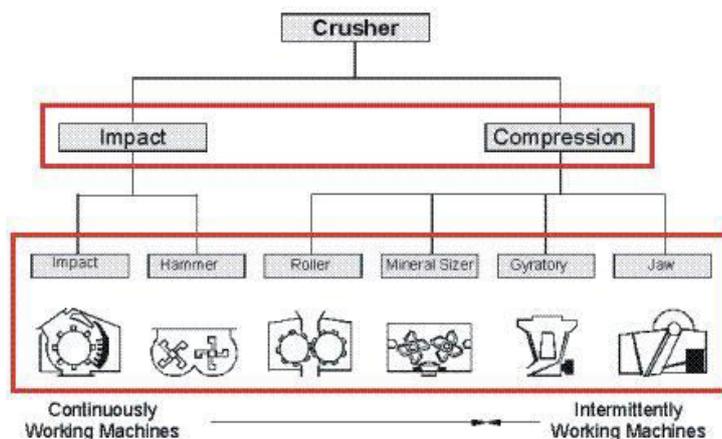


FIGURA 1.3. Tipos de trituradoras

Se pueden definir hasta 3 etapas de trituración:

- Primaria: Se refiere a la máquina de reducción que continúa el proceso luego de la voladura, con un tamaño máximo a la salida de 8 a 10 pulgadas y una mínima cantidad de finos.
- Secundaria: Es la siguiente etapa de reducción luego de la trituración primaria. Generalmente se obtienen tamaños de salida máximos de 4 pulgadas.
- Terciaria: Cuando es requerido un producto con partículas finas (entre  $\frac{1}{2}$  y 2 pulgadas, tamaño menor a lo especificado en la apertura de salida)

Como parte final de esta etapa, el material es llevado a través de bandas transportadoras a las salas de almacenamiento para la formación de pilas que serán el lugar de origen para la siguiente fase del proceso.

### 1.3. Molienda de Crudo

En la molienda de crudo, importante es lograr la correcta prehomogenización del material para reducir las fluctuaciones químicas de su composición. Generalmente en la apilación del material en las salas de almacenamiento, se la hace en capas, de manera que, al recoger el material en forma perpendicular, se obtiene producto de las diferentes capas que se apilaron y con esto una mejor mezcla.

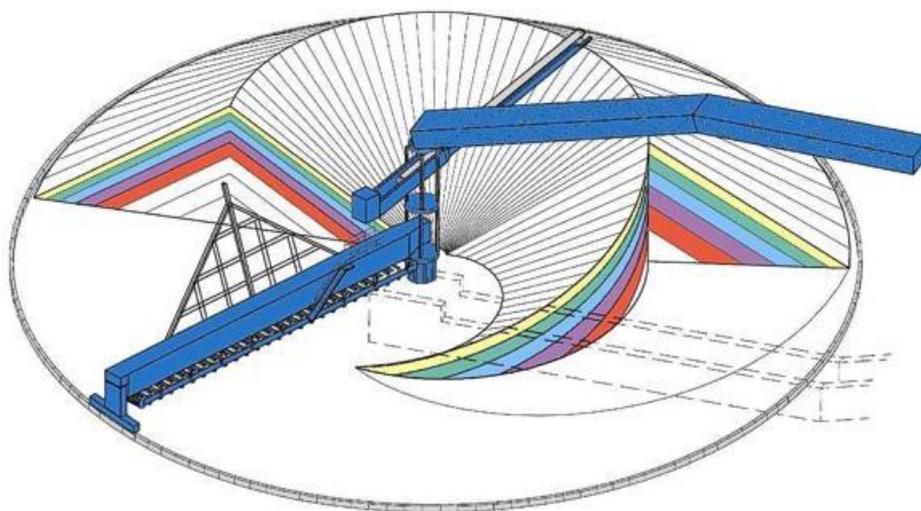


FIGURA 1.4. Apilamiento y prehomogenización del material

Como propósitos principales de la molienda de crudo tenemos que el material que ingresa a la molienda deberá salir con la finura adecuada (tamaño de partículas y distribución del tamaño de

partículas) necesarias para la producción de clínker con la calidad requerida. Se considerará también el proporcionamiento de los componentes del crudo en los rangos correctos, así como su mezclado y su secado para facilitar su transporte posteriormente.

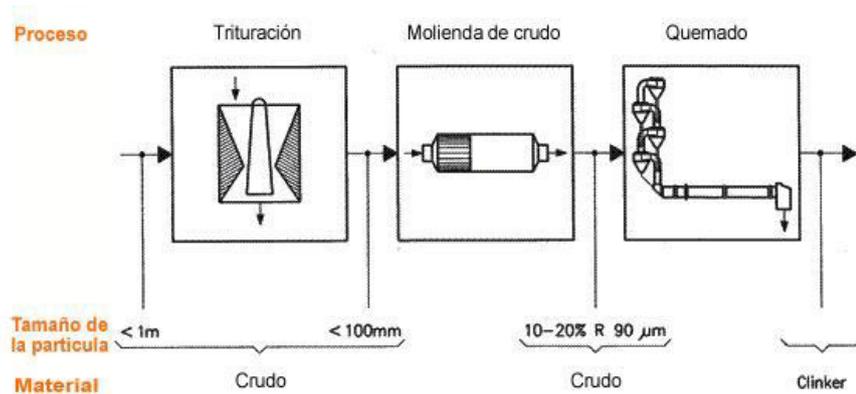


FIGURA 1.5. Molienda de crudo

El molino vertical de rodillos es la solución preferida para la molienda de crudo, debido a su gran capacidad de secado, mayor tamaño de ingreso de partículas (comparado con el molino de bolas) y su menor consumo energético específico.

En el molino vertical se diferencian los diversos procesos, el accionamiento a través del ingreso de energía al motor-reductor-plato principal, la molienda y separación del material en conjunto

con el secado y posteriormente el transporte del material que ha alcanzado la finura requerida. El secado es sumamente importante para el proceso, ya sea porque el material seco no se adhiere a las paredes y evita problemas para el mantenimiento, los altos contenidos de humedad reducen la capacidad de los molinos, además, la excesiva humedad lleva a la no deseada hidratación del cemento posteriormente.

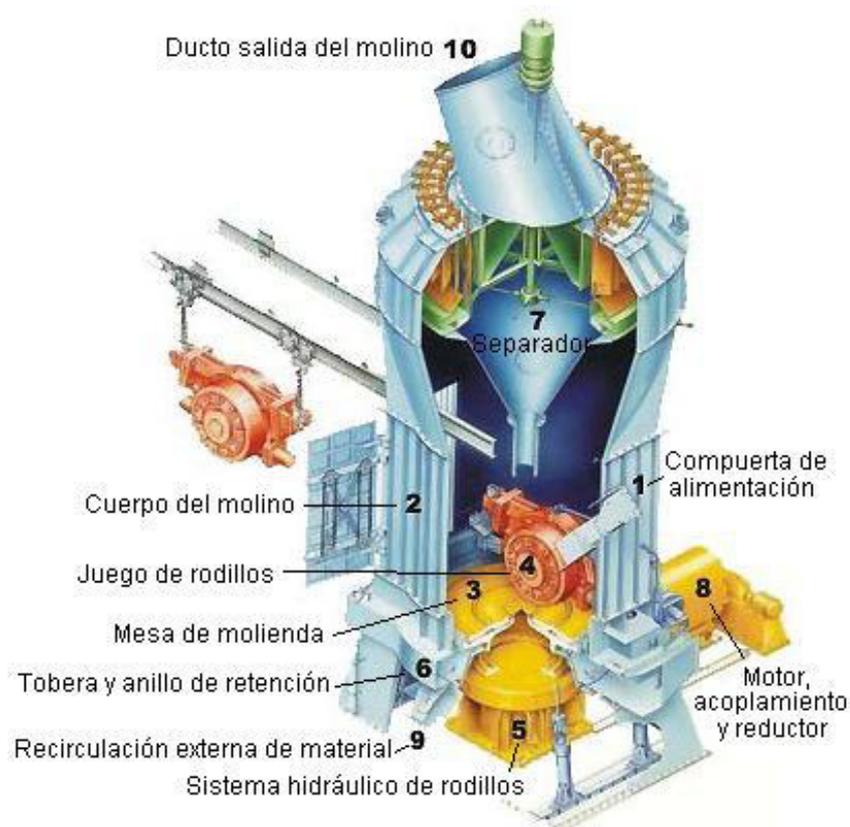


FIGURA 1.6. Molino vertical

#### **1.4. Fabricación de Clínker**

En la fabricación de clínker, una eficiente transferencia de calor se lleva a cabo en la torre del precalentador y en el horno, llevando el crudo hasta los 1450 °C. Al alcanzar esa temperatura, todas las reacciones químicas requeridas se han llevado a cabo combinando todos los componentes naturales logrando la formación de un nuevo mineral artificial llamado clínker.

La quema de combustibles genera gases que son transportados por un ventilador principal desde el horno a través de la torre del precalentador luego hacia un filtro para finalmente dejarlos salir a la atmósfera.

En sentido contrario a este, está la alimentación al horno; Se extrae el crudo desde los silos de almacenamiento hacia la parte más alta de la torre recorriéndola en sentido contrario a los gases produciéndose la transferencia de calor, logrando que a la entrada del horno, el crudo alcance los 900 °C aproximadamente; luego, dentro del horno, se produce la transformación del material en clínker y posteriormente su enfriamiento para almacenarlo en los silos como último paso de esta fase.

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

TABLA 1

Reacciones en la fabricación de clínker

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

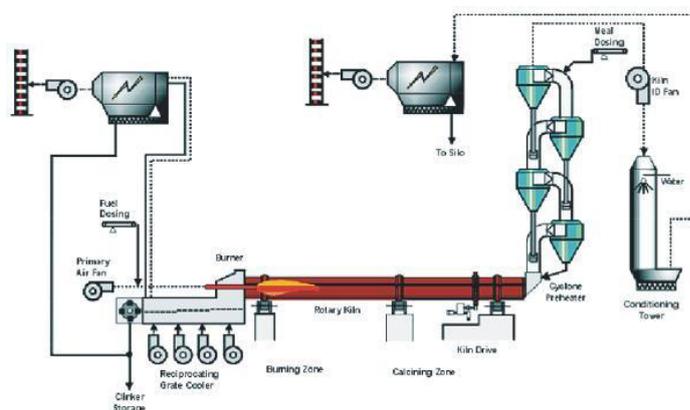


FIGURA 1.7. Fabricación de clínker

### 1.5. Molienda de Cemento

En la molienda de cemento, el clínker se lo muele en conjunto con materiales aditivos, tales como el yeso, la limolita y la puzolana en proporciones definidas para obtener como resultado final el cemento. Debido a la finura que se trabaja en los molinos de cemento, esta parte del proceso es la de mayor consumo energético específico en la planta.

Molinos tubulares son utilizados para esta aplicación. Pueden estar constituidos por una o dos cámaras separadas por un mamparo central. En cada una de las cámaras se encuentran las cargas de bolas (grandes para la primera cámara, entre 50 y 100mm; medianas y pequeñas para la segunda cámara, entre 15 y 50mm)

que rotan con el movimiento del molino generado por el sistema de accionamiento.

Las bolas grandes crean el efecto catarata el material de alimentación es triturado básicamente por impacto en la primera cámara, mientras que las bolas pequeñas y medianas en la segunda cámara crean el efecto cascada, en este caso los cuerpos molidores trabajan con fuerzas de fricción para realizar la molienda.

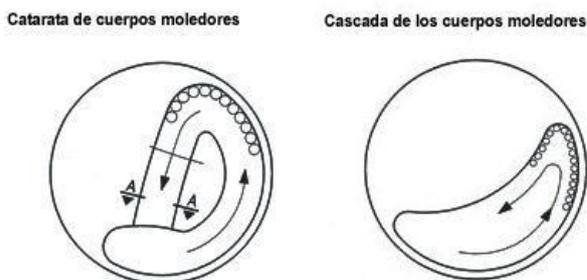


FIGURA 1.8. Efecto de los cuerpos molidores en un molino tubular

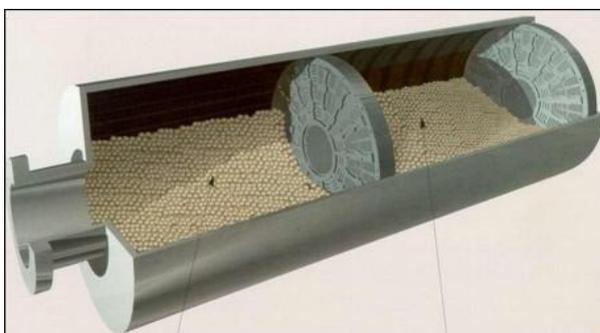


FIGURA 1.9. Molino tubular

## **1.6. 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.

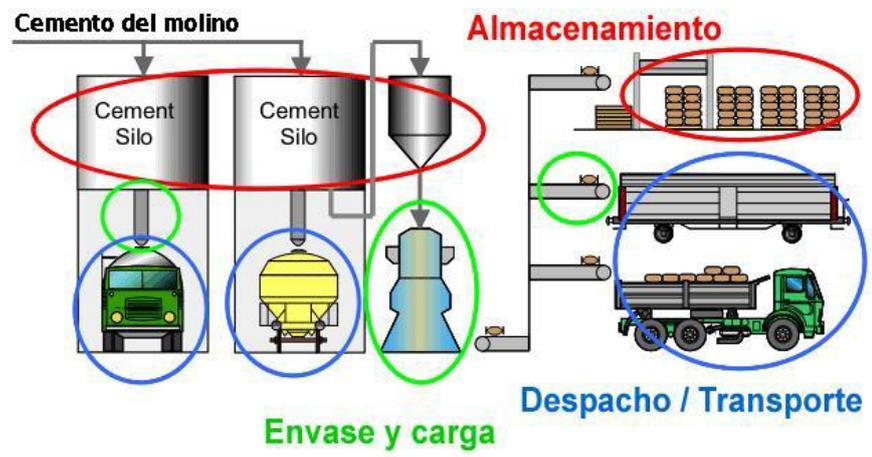


FIGURA 1.10. Envasado y despacho de cemento

## CAPÍTULO 2

### 2. fundamentos teóricos para sistemas de desempolvado en plantas cementeras

- 2.1. **IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE DESEMPOLVADO**
- LA PRIMERA APLICACIÓN DE UN EQUIPO PARA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN DE AIRE FUE A MEDIADOS DEL SIGLO PASADO. EL PROPÓSITO NO ERA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL, SINO LA NECESIDAD DE MANTENER LIMPIO EL LUGAR DE TRABAJO, EVITANDO QUE SEA AFECTADA LA EFICIENCIA DE LOS TRABAJADORES. EL MOTIVO DE MANTENER EL MEDIO AMBIENTE LIMPIO ERA SECUNDARIO. EL PRIMER COLECTOR DE POLVO ERA UNA SIMPLE ESTRUCTURA DE LADRILLO USANDO FILTROS DE TELA, Y FUNCIONABA SIMILAR A UNA ASPIRADORA DOMÉSTICA. LA FORMA ACTUAL HA SIDO USADA A LO LARGO DE LOS ÚLTIMOS 50**

**AÑOS CON LOS MEJORAMIENTOS PRINCIPALES EN LAS ÁREAS DE LOS MECANISMOS DE LIMPIEZA Y EN LA TECNOLOGÍA EN LOS MATERIALES DE LOS FILTROS.**

**EN EL ECUADOR EXISTE LA NORMA TÉCNICA DICTADA BAJO EL AMPARO DE LA LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL Y DEL REGLAMENTO A LA LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL, IMPUESTA POR EL MINISTERIO DEL AMBIENTE, Y QUE ESTÁ BASADA EN LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL FEDERAL DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA, SIENDO DICHA NORMA LA QUE UTILIZA LA EMPRESA DENTRO DEL PROCESO. CUALQUIER PROCESO DE PRODUCCIÓN QUE LIBERE PARTÍCULAS AL AIRE AMBIENTE UTILICE ALGÚN TIPO DE EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE AIRE.**

**EL CONTROL DE LAS EMISIONES EN LA ACTUALIDAD FORMA PARTE FUNDAMENTAL DE CUALQUIER PROCESO DENTRO DE LA FABRICACIÓN DE CEMENTO, EN DONDE EXISTEN VARIOS PUNTOS A CONSIDERAR TALES COMO LA EXTRACCIÓN, EL TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y**

**PROCESAMIENTO DE GRANDES CANTIDADES DE MATERIAL ES SU MAYOR PARTE SECO, SIENDO ESTO UNA OBVIA FUENTE DE POLVO FUGITIVO Y MATERIAL DERRAMADO.**

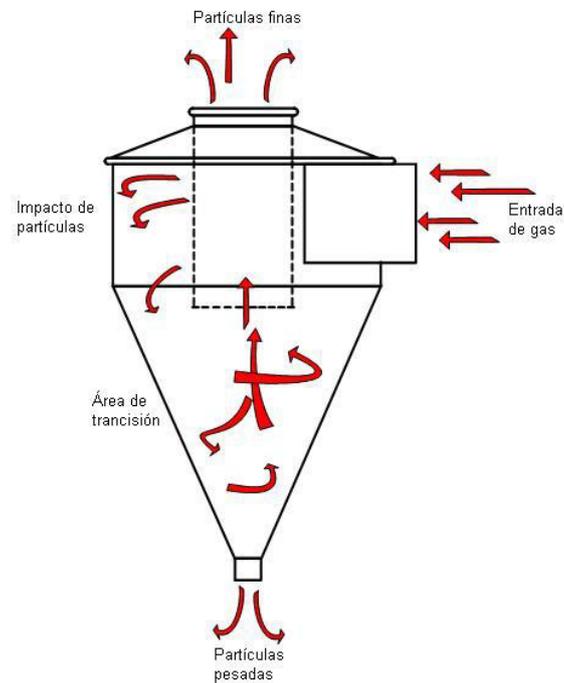
**EN CUANTO AL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS, DEBEMOS DECIR QUE CADA TONELADA DE MATERIAL QUE SE ESCAPA DEL PROCESO ES UNA PÉRDIDA, MIENTRAS LOS EQUIPOS SIGUEN TRABAJANDO NORMALMENTE CONSUMIENDO ENERGÍA, LAS TONELADAS POR HORA SE REDUCEN, HACIENDO QUE EL CONSUMO ESPECÍFICO DE LOS EQUIPOS SEA MAYOR, PRESENTÁNDOLOS COMO MENOS EFICIENTES Y CON BAJOS RENDIMIENTOS. ESTA IDEA SURGE PORQUE NO SE APROVECHA TODO EL MATERIAL QUE INGRESA A LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN, PORQUE EXISTEN PUNTOS POR DONDE SE ESCAPA; ES CIERTO QUE LUEGO GRAN PARTE DE ESTE MATERIAL SE RECUPERA, PERO ESO GENERA COSTOS DE ALQUILER DE EQUIPOS, Y HORAS QUE PUDIERAN SER INNECESARIAS DE TRABAJO ADICIONAL PARA EL PERSONAL.**

## **2.2. TIPOS DE COLECTORES DE POLVO**

**LOS COLECTORES DE POLVO SE PUEDEN CLASIFICAR EN 4 GRUPOS QUE SE DEFINEN A CONTINUACIÓN:**

2.2.1. POR SU PRINCIPIO DE OPERACIÓN

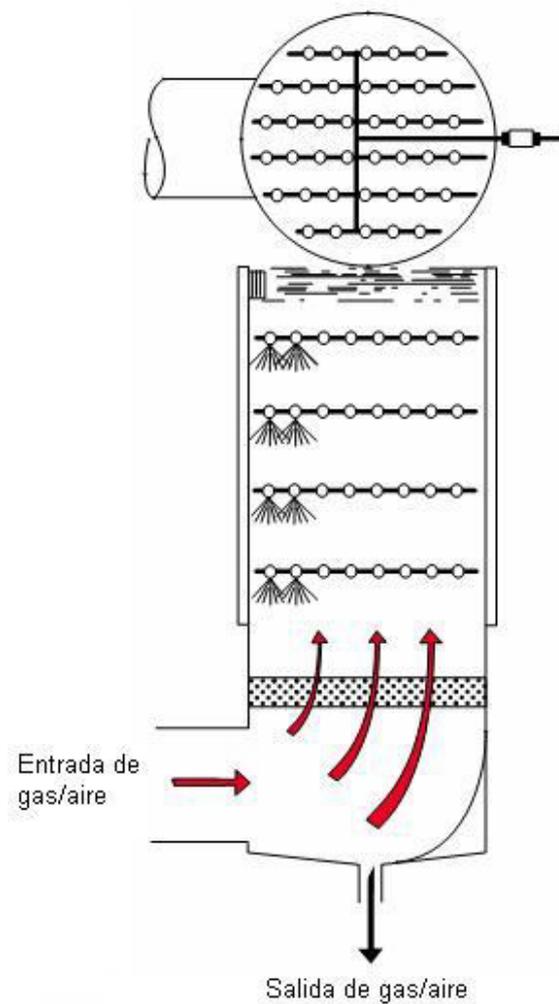
**CICLONES: LOS CICLONES SON COLECTORES CENTRÍFUGOS DONDE LA ENTRADA DE PARTICULAS EN TANGENCIAL AL CUERPO DEL CONO, FORZANDO EL MATERIAL HACIA LA PARTE EXTERNA LO QUE DISMINUYE LA VELOCIDAD DEL AIRE Y PROPICIA EL DESPRENDIMIENTO DE PARTICULAS. EL AIRE LIMPIO SALE POR LA PARTE SUPERIOR DEL CICLÓN. MUCHAS VECES LOS CICLONES SE INSTALAN EN ZONAS DONDE SE MUEVEN O DESCARGAN GRANDES CANTIDADES DE PARTICULAS, PARA REDUCIR LA CANTIDAD DE MATERIAL QUE VA AL FILTRO DE MANGAS. EL PROMEDIO DE EFICIENCIA DE UN CICLÓN ES APROXIMADAMENTE 65% CUANDO FILTRA PARTICULAS DE 40 MICRAS EN TAMAÑO, CON UNA PÉRDIDA DE CARGA ENTRE 20 Y 40 MMCDA.**



**FIGURA 2.1. CICLÓN**

**COLECTORES DE PROCESOS HÚMEDOS: ESTE TIPO DE COLECTORES USAN AGUA PARA SATURAR LAS PARTÍCULAS, Y ASÍ PODER SEPARARLAS. HOY EN DÍA SE USAN DOS TIPOS DE COLECTORES HÚMEDOS, LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN HÚMEDOS QUE SATURAN LAS PARTÍCULAS LLEVÁNDOLAS A UN DECANTADOR, Y PRECIPITADORES HIDROELÉCTRICOS QUE SATURAN LAS PARTÍCULAS CARGADAS Y PASAN LA SOLUCIÓN ENTRE PLACAS DE METAL CON CARGAS OPUESTAS. LOS COLECTORES HÚMEDOS SON**

**RELATIVAMENTE INEFICACES Y CREAN LODO O FANGO, UN PROBLEMA DE CONTAMINACIÓN SECUNDARIA QUE TAMBIÉN DEBE CONSIDERARSE.**



**FIGURA 2.2 TORRE DE ATOMIZACIÓN**

**PRECIPITADORES ELECTROSTÁTICOS: EN ESTE TIPO DE COLECTOR, LOS GASES CARGADOS PASAN**

**A TRAVÉS DEL PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO,  
DONDE LAS PARTÍCULAS SE CARGAN  
ELÉCTRICAMENTE.**

**LAS PARTÍCULAS ACUMULADAS SE DESPRENDEN  
AL GOLPEAR LAS PLACAS COLECTORAS. LOS  
GASES PASAN A TRAVÉS DE UNA CÁMARA CON UN  
CAMPO ELÉCTRICO QUE SE MANTIENE ENTRE DOS  
TIPOS DE ELECTRODOS (DE DESCARGA Y  
COLECTOR).**

**A UN POTENCIAL CRÍTICO, LAS MOLÉCULAS DE  
GAS SE DESCOMPONEN EN IONES POSITIVOS Y  
NEGATIVOS POR IONIZACIÓN Y OCURRE CERCA  
DEL ELECTRODO DE DESCARGA O EN EL MEJOR DE  
LOS CASOS EN EL ELECTRODO DE DESCARGA.**

**LOS IONES CON LA MISMA POLARIDAD QUE LOS  
ELECTRODOS DE DESCARGA, SE ADHIEREN A LAS  
PARTÍCULAS NEUTRAS CONTENIDAS EN EL GAS Y  
SON ATRAÍDAS POR EL ELECTRODO COLECTOR  
POR SER DE POLARIDAD OPUESTA.**

EN EL MOMENTO DEL CONTACTO DE LA PARTÍCULA CON EL ELECTRODO, PIERDE SU CARGA Y PUEDE SER RETIRADA FÁCILMENTE. 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.

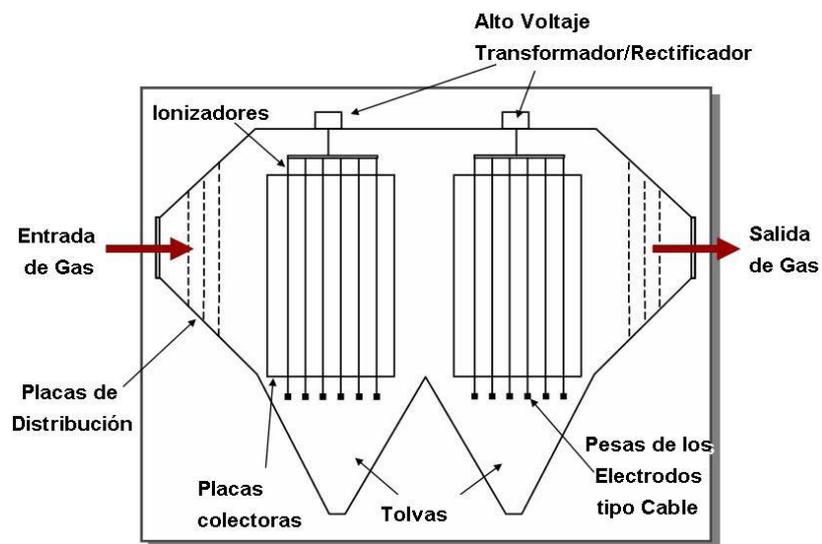
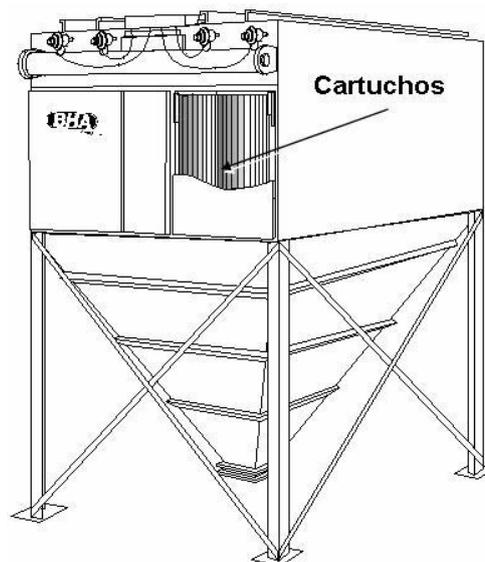


FIGURA 2.3. PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO

**FILTROS DE CARTUCHO: LOS SISTEMAS DE CARTUCHOS FUNCIONAN USANDO MEDIOS FILTRANTES CON PLIEGUES DE APROXIMADAMENTE 60 A 90CM DE LARGO, HECHOS DE PAPEL.**

**LOS COLECTORES DE CARTUCHOS SE USAN TÍPICAMENTE EN PROCESOS INDUSTRIALES DE MENOR VOLUMEN, CON FLUJOS DE GASES INFERIORES A 700 M<sup>3</sup>/H.**



**FIGURA 2.4. FILTRO DE CARTUCHOS**

**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 ESTRINGENTES 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. GENERALMENTE LAS MANGAS ESTÁN DISPUESTAS EN EL FILTRO EN POSICIÓN VERTICAL. EL AIRE/GAS CARGADO DE SÓLIDOS ES FORZADO A PASAR A TRAVÉS DEL TEXTIL, SOBRE EL QUE SE FORMA UNA CAPA DE POLVO QUE SEPARA LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DEL AIRE/GAS. LAS MANGAS SE LIMPIAN PERIÓDICAMENTE EN EL INTERIOR DEL FILTRO POR MEDIO DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA QUE VARÍA SEGÚN EL DISEÑO DEL CONSTRUCTOR.**

**2.2.2. POR SU 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 2.5 FILTRO AUXILIAR**

**FILTROS DE PROCESO: ESTE TIPO DE FILTROS EN CAMBIO SON CRÍTICOS, FORMAN PARTE DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN. PUEDE SER USADO CONTINUAMENTE LAS 24 HORAS DEL DÍA, 365 DÍAS AL AÑO. NORMALMENTE PROCESA VOLÚMENES EXTREMADAMENTE ALTOS Y PUEDE SER SOMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS, MATERIALES ABRASIVOS, PARTÍCULAS MINÚSCULAS, ALTAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES Y SUSTANCIAS CORROSIVAS. LA DEFINICIÓN DE FILTRO DE PROCESO ES QUE, SI EL COLECTOR FUNCIONA MAL, LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA SE DETIENE. POR EJEMPLO, EN UNA PLANTA DE**

**ASFALTO, SI EL FILTRO NO FUNCIONA ADECUADAMENTE, LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA ES REDUCIDA. SI EL FILTRO DEJA DE FUNCIONAR COMPLETAMENTE, LA PLANTA ENTERA DEJA DE FUNCIONAR.**



**FIGURA 2.6 FILTRO DE PROCESO**

**ADEMÁS, CUANDO GASES TÓXICOS ESTÁN PRESENTES, EL BUEN FUNCIONAMIENTO DEL COLECTOR ES ESENCIAL YA QUE ES IMPORTANTE QUE ESTAS SUSTANCIAS TÓXICAS NO SALGAN AL AMBIENTE. DEBIDO A ESTOS FACTORES, LOS COLECTORES DE PROCESO SON MANTENIDOS EN MANERA DIFERENTE A LA DE LOS AUXILIARES. SON INSPECCIONADOS MÁS FRECUENTEMENTE, MIENTRAS LOS COLECTORES AUXILIARES SON**

INSPECCIONADOS CADA MES APROXIMADAMENTE, ESTOS SON INSPECCIONADOS SEMANALMENTE DE MANERA MÁS MINUCIOSA.

2.2.3. 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. ENTRE LOS QUE UTILIZAN ESTE TIPO DE FILTRACIÓN TENEMOS LOS FILTROS DE MANGA PULSE-JET.

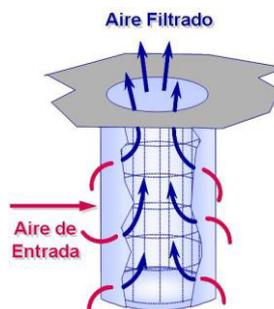
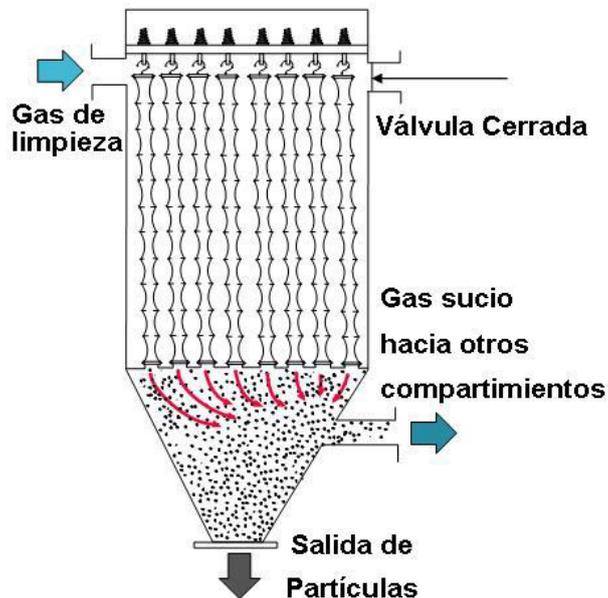


FIGURA 2.7. FILTRADO EXTERIOR

**FILTRACIÓN INTERIOR:** EN LOS FILTROS DE MANGAS CON FILTRACIÓN INTERNA (LOS FILTROS DE AIRE REVERSO POR EJEMPLO), LAS PARTÍCULAS SON RECOLECTADAS EN EL LADO INTERIOR DE LAS MANGAS. EL GAS CARGADO DE PARTÍCULAS ENTRA

**A TRAVÉS DE LA PARTE INTERIOR DEL COLECTOR  
Y ES DIRIGIDO AL INTERIOR DE LA MANGA.**



**FIGURA 2.8. FILTRADO INTERIOR**

#### 2.2.4. 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. SE**

**PUEDEN CONSTRUIR COLECTORES DE PRESIÓN POSITIVA CON ESTRUCTURA MÁS DÉBIL, YA QUE LA PRESIÓN POSITIVA ES CONTRARRESTADA POR LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA QUE ACTÚA EN LA ESTRUCTURA O CÁMARA DEL COLECTOR. SIN EMBARGO, EXISTEN LIMITACIONES YA QUE EL VENTILADOR ESTÁ LOCALIZADO EN LA PARTE SUCIA DEL SISTEMA, EL DETERIORO PREMATURO DE SUS COMPONENTES PUEDE OCURRIR CON ESTE TIPO DE ARREGLO, SIENDO ESTO MUY IMPORTANTE CUANDO SE TRATA DE MANTENIMIENTO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL COLECTOR.**

**EL VENTILADOR, COMO VEREMOS MÁS ADELANTE, ES UN COMPONENTE INTEGRAL DEL SISTEMA; SI PRESENTA UN MAL FUNCIONAMIENTO, PUEDE OCASIONAR EL PARO COMPLETO DE OPERACIONES. COLECTORES DE PRESIÓN POSITIVA SON MENOS COSTOSOS INICIALMENTE DEBIDO A SU ESTRUCTURA POR SER MÁS DÉBIL, PERO MÁS CAROS A LARGO PLAZO. ESTE TIPO DE**

**COLECTORES, NORMALMENTE TIENEN PEQUEÑAS CHIMENEAS O SALIDAS EN LA PARTE SUPERIOR DEL COLECTOR QUE SE LLAMAN MONITORES DE TECHO. ESTO ES PROBLEMÁTICO CUANDO LA PRUEBA DE EMISIONES ES NECESARIA PARA DETERMINAR LA EFECTIVIDAD DE FILTRACIÓN.**

**SISTEMAS DE PRESIÓN POSITIVA SON USADOS CON MEJORES RESULTADOS CUANDO LOS GASES SON DE POCA HUMEDAD Y DE BAJAS CONCENTRACIONES DE POLVO NO ABRASIVO.**



**FIGURA 2.9. SISTEMA DE PRESIÓN POSITIVA**

**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. LA ESTRUCTURA DE ESTE TIPO DE COLECTORES DEBE SER REFORZADA YA QUE LA PRESIÓN NEGATIVA ACTÚA JUNTO CON LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA.**

**AL TENER PRESIÓN NEGATIVA, NO PUEDEN EXISTIR FUGAS DE AIRE CONTAMINADO, Y LA LIMPIEZA EN LOS ALREDEDORES DEL COLECTOR ES REDUCIDA. EL DETERIORO DEL VENTILADOR ES MUCHO MENOR EN LOS SISTEMAS DE PRESIÓN NEGATIVA, YA QUE LAS PARTÍCULAS SON SEPARADAS DEL AIRE ANTES DE ENTRAR AL VENTILADOR. ESTO PUEDE SER EL FACTOR MÁS IMPORTANTE EN SELECCIONAR COLECTORES DE PRESIÓN NEGATIVA. SISTEMAS DE PRESIÓN NEGATIVA SON USADOS CUANDO LOS GASES SON CORROSIVOS, CONTIENEN ALTA HUMEDAD O GRAN CONCENTRACIÓN DE POLVO ABRASIVO. UNA VEZ QUE EL GAS ENTRA AL COLECTOR, LAS PARTÍCULAS SON CAPTURADAS POR EL MATERIAL DE FILTRACIÓN.**

**LOS COLECTORES NORMALMENTE SON CONSTRUIDOS USANDO GRANDES CANTIDADES DE FILTROS CILÍNDRICOS O BOLSAS QUE SON COLGADOS VERTICALMENTE EN EL COLECTOR. EL NÚMERO DE BOLSAS PUEDE VARIAR DE CIEN A MIL O MÁS, DEPENDIENDO DEL TAMAÑO DEL COLECTOR Y LOS REQUERIMIENTOS DE VOLUMEN DE AIRE DEL SISTEMA. CUANDO LA CAPA DE POLVO CRECE HASTA CIERTO ESPESOR, LA BOLSA ES LIMPIADA, CAUSANDO QUE LAS PARTÍCULAS CAIGAN A LA TOLVA DE RECOLECCIÓN. ESTAS PARTÍCULAS SON GUARDADAS EN LA TOLVA TEMPORALMENTE Y LUEGO SON RETIRADOS POR MEDIO DE TRANSPORTADORES NEUMÁTICOS O TORNILLOS SIN FIN. EL AIRE LIMPIO ES LLEVADO AL AMBIENTE A TRAVÉS DE LA CHIMENEA O EN ALGUNOS CASOS, PUEDE SER RECIRCULADO DEPENDIENDO DE LAS NECESIDADES DEL PROCESO.**



**FIGURA 2.10. SISTEMA DE PRESIÓN NEGATIVA**

**EN LA SIGUIENTE MATRIZ, COMPARAMOS LOS CINCO TIPOS DE COLECTORES EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS MENCIONADAS PREVIAMENTE PARA DESTACAR LA APLICACIÓN DEL FILTRO DE MANGAS A UN SISTEMA COLECTOR AUXILIAR; 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.**

**COMO RESULTADO DE LA COMPARACIÓN TENEMOS QUE EL FILTRO DE MANGAS ES EL TIPO**

**DE COLECTOR QUE MÁS SE AJUSTA A NUESTROS  
REQUERIMIENTOS PARA EL SISTEMA AL OBTENER  
UNA MAYOR PUNTUACIÓN ENTRE ELLOS.**

**TABLA 2**  
**COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE**  
**COLECTORES**

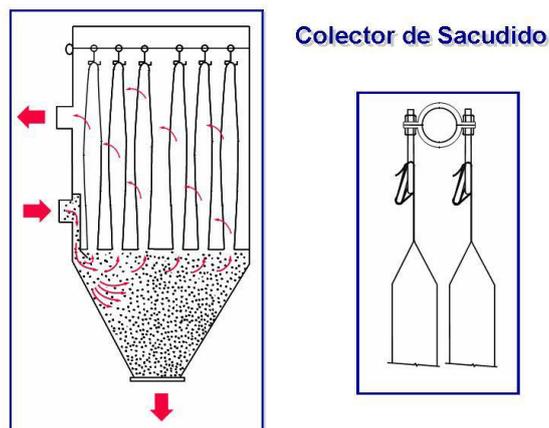
	PESOS	CICLONES	FILTRO DE PROCESO HÚMEDO	PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO	FILTRO DE MANGAS	FILTRO DE CARTUCHO
<b>COSTO DE INVERSIÓN (ALTO - 1, MEDIO 0, BAJO 1)</b>	3	0	0	-1	1	1
<b>APLICACIÓN PARA FILTRO AUXILIAR (SI: 1, NO: 0)</b>	7	0	0	0	1	1
<b>CONTINUIDAD DURANTE LIMPIEZA (SI: 1, NO: 0)</b>	5	0	0	1	1	1
<b>VOLUMEN AIRE PERMISIBLE (MENOR VOLUMEN -1, MEDIO 0, MAYOR VOLUMEN +1)</b>	4	1	0	1	1	0
<b>ASPECTOS SECUNDARIOS DE LIMPIEZA (DIFICULTAD EN LIMPIEZA -1, NORMAL 0, FACILIDAD +1)</b>	1	-1	-1	0	1	1
<b>CONSUMO DE AGUA (MAYOR CONSUMO -1, NORMAL 0, MENOR CONSUMO +1)</b>	2	1	-1	1	1	1
<b>EFICIENCIA (MENOS EFICIENTE -1, MEDIO 0, MÁS EFICIENTE +1)</b>	6	0	-1	1	1	1
<b>TOTAL</b>		5	-9	14	28	24

### 2.3. TIPOS DE FILTROS DE MANGAS

#### 2.3.1. POR SU MECANISMO DE LIMPIEZA

**EXISTEN TRES TIPOS DE FILTROS DE MANGAS: DE SACUDIDO, AIRE REVERSO Y PULSE JET.**

**FILTROS DE MANGAS DE SACUDIDO: ESTE TIPO DE FILTROS COLECTAN EL POLVO EN EL INTERIOR. LA ESTRUCTURA GENERALMENTE TIENE DOS O MÁS COMPARTIMIENTOS PARA PERMITIR QUE UNO DE ELLOS PUEDA DESCONECTARSE PARA SU LIMPIEZA. 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 2.11. FILTRO DE MANGAS DE SACUDIDO DURANTE EL PROCESO DE LIMPIEZA O FILTRACIÓN, EL AIRE SUCIO ENTRA AL COLECTOR Y SE ACUMULA EN LA PARTE INTERIOR DE LA MANGA. LA CAPA DE POLVO MANTIENE LA MANGA ABIERTA. PARA COMENZAR EL PROCESO DE LIMPIEZA, LA COMPUERTA DE ENTRADA SE CIERRA Y SE INICIA EL MOVIMIENTO DEL MECANISMO DE SACUDIDO CREANDO UNA ONDA SINUSOIDAL QUE COMIENZA EN LA PARTE SUPERIOR DE LA MANGA Y CREA ONDAS A LO LARGO DE ESTA. LA CAPA DE POLVO SE DESPRENDE Y CAE EN LA TOLVA. LA MAYORÍA DEL POLVO ES RECOLECTADO EN LOS PRIMEROS 5 A 10 SEGUNDOS DE LIMPIEZA.**

**EN SISTEMAS DE FILTROS INDUSTRIALES, SE NECESITA UN MOTOR PARA ACTIVAR EL MECANISMO DE SACUDIDO, PARA PODER MOVER LA BARRA A LA QUE SE CONECTAN LOS FILTROS DE MANGAS. ESTE PROCESO REQUIERE POCA ENERGÍA PARA PRODUCIR UNA ONDA QUE DESPRENDE LAS PARTÍCULAS DEL INTERIOR DE LAS MANGAS.**

**LA VELOCIDAD DEL SACUDIDO DEPENDE DEL DISEÑO DEL FABRICANTE ORIGINAL, ASÍ COMO DE LA COMPOSICIÓN DEL POLVO. LA FRECUENCIA DE SACUDIDO DEPENDE DEL TIPO DE POLVO RECOLECTADO, LA CONCENTRACIÓN DE ESTE Y LA CAÍDA DE PRESIÓN A TRAVÉS DEL FILTRO DE MANGAS.**

**EN UNIDADES DE COMPARTIMIENTOS, ES MUY IMPORTANTE QUE SE LOGRE UN AISLAMIENTO COMPLETO PARA EVITAR QUE EL AIRE ENTRE AL COLECTOR DURANTE LA SECUENCIA DE LIMPIEZA. ADEMÁS DEL TIPO DE COMPUERTA DE ENTRADA O VÁLVULAS UTILIZADAS PARA EL AISLAMIENTO DEL COMPARTIMIENTO.**

**OTRO PROBLEMA FRECUENTE ES LA ACUMULACIÓN DE POLVO U OTRO MATERIAL EN LA TOLVA ALREDEDOR DE LA BASE DE LA VÁLVULA. ESTA ACUMULACIÓN PUEDE DIFICULTAR EL CIERRE DE LA VÁLVULA, ESPECIALMENTE SI HAY HUMEDAD. CORROSIÓN EN LA BASE DE LA VÁLVULA TAMBIÉN PUEDE EVITAR QUE SE CIERRE POR COMPLETO. EL MANTENIMIENTO DE LA VÁLVULA Y DE LA COMPUERTA DE ENTRADA ASEGURARÁ UN FUNCIONAMIENTO EFICAZ Y SIN PROBLEMAS.**

**DEBIDO AL GRAN NÚMERO DE PARTES MÓVILES, LOS FILTROS DE SACUDIDO SUELEN NECESITAR MÁS MANTENIMIENTO QUE OTRO TIPO DE UNIDADES. LAS MANGAS SE DESGASTAN MÁS RÁPIDAMENTE Y FALLAN MÁS QUE EN OTROS SISTEMAS DE LIMPIEZA NO MECÁNICOS. LA LIMPIEZA ACÚSTICA PUEDE COMPLEMENTAR, Y EN ALGUNOS CASOS ELIMINAR EL USO DE MECANISMOS DE SACUDIDO YA QUE REDUCE EL**

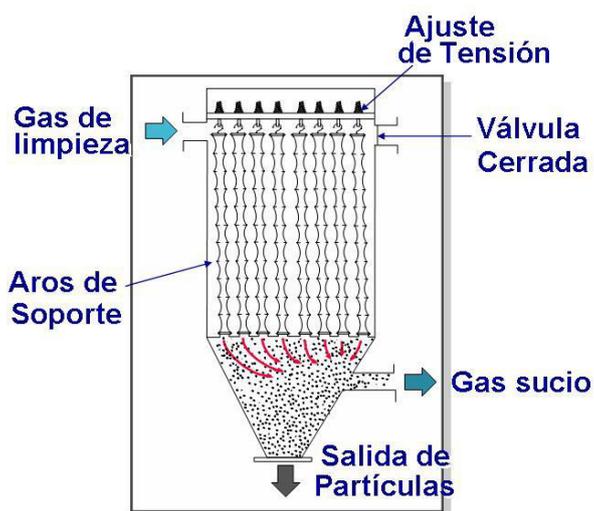
**TIEMPO Y LA FRECUENCIA DE LOS CICLOS DE LIMPIEZA. PARA QUE LA LIMPIEZA ACÚSTICA SEA EFICAZ SE NECESITA QUE LAS MANGAS TENGAN LA TENSIÓN ADECUADA.**

**FILTROS DE MANGAS DE AIRE REVERSO: LA ESTRUCTURA DE LOS FILTROS DE MANGAS GENERALMENTE ESTÁ CONSTITUIDA DE VARIOS COMPARTIMIENTOS QUE PERMITEN SU AISLAMIENTO DURANTE EL CICLO DE LIMPIEZA.**

**EN UN SISTEMA DE AIRE REVERSO, EL GAS CARGADO DE POLVO ENTRA A TRAVÉS DE LA PARTE INFERIOR DEL FILTRO Y ES DIRIGIDO HACIA LAS MANGAS FILTRANTES POR MEDIO DE DEFLECTORES. LAS PARTÍCULAS SE RECOGEN EN EL INTERIOR DE LAS MANGAS QUE CUELGAN VERTICALMENTE, MIENTRAS QUE EL AIRE LIMPIO SE ENCUENTRA EN EL EXTERIOR DE LAS MANGAS.**

**NORMALMENTE, LAS MANGAS EN COLECTORES DE AIRE REVERSO SON MUY GRANDES Y TIENEN**

**ANILLOS DE SOPORTE COSIDOS EN LA PARTE EXTERIOR PARA EVITAR EL COLAPSO DE LAS MISMAS DURANTE EL PROCESO DE LIMPIEZA.**



**FIGURA 2.12. FILTRO DE MANGAS DE AIRE REVERSO**

**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. LA PARTE INFERIOR DE LAS MANGAS SE SUJETA A UN COLLARÍN O DIRECTAMENTE A LA PLACA SEPARADORA,**

**MANTENIENDO ASÍ LAS MANGAS FIJAS, ACTUANDO A LA VEZ COMO BARRERA ENTRE EL PLENUM LIMPIO Y EL SUCIO.**

**DURANTE EL CICLO DE LIMPIEZA, SE CIERRA EL AIRE SUCIO EN UN COMPARTIMIENTO DETERMINADO. ESTE COMPARTIMIENTO ES PRESURIZADO CON UNA CORRIENTE DE AIRE LIMPIO DE BAJA PRESIÓN GENERADA POR UN VENTILADOR O UNA FUENTE AMBIENTAL. LAS MANGAS COLAPSAN Y LA ACCIÓN PERMITE EL DESPRENDIMIENTO DEL POLVO HACIA LA TOLVA. ESTE TIPO DE LIMPIEZA ES BASTANTE FUERTE POR LOS CAMBIOS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA.**

**LA FRECUENCIA DE LIMPIEZA DEPENDE DE LA CONCENTRACIÓN DE POLVO A LA ENTRADA DEL FILTRO. PUEDE SER CONTINUA O EXTENDERSE DURANTE VARIAS HORAS. UN CICLO COMPLETO CONSTA DE LA APERTURA DE LA VÁLVULA, EL CIERRE DE LA MISMA Y EL ASENTAMIENTO DE**

**POLVO; POR LO GENERAL EL CICLO DE LIMPIEZA COMPLETO DURA ALREDEDOR DE LOS 30S.**

**CUANDO EL COMPARTIMIENTO ES AISLADO, CUALQUIER OTRA LECTURA QUE NO SEA CERO INDICA QUE LA COMPUERTA DE ENTRADA NO ESTÁ CERRADA COMO DEBERÍA. ESTE FLUJO DE AIRE CAUSADO POR UNA FUGA PUEDE AFECTAR SEVERAMENTE LA EFICACIA DE LA LIMPIEZA. TODOS LOS MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL DEBEN ESTAR CALIBRADOS ADECUADAMENTE Y RECIBIR MANTENIMIENTO CONSTANTE.**

**FILTROS DE MANGAS PULSE-JET: ESTE TIPO DE FILTROS, PERMITE UNA MEJOR CANTIDAD DE AIRE CON IGUAL ÁREA EN EL COLECTOR, ES DECIR MAYOR RELACIÓN DE AIRE-TELA. EL SISTEMA PULSE-JET FUNCIONA GENERALMENTE CON UNA RELACIÓN DE AIRE A TELA DE  $1.2-1.8\text{M}^3/\text{M}^2/\text{MIN}$ . 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.**

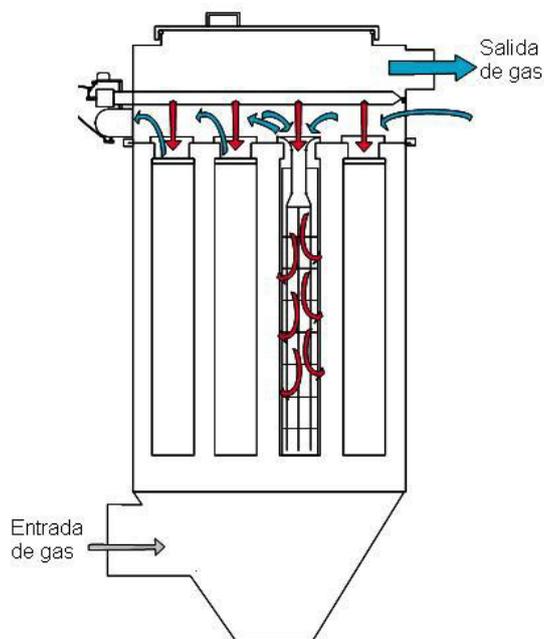
**ESTE AIRE SE PROPORCIONA A TRAVÉS DE UN TUBO CON BOQUILLAS QUE ALIMENTA LOS VENTURIS LOCALIZADOS EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS BOLSAS. EL CHORRO DE AIRE A ALTA PRESIÓN INTERRUMPE EL FLUJO NORMAL DE AIRE A TRAVÉS DEL FILTRO. TAMBIÉN CREA UNA ONDA**

**QUE AL DESPLAZARSE A LO LARGO DE LA MANGA  
HACE QUE ESTA SE FLEXIONE, ROMPIENDO LA  
CAPA DE POLVO QUE CAE HACIA LA TOLVA.**

**EN MUCHOS CASOS, EL VENTURI SE USA PARA  
AUMENTAR LA VELOCIDAD DEL CHORRO DE AIRE  
CREANDO UN IMPULSO SUFICIENTEMENTE  
GRANDE PARA QUE PUEDA DESPLAZARSE A LO  
LARGO DE LA MANGA Y REGRESAR AL PUNTO DE  
ORIGEN. EL CICLO DE LIMPIEZA PARA FILTROS  
PULSE-JET DEBE ESTAR DISEÑADO PARA PRODUCIR  
UN IMPULSO CORTO Y CONCISO PARA LOGRAR  
UNA LIMPIEZA EFICAZ. LA DURACIÓN DE ÉSTE ES  
DE 0,10 A 0,15 SEGUNDOS USANDO PRESIONES DE  
PULSACIÓN DE 4-7 BAR (60-100PSI).**

**LA FRECUENCIA DE LIMPIEZA ES UN FACTOR DE  
IMPORTANCIA PARA LA RETENCIÓN DE CIERTA  
CAPA DE POLVO SOBRE LA MANGA. LOS  
INTERVALOS ENTRE LOS CICLOS DE LIMPIEZA  
PUEDEN VARIAR DE 1 A 30 SEGUNDOS O MÁS. LA  
FRECUENCIA DEBE ADAPTARSE PARA MANTENER**

**LA PRESIÓN DIFERENCIAL ENTRE 2 Y 6 PULGADAS  
DE AGUA.**



**FIGURA 2.13. FILTRO DE MANGAS TIPO PULSE JET**

**ESTE SISTEMA NO TIENE PARTES MÓVILES, Y  
LIMPIA CONTINUAMENTE SIN NECESIDAD DE  
AISLAMIENTO. SIN EMBARGO, DEBIDO A LA  
PRESIÓN DE AIRE QUE SE UTILIZA, ES NECESARIO  
ESCOGER TEXTILES CON MAYOR ESTABILIDAD  
DIMENSIONAL Y RESISTENCIA A LA TENSIÓN.**

2.3.2. POR SU SECUENCIA DE LIMPIEZA

**TODOS LOS COLECTORES SE PUEDEN IDENTIFICAR POR SU SECUENCIA DE LIMPIEZA: INTERMITENTE, AUTOMÁTICA CONTINUA O DE LIMPIEZA CONTINUA.**

**LIMPIEZA INTERMITENTE: ESTOS FILTROS DE MANGAS TIENEN UN COMPARTIMIENTO, GENERALMENTE DE SACUDIDO Y ES NECESARIO APAGAR EL VENTILADOR PARA QUE EL MECANISMO DE LIMPIEZA PUEDA INICIARSE.**

**LIMPIEZA CONTINUA FUERA DE LÍNEA: LOS FILTROS TIENEN VARIOS COMPARTIMIENTOS O SECCIONES. CADA COMPARTIMIENTO SE LIMPIA CON UNA SECUENCIA ROTATORIA DESCONECTÁNDOSE DE LOS DEMÁS DURANTE LA LIMPIEZA. EL AIRE SUCIO SE DESVÍA A OTRO COMPARTIMIENTO, GRACIAS A ESTO, SE PUEDE CONTINUAR FILTRANDO DURANTE LA LIMPIEZA, POR EJEMPLO LOS FILTROS DE AIRE REVERSO.**

**LIMPIEZA CONTINUA EN LÍNEA: LOS FILTROS SON COMPLETAMENTE AUTOMÁTICOS Y GENERALMENTE ESTÁN EN LÍNEA DURANTE LA LIMPIEZA. EL PROCESO DE FILTRACIÓN SE INTERRUMPE MOMENTÁNEAMENTE DEBIDO AL AIRE COMPRIMIDO QUE LIMPIA LAS MANGAS EN LOS FILTROS PULSE-JET. LOS FILTROS GRANDES DE LIMPIEZA CONTINUA, GENERALMENTE TIENEN VARIOS COMPARTIMIENTOS PARA EVITAR TENER QUE APAGARSE DURANTE EL MANTENIMIENTO.**

**UNA VEZ REVISADAS LOS DIFERENTES TIPOS DE FILTROS DE MANGAS, PROCEDEREMOS A HACER UNA COMPARACIÓN ENTRE ELLOS EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS MENCIONADAS, PARA ENCONTRAR, EL TIPO DE FILTRO DE MANGAS QUE MEJOR SE AJUSTA A NUESTRA NECESIDAD. A CONTINUACIÓN TENEMOS LA TABLA:**

**TABLA 3**

**COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE FILTROS DE MANGAS**

	PESOS	SACUDIDO	AIRE REVERSO	PULSE JET
CANTIDAD DE COMPARTIMENTOS (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 AUXILIAR. ANALIZAREMOS SUS CONSIDERACIONES DE DISEÑO POSTERIORMENTE.**

- 2.4. **COMPONENTES EN UN SISTEMA COLECTOR DE MANGAS PARA QUE UN FILTRO DE MANGAS PUEDA CUMPLIR SU FUNCIÓN, NECESITA ADEMÁS DE OTROS COMPONENTES**

**PARA PODER GENERAR UN SISTEMA COLECTOR DE POLVOS. EL FILTRO COMO TAL, NO PODRÍA TRABAJAR CORRECTAMENTE SIN QUE EXISTIERA CONFINAMIENTO EN EL SISTEMA, DUCTOS A TRAVÉS DE LOS CUALES EL AIRE CONTAMINADO Y LIMPIO CIRCULAN, UN VENTILADOR PARA EL TRANSPORTE DEL FLUIDO, SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO A LA ENTRADA DEL FILTRO DEPENDIENDO LAS CONDICIONES DEL PROCESO, SIN OLVIDAR LA SALIDA DE LOS GASES LIMPIOS POR MEDIO DE CHIMENEAS O SALIDAS SIMPLES A RAÍZ DEL VENTILADOR. DETALLAREMOS DE MANERA BREVE LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA COLECTOR DE MANGAS.**

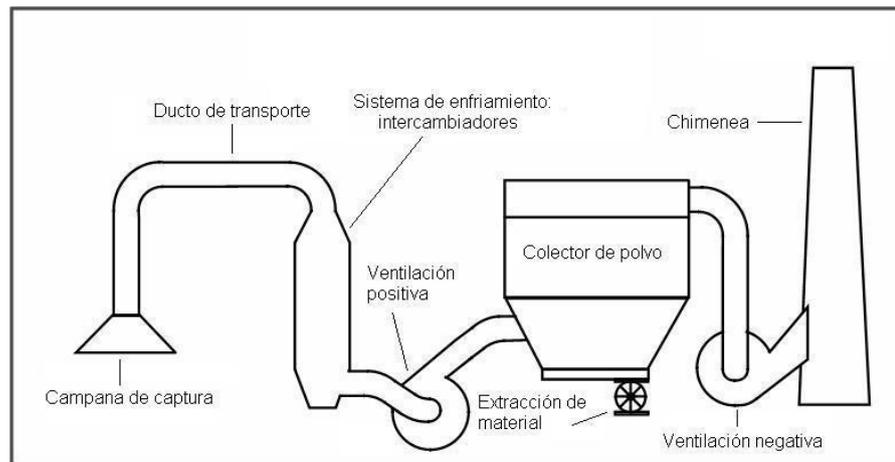
#### **DIAGRAMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN**

**LA INSTALACIÓN EMPIEZA CON LA CAMPANA DE ASPIRACIÓN EN EL PUNTO DONDE SE DESEA CAPTAR EL AIRE O GAS CONTAMINADO. EN CUALQUIER SISTEMA DE VENTILACIÓN, LA IDEA DE MEJORAR EL AMBIENTE Y CONTROLAR EMISIÓN NECESARIAMENTE TIENE QUE IR DE LA MANO CON ALGÚN TIPO DE CONFINAMIENTO PARA PODER AUMENTAR LA VELOCIDAD DEL AIRE O GAS A LA ENTRADA AL SISTEMA.**

**A MEDIDA QUE EL GAS PASA A TRAVÉS DE LA TUBERÍA HACIA EL FILTRO, EN ALGUNOS CASOS, ES NECESARIO PROPORCIONAR ALGÚN TIPO DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA EVITAR TEMPERATURAS ALTAS.**

**EXISTEN VARIOS MÉTODOS DE ENFRIAMIENTO, POR EJEMPLO, LA DILUCIÓN DEL GAS UTILIZANDO AIRE AMBIENTE, ES EL MÉTODO DE ENFRIAMIENTO MÁS SIMPLE Y ECONÓMICO, ESPECIALMENTE PARA TEMPERATURAS MUY ELEVADAS.**

**LA DILUCIÓN DE AIRE AUMENTA EL VOLUMEN DE GAS EN FORMA CONSIDERABLE, POR LO TANTO, REQUIERE LA UTILIZACIÓN DE UN FILTRO DE MANGAS MÁS GRANDE QUE PUEDA MANEJAR MAYOR VOLUMEN DE AIRE. POR LO GENERAL, LA MÁXIMA TEMPERATURA QUE SOPORTAN LAS MANGAS SE ENCUENTRA ALREDEDOR DE LOS 260 °C, Y ANTE ESTO, TENEMOS POR EJEMPLO SERPENTINES, INTERCAMBIADORES, TORRES DE ACONDICIONAMIENTO, COMPUERTAS DE AIRE DE DILUCIÓN (AIRE FRÍO MEZCLADO CON AIRE CALIENTE).**



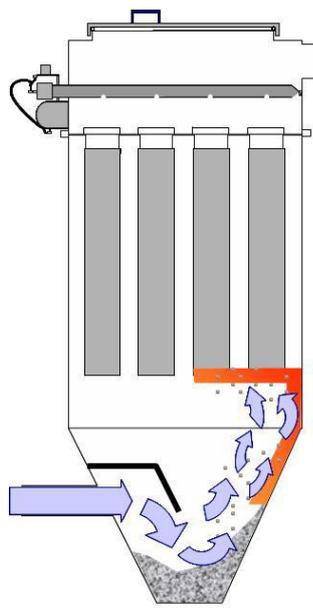
**FIGURA 2.14. DIAGRAMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN**

**EL ENFRIAMIENTO RADIANTE UTILIZA TUBOS SIN AISLAMIENTO QUE PERMITE EL ENFRIAMIENTO DEL FLUJO DEL GAS A MEDIDA QUE ATRAVIESA EL SISTEMA. LA TUBERÍA PUEDE TENER UN DISEÑO EN FORMA DE U PARA CONTAR CON MAYOR SUPERFICIE DE TUBO EXPUESTA AL ENFRIAMIENTO.**

**ESTE MÉTODO ES MUY POCO PRÁCTICO PARA TEMPERATURAS POR ENCIMA DE LOS 300 °C PORQUE REQUERIRÍA UNA TUBERÍA EXTENSA Y UN VENTILADOR DE MAYOR CAPACIDAD.**

**EN APLICACIONES EN LAS QUE SE UTILIZA ESTE MÉTODO DE ENFRIAMIENTO, ES DIFÍCIL MANTENER**

**TEMPERATURAS EXACTAS Y SE CORRE EL RIESGO DE OBSTRUCCIÓN EN LA TUBERÍA POR ACUMULACIÓN DE PARTÍCULAS.**



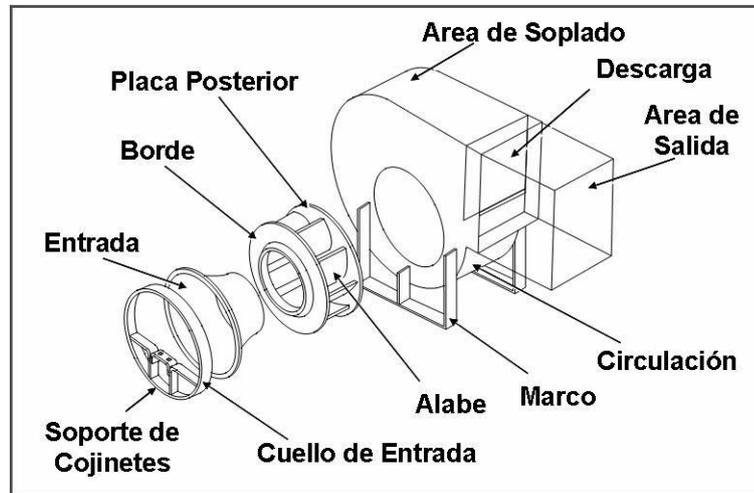
**FIGURA 2.15. DISEÑO ESTÁNDAR A LA ENTRADA AL FILTRO**

**LA ENTRADA AL FILTRO DE MANGAS ES EL LUGAR POR DONDE EL AIRE QUE SE MUEVE POR LA TUBERÍA ENTRA AL COLECTOR. MUCHOS DISEÑOS ESTÁNDARES TIENEN UN DEFLECTOR SOBRE LA APERTURA DEL TUBO DE ENTRADA QUE DIRIGE EL AIRE HACIA LA PARTE INFERIOR CAUSANDO SU REINTRODUCCIÓN AL SISTEMA Y PRODUCIENDO EL DESGASTE DE LAS MANGAS. ADEMÁS, ESTA SITUACIÓN PRODUCE SOBRECARGA DE MATERIAL EN LAS MANGAS Y COMO YA SE HA MENCIONADO,**

**DESGASTE POR ABRASIÓN. ASIMISMO, SI EL MATERIAL QUE ENTRA AL FILTRO SE CONDUCE A TRAVÉS DE UNA TOLVA ESTRECHA, ES POSIBLE QUE SE PRODUZCA DESGASTE EXCESIVO DE LAS PAREDES DE LA TOLVA.**

**EL VENTILADOR ES UNA PARTE INTEGRAL DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL. CREA UN FLUJO DE GAS DE LA FUENTE DE POLVO AL SISTEMA DE DESCARGA EN SISTEMAS NEGATIVOS Y POSITIVOS. PARA DETERMINAR EL TAMAÑO APROPIADO DEL VENTILADOR, SE DEBE CONSIDERAR EL VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO, LA TEMPERATURA DEL AIRE MOVILIZADO, LA PRESIÓN ESTÁTICA TOTAL Y LA ELEVACIÓN DEL SISTEMA SOBRE EL NIVEL DEL MAR.**

**AUNQUE LA PRESIÓN ESTÁTICA PUEDE SER DETERMINADA EN FORMA PRECISA, LA PÉRDIDA DE PRESIÓN ESTÁTICA DEL EQUIPO DE CONTROL PARA LA CONTAMINACIÓN SOLO PUEDE SER ESTIMADA. ESTO OCURRE DEBIDO A QUE LA PÉRDIDA DE PRESIÓN A TRAVÉS DEL SISTEMA PUEDE VARIAR DE ACUERDO A LAS CONDICIONES EN QUE SE ENCUENTREN LOS FILTROS.**



**FIGURA 2.16. ELEMENTOS DE UN VENTILADOR**

**EL VENTILADOR DEBE TENER LAS DIMENSIONES APROPIADAS PARA MOVER UNA DETERMINADA CANTIDAD DE AIRE EN LAS PEORES CONDICIONES. CUANDO LA PRESIÓN DIFERENCIAL EN EL EQUIPO ES MÁS BAJA, EL VENTILADOR PUEDE MOVER MÁS AIRE DEL QUE EL SISTEMA NECESITA, A MENOS QUE SE TOMEN MEDIDAS DE CONTROL. ESTAS MEDIDAS SON GENERALMENTE UNA COMPUERTA DEL VENTILADOR O UN VENTILADOR DE VELOCIDAD VARIABLE.**

## CAPÍTULO 3

### 3. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS COLECTORES DE MANGAS.

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

Desde el punto de vista de diseño, la primera noción que se debe discutir es el concepto de caída de presión o de carga. En el diseño de un sistema de evacuación se deben considerar diversos factores, uno de ellos es la resistencia a la presión a través del proceso. Ingenieros de diseño estiman que la resistencia al flujo de aire a través del filtro de mangas debe ser de 100mm a 200mm (4 a 8 pulgadas) de columna de agua del lado limpio al lado sucio de la unidad. El objetivo del sistema de evacuación es transportar el flujo de gas desde la fuente hacia el filtro de mangas o cualquier otro tipo de sistema de control para la contaminación de manera eficiente y efectiva. Por lo tanto, durante el diseño del sistema de colección se deben considerar los siguientes factores entre otros: el volumen de polvo y el aire que se genera en el punto de entrada, la distancia que el flujo de gas debe recorrer hasta el final del colector, si existen sistemas de acondicionamiento, la temperatura del flujo de gas desde el punto de entrada al de salida, la composición química del flujo de gas.

Asumiendo que se cuenta con la información anterior, el siguiente paso para determinar el tamaño del sistema es evaluar las características del ventilador de acuerdo a la resistencia que encontrará a lo largo del sistema. Es importante

comprender que el flujo de aire enfrenta resistencia desde el punto de entrada a través del conducto y en el filtro de mangas, como así también en todas las áreas que necesitan ser evaluadas para asegurar un funcionamiento adecuado del filtro, como campanas de captura y accesorios a través de la ductería.

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

### **3.1. Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a desempolvar.**

Un sistema de desempolvado puede ser concebido para atender uno o más puntos dentro del proceso. Por ejemplo, en el ensacado del cemento un sistema puede encargarse desde la alimentación al elevador hasta el sistema de limpieza de fundas, considerando inicialmente para esto el volumen de aire que hay que ventilar en cada uno de los puntos que se incluyen dentro del ensacado; esto es lo primero a determinar para cualquier sistema de desempolvado. Existen estándares recomendados de acuerdo a cada aplicación al aire ambiente, la suma de los volúmenes de aire de cada uno de los puntos a desempolvar será el volumen total que el sistema manejará y el dato inicial para el diseño del colector.

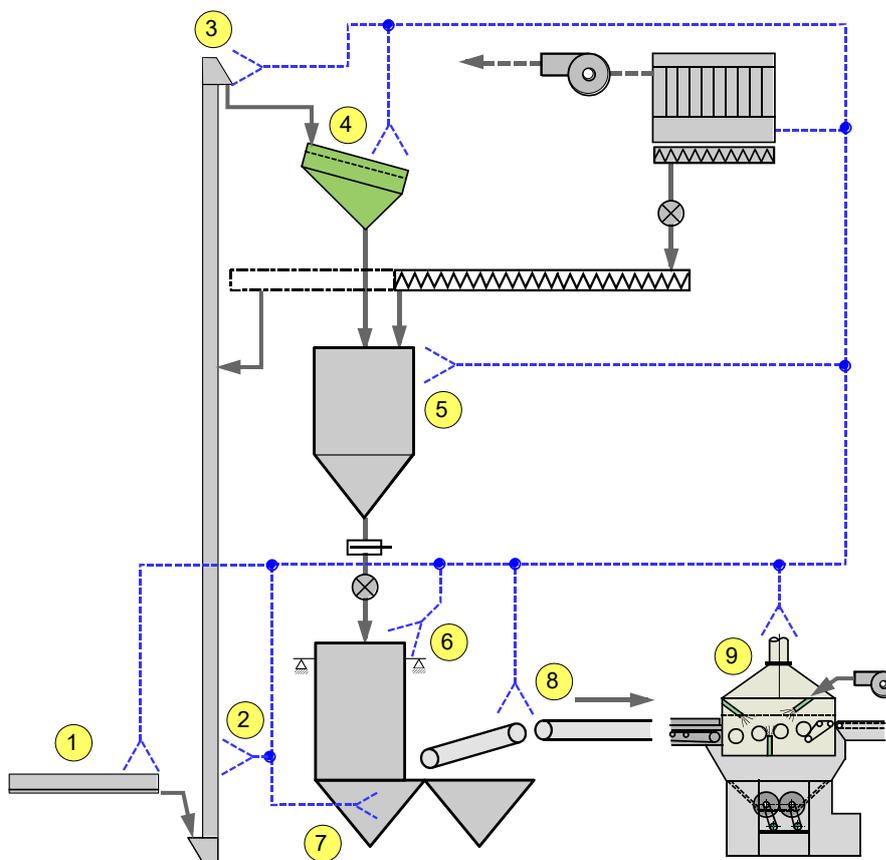
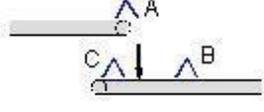
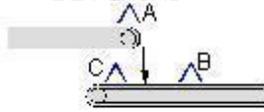
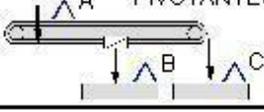
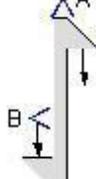


FIGURA 3.1. Desempolvado para el ensacado de cemento.

Para poder determinar el volumen de aire total, recurriremos a la tabla siguiente 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 4  
CANTIDAD DE AIRE A DESEMPOLVAR SEGÚN EL EQUIPO DE ACUERDO  
AL HOLCIM DESIGN CRITERIA

Equipo	Tam. (mm)	m <sup>3</sup> /h	Valores/consideraciones				
			A	B	C		
BANDAS TRANSPORTADORAS 	650	4250	1500	1750	1000	m <sup>3</sup> /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		
ALIMENTADORES DE PLACAS 	800	6500	3500	2000	1000	m <sup>3</sup> /h	
	1000	7500	4000	2500	1000		
	1200	8750	4500	3000	1250		
	1400	9750	5000	3500	1500		
	1600	10'000	5500	4000	1500		
ALIMENTADORES PIVOTANTES 	800		2500	9000	9000	m <sup>3</sup> /h	
	1000		3000	10'000	10'000		
	1200		3500	11'000	11'000		
	1400		4000	12'000	12'000		
ELEVADORES 	400		CADENA m <sup>3</sup> /h		BANDA m <sup>3</sup> /h		m <sup>3</sup> /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				

La tabla considera el tipo de unidad a desempolvar y su tamaño, luego de esto, se tiene el caudal necesario para el sistema. Tenemos diferentes casos tales como bandas transportadoras, alimentadores de placas, elevadores, etc.

### 3.2. Campana de captura

El polvo generado en el proceso debe ser capturado para que pueda ser transportado hacia el filtro. Para este fin están diseñadas las campanas de

captura, llevar el polvo generado dentro del sistema. Pequeñas variaciones en la eficiencia de captura de la campana puede resultar en aumentos significativos de polvo fugitivo, siendo estos siempre mayores en porcentaje que las emisiones provenientes de chimeneas.

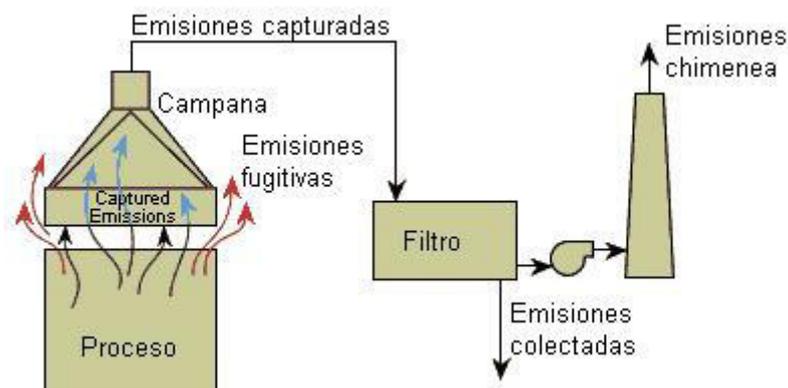


FIGURA 3.2. Emisiones capturadas/fugitivas

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

$$Q = V_h(10X^2 + A) \text{ (Ecuación 1)}$$

De 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.

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

$A$  = Área de la entrada de la campana.

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

En la industria del cemento, se utilizan campanas de capturas cerradas que proveen un mejor control de las emisiones; las tapas de inspección y accesos deben ser lo más pequeños posibles.

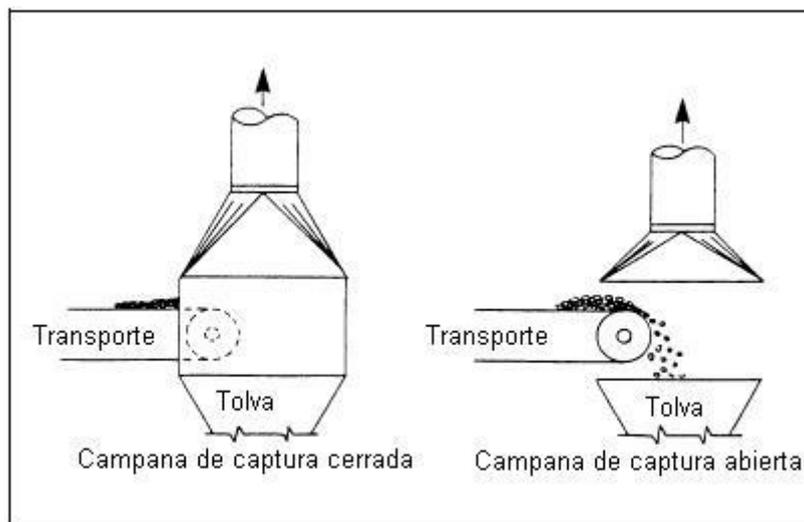


FIGURA 3.3. Tipos de campanas de captura

Es posible optimizar las campanas de captura considerando los siguientes puntos:

- La campana debe ser ubicada lo más cercano posible a la fuente de contaminación
- La entrada de la campana debe estar ubicada de tal manera que haga que al menos, el patrón de movimiento del fluido se desvíe hacia ella.
- El ancho de la campana debe ser mayor que el de la fuente de contaminación.
- Se pueden colocar aletas dentro de la campana para llevar el flujo hacia el ducto con menores pérdidas.

Pérdidas de presión en campanas: Cuando el aire entra en la campana, pérdidas dinámicas ocurren, causando caídas de la presión total. Están dadas por:

$$\Delta P_e = C_0 P_v \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde:

$\Delta P_e$  = 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:

$$P_{st} = P_v + \Delta P_e \text{ (Ecuación 3)}$$

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:

$$P_{st} = (1 + C_0) \cdot P_v \text{ (Ecuación 4)}$$

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

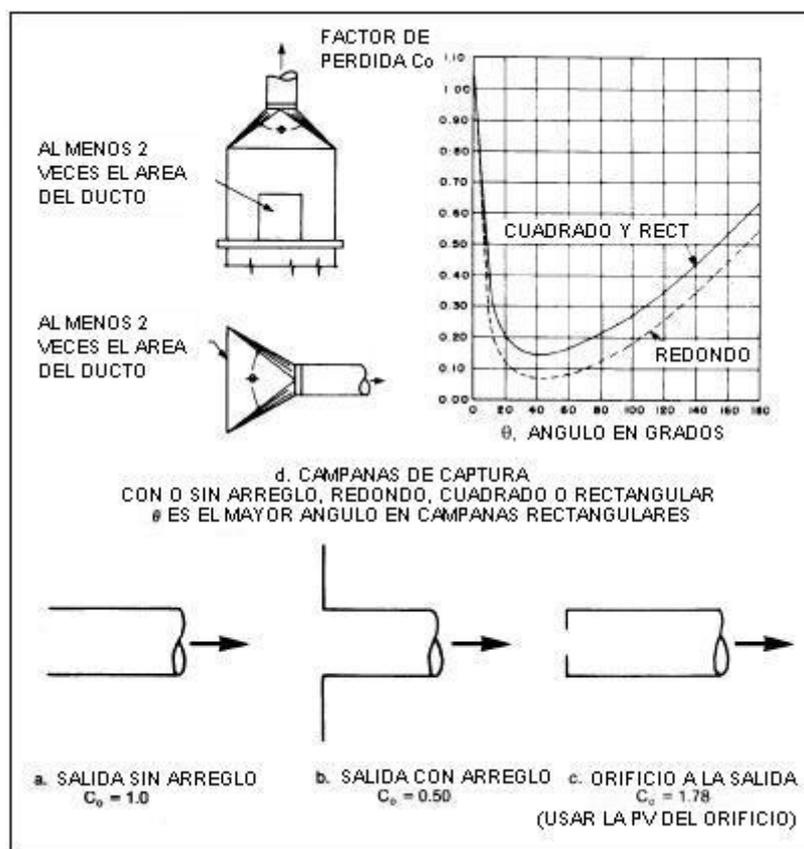


FIGURA 3.4. Coeficientes de pérdidas en campanas colectoras

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

tercero en la parte frontal al chute de alimentación de la segunda banda, como vemos a continuación.

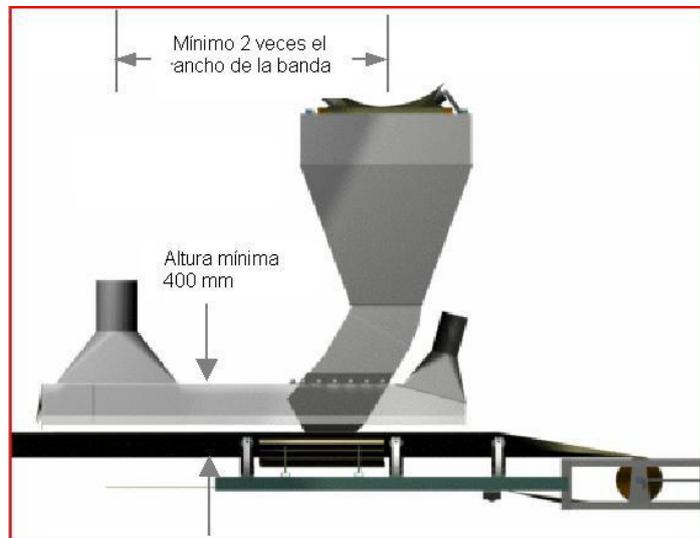


FIGURA 3.5. Campanas en bandas transportadoras

El mismo caso aplica para alimentadores de placas, como se indica en la figura siguiente:

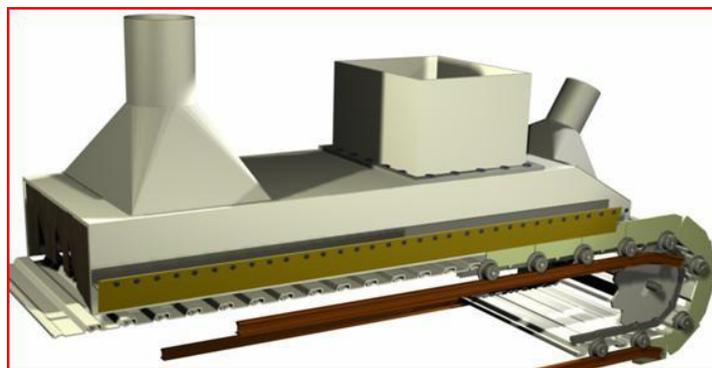


FIGURA 3.6. Campanas en alimentadores de placas

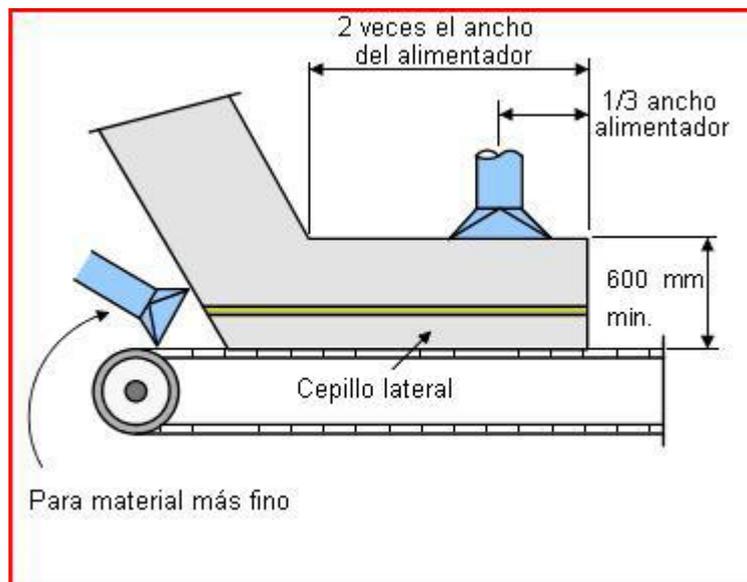


FIGURA 3.7. Ubicación de campanas de captura en alimentadores

Para el diseño de la campana de captura, hay que considerar que a la salida de ésta y entrada al ducto, la velocidad de transporte de las partículas deberá llegar a 18 m/s como mínimo, siendo ésta la velocidad promedio para polvos industriales provenientes molindas y manejo general de materiales.

La velocidad de captura es el nombre con que se conoce a 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.

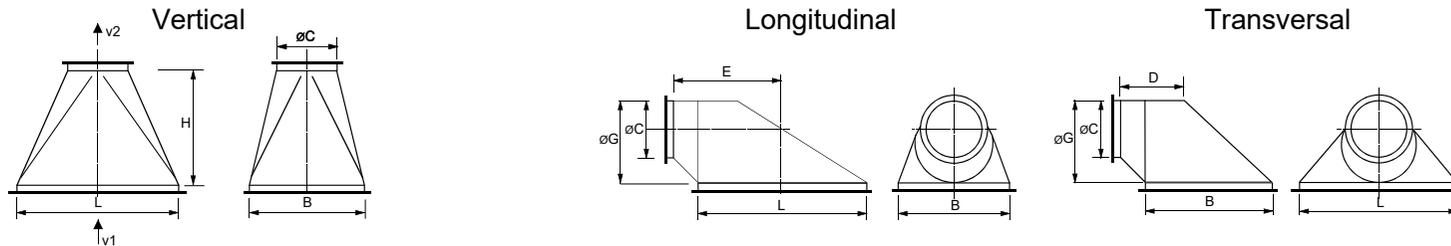
**TABLA 5**  
**RANGO DE VELOCIDADES DE CAPTURA**

RANGO DE VELOCIDADES DE CAPTURA		
CONDICION DE LA DISPERSION DEL CONTAMINANTE	APLICACIÓN	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

En el Holcim Design Criteria, encontramos 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. La velocidad de captura utilizada es de 1.4 m/s, que se encuentra dentro del rango permisible para su aplicación.

**TABLA 6**  
**DISEÑO DE CAMPANAS DE CAPTURA**



Air Quantity		v1	v2	L	B	H	Ø C		Ø G	L	B	E	D
m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /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	460	400	172.0		253	630	460	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 Dedusting Duct :  $V_2 = > 18\text{m/s}$

### 3.3. Diseño de ductos

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 este fin, se designará como  $\rho$  a la densidad del aire, tomada a 20°C y a 1 atm de presión, con esto  $\rho_{\text{aire}}=1.20\text{Kg/m}^3$ . La viscosidad cinemática se llama a la resistencia al fluido a fluir, representada por  $\nu$ , y tiene un valor de  $16 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .

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 mm dca la densidad del aire cambiará aproximadamente el 5% y el caudal también se modificará. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado, pero un análisis incompresible es satisfactorio para gases y vapores con velocidades alrededor de los 20m/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
- 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.

Con esto es posible aplicar la ley de la continuidad que indica:

$$\int \rho V \delta A = cte \Rightarrow \dot{m} = \rho VA \Rightarrow Q \left[ \frac{m^3}{s} \right] = V \left[ \frac{m}{s} \right] A \left[ m^2 \right] \quad (\text{Ecuación 5})$$

Y con el principio de la conservación de la energía podemos aplicar la Ecuación de Bernoulli que establece que:

$$\frac{P \left[ Pa \right]}{\rho \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]} + \frac{V^2 \left[ \frac{m^2}{s^2} \right]}{2} + g \left[ \frac{m}{s^2} \right] z \left[ m \right] = cte \quad (\text{Ecuación 6})$$

El número de Reynolds viene dado por:

$$Re = \frac{V \left[ \frac{m}{s} \right] L \left[ m \right]}{\nu \left[ \frac{m^2}{s} \right]} = \frac{D_h \left[ m \right] V \left[ \frac{m}{s} \right]}{1000 \nu \left[ \frac{m^2}{s} \right]} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Si  $Re < 2300$ , el flujo es considerado laminar y el factor de fricción será:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Para  $2300 < Re < 10000$ , en la etapa de transición, el factor de fricción viene dado por:

$$f = \frac{0.3161}{Re^{0.25}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

O también por la relación iterativa:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon \left[ m \right]}{3.7 D_h \left[ m \right]} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (\text{Ecuación 10})$$

Para  $Re > 10000$ , se trata de flujo turbulento, tenemos la siguiente fórmula para el factor de fricción:

$$f = 0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0.237}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Otra alternativa para encontrar el factor de fricción, es el Diagrama de Moody; con el número de Reynolds y la rugosidad absoluta podemos encontrar el valor del factor de fricción

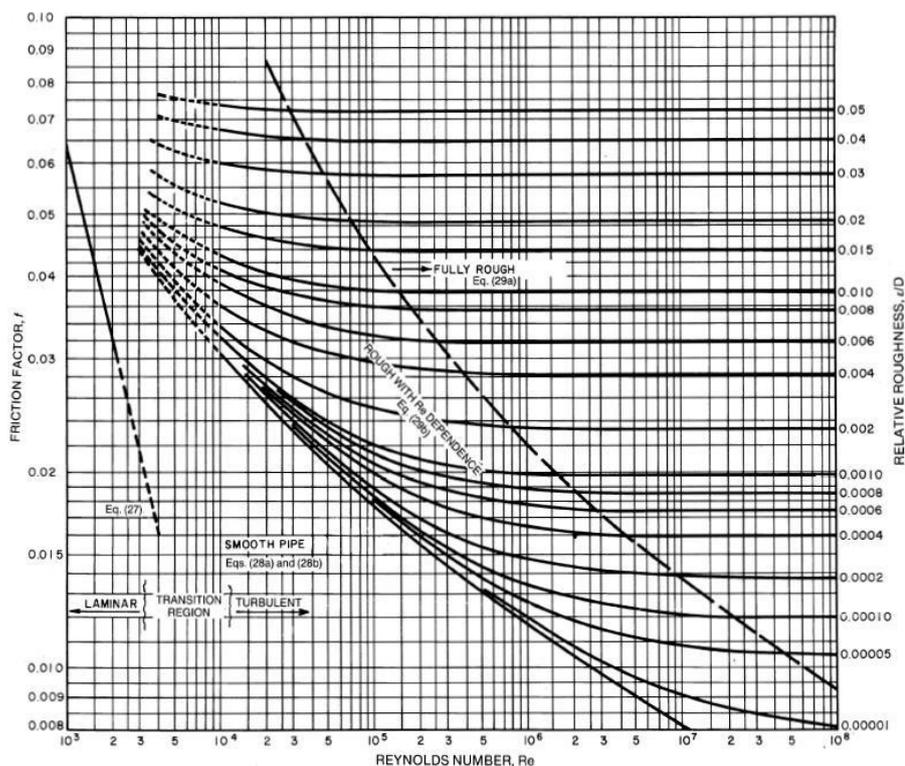


FIGURA 3.8. Diagrama de Moody

Cuando se trata del diseño de ductos, es necesario encontrar las pérdidas debido a las resistencias friccional y dinámica del sistema. Para las pérdidas por fricción tenemos la ecuación de Darcy, a continuación:

$$\Delta P_f = \frac{1000 f L \left[ \frac{kg}{m^3} \right] V^2 \left[ \frac{m^2}{s^2} \right]}{2 D_h \left[ m \right]} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Y para las pérdidas dinámicas causadas por los accesorios en las tuberías, tenemos:

$$\Delta P_v = K\rho \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \frac{V^2 \left[ \frac{m^2}{s^2} \right]}{2} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Siendo K el factor de fricción por pérdidas dinámicas, de acuerdo a la geometría del accesorio utilizado y sus dimensiones.

Cambios de presión en el sistema: Para secciones de ductos de área constante, la pérdida de presión total y la pérdida de presión estática se mantienen constantes. En los puntos de transición en donde aumenta o disminuye la sección transversal, la pérdida de presión de velocidad disminuye de igual manera que la pérdida de presión total, pero la pérdida de presión estática puede disminuir o aumentar, dependiendo de la disminución o aumento de la sección transversal siguiente.

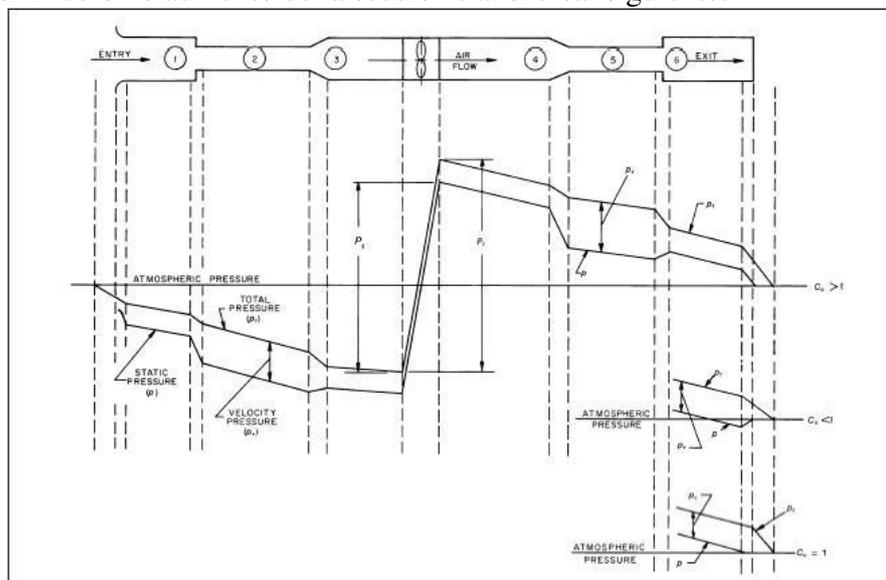


FIGURA 3.9. Cambios de presión en el sistema

Otra manera de apreciar los cambios de presión, se encuentra en la figura siguiente:

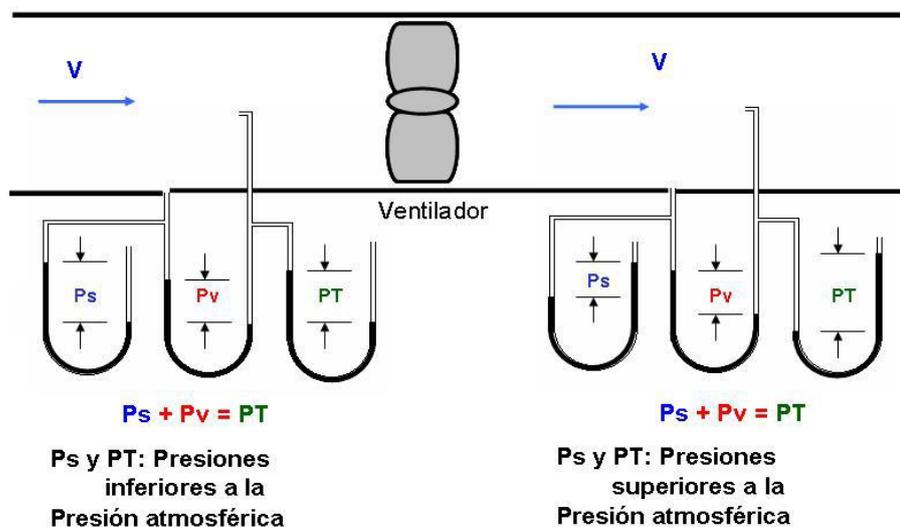


FIGURA 3.10. Cambios de presión en el sistema

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 el. Básicamente, en cualquier punto del ducto, la velocidad debe estar entre 18 m/s y 20 m/s, porque si tenemos que la velocidad es menor, entonces encontraríamos material segregado a lo largo de la ductería; en cambio, una velocidad muy alta, resultaría en abrasión en el ducto, principalmente en los cambios de dirección o de sección, en donde el perfil de velocidad del flujo tiene mucho que ver. Las velocidades de diseño pueden ser ligeramente mayores que los valores mínimos, pero nunca deben ser significativamente menores.

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

$$Q = A \times V \text{ (Ecuación 14)}$$

Siendo Q el caudal necesario para el sistema, A el área de la sección transversal del ducto y V la velocidad de transporte (18 m/s).

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

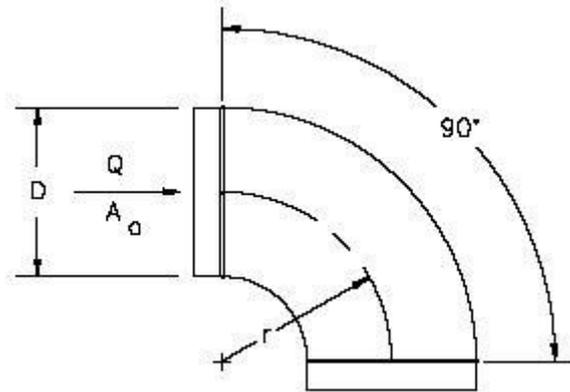


FIGURA 3.11. Relación  $r/D$  de codos en ductos

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. Los ductos horizontales deberían ser evitados; grandes consecuencias por efecto de la abrasión y segregación de material se presentan cuando los ductos son

horizontales. Para evitar la acumulación de polvo, se recomienda que la pendiente de los ductos para el caso de la caliza y cemento sea  $30^\circ$ , y para el clínker sea  $45^\circ$ , con respecto al eje vertical.



FIGURA 3.12. Pendientes en ductos para caliza, cemento y clínker

Holcim Design Criteria recomienda para el diseño de codos y ramales en ductos, la utilización de la siguiente información en la figura 3.13. 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.

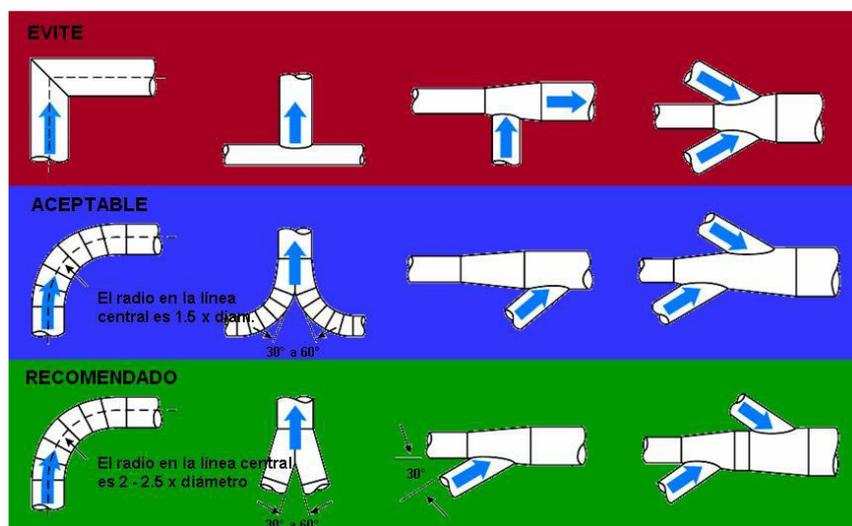


FIGURA 3.13. Diseño de ductos

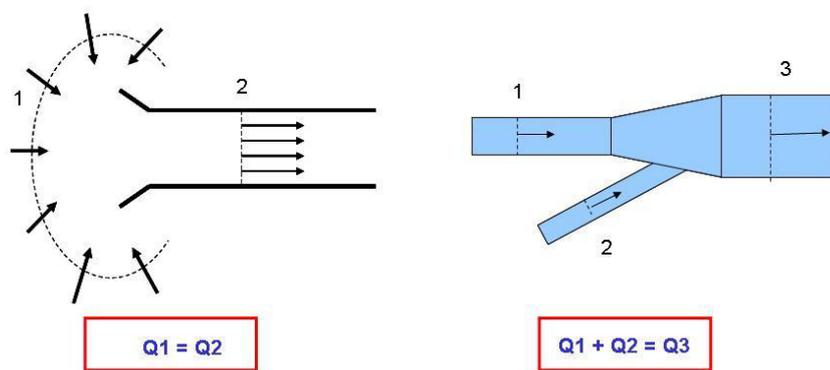


FIGURA 3.14. Conservación de masa en ductos

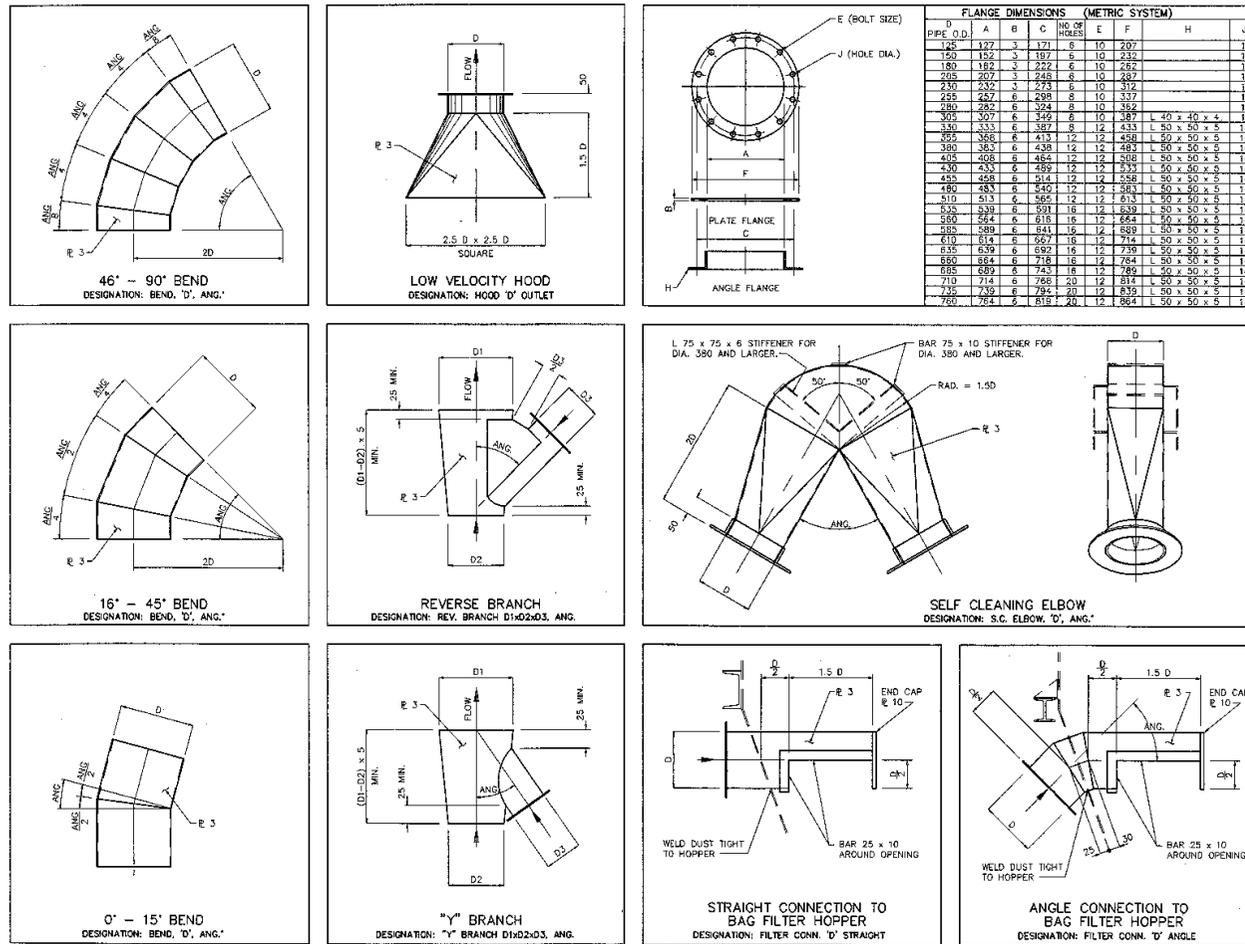


FIGURA 3.15. Diseño de codos y ramales en ductos

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

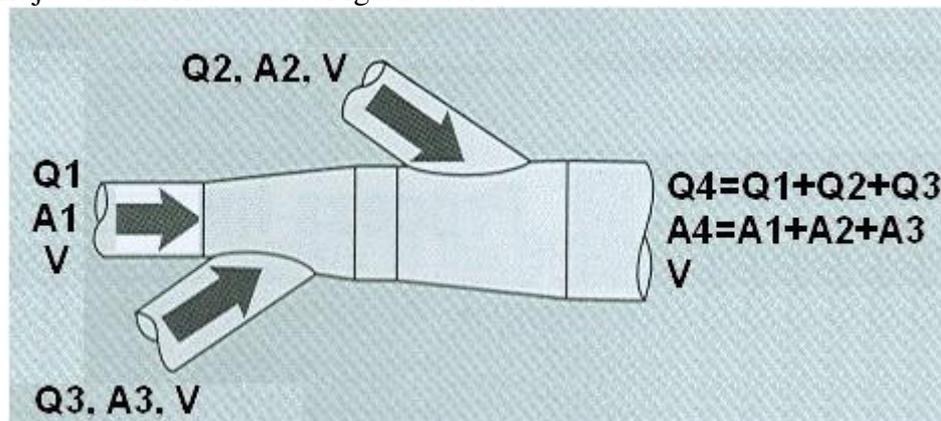


FIGURA 3.16. Velocidad constante en ductos

Se recomienda para establecer las dimensiones de codos y ramales en ductos, utilizar la figura 3.15. proveniente del Holcim Design Criteria, en la que en base al diámetro del ducto y el ángulo de inclinación de acuerdo al material, podemos determinar el resto de dimensiones. Incluye codos hasta los  $90^\circ$  de inclinación.

### 3.4. Colector de polvo

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

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

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.

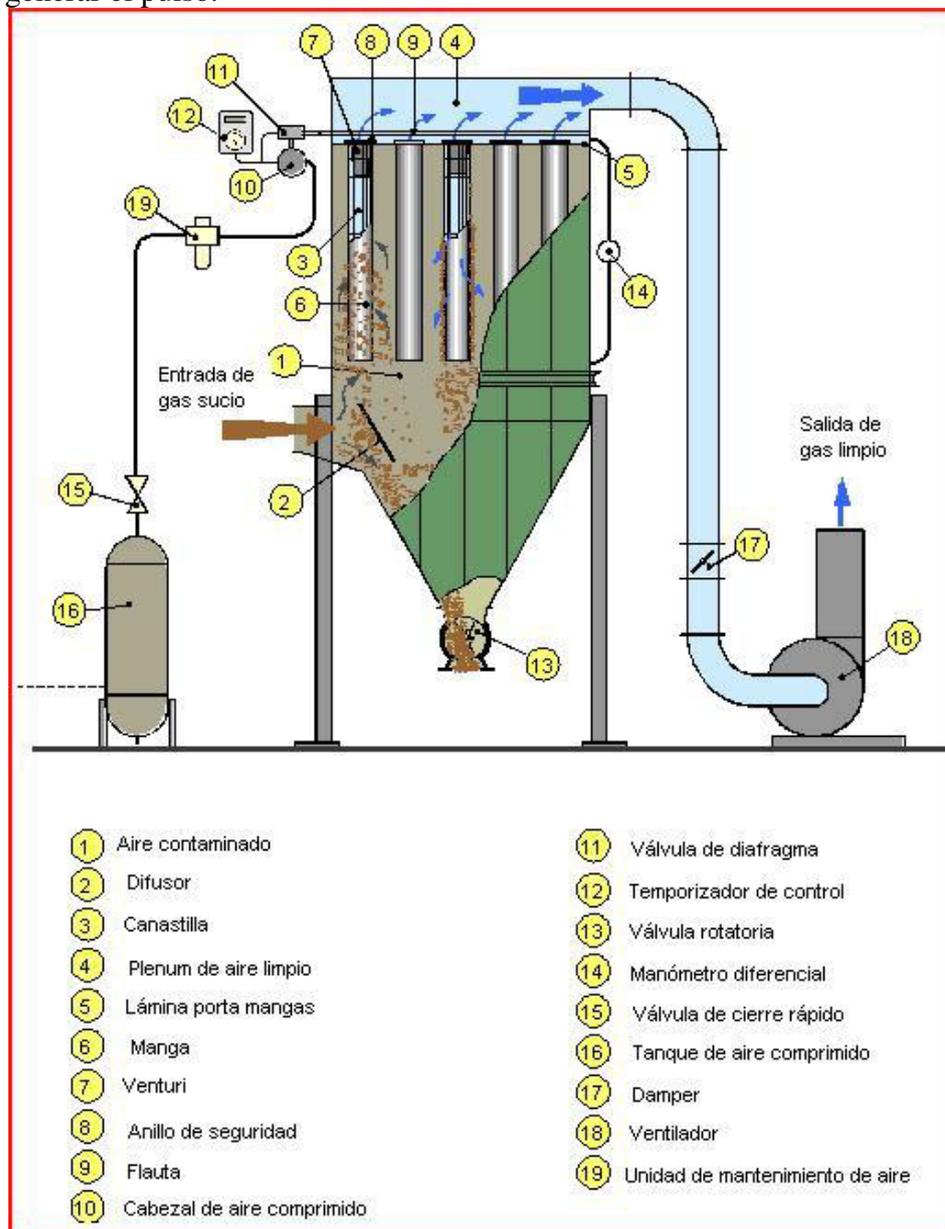


FIGURA 3.17. Elementos mecánicos en un colector de polvo

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).

Un temporizador de control de pulsos lleva la secuencia de los ciclos de limpieza. En este punto se utiliza control por tiempo o por presión diferencial.

#### **3.4.1. Entrada y distribución de flujo**

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

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

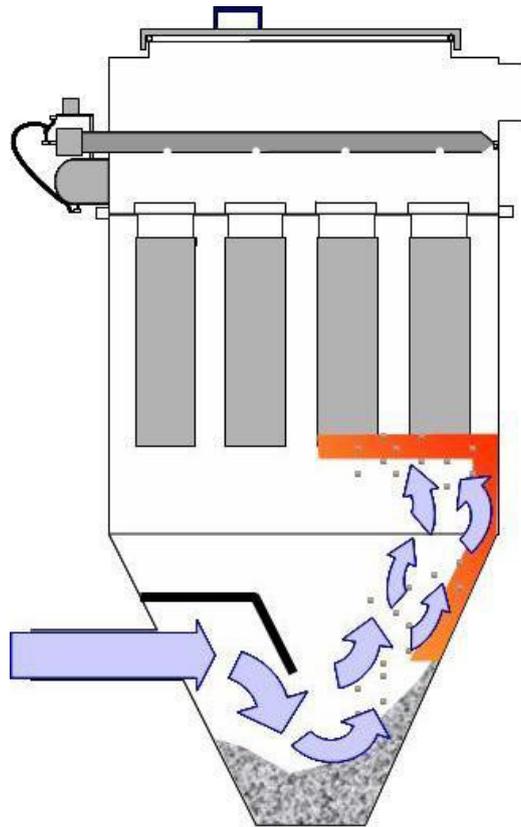


FIGURA 3.18. Diseño típico en la entrada del filtro

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

Un mejor diseño consiste en colocar deflectores de manera escalonada uniformemente,

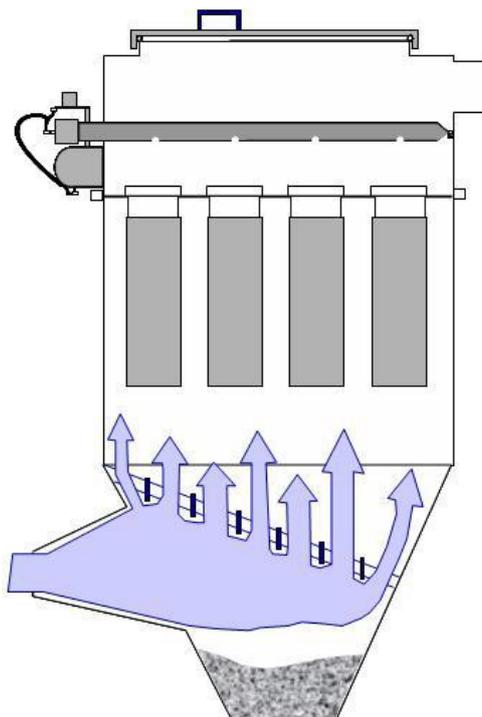


FIGURA 3.19. Diseño mejorado a la entrada del filtro

El difusor disminuye la velocidad para evitar la fluidización, precipitando la caída. Con esto se tiene un caudal con mayor uniformidad reduciendo la turbulencia; además, ampliar el diámetro del ducto a la entrada, reduce la velocidad del gas. Son sencillos de instalar y económicos.

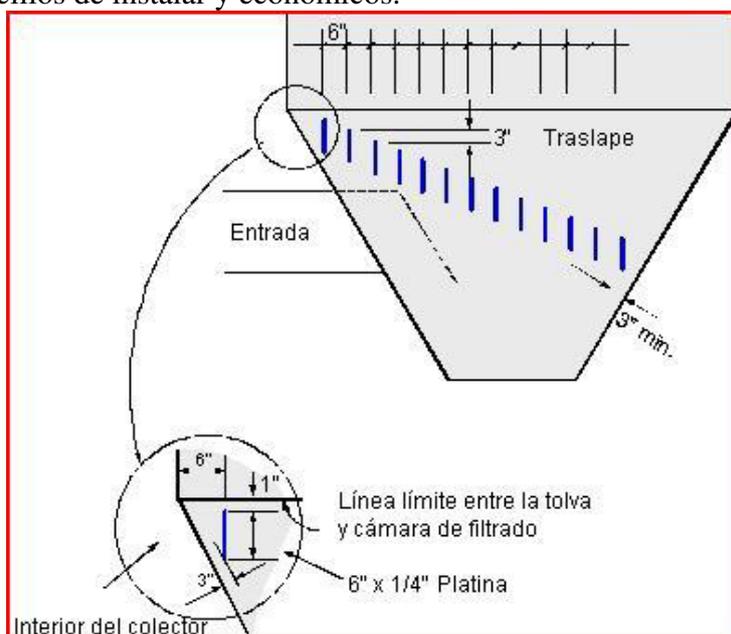


FIGURA 3.20. Diseño mejorado para deflectores

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.

### 3.4.2. Velocidad de filtración

La máxima velocidad de filtración permitida depende de la resistencia al flujo otorgado por la capa de material recolectado que se forma en la manga y por la habilidad del sistema de limpieza de las mangas. Es necesario controlar los aumentos de la presión diferencial, que aumenta cuando:

- Aumenta la velocidad de filtración
- Aumenta el espesor de la capa de polvo en las mangas
- Es mayor la finura del polvo
- Es mayor la humedad del polvo
- Es mayor el tiempo de servicio de las mangas

Para una efectiva limpieza de las mangas, es necesario que exista un flujo de gas reverso hacia las mangas; esto se puede conseguir con alta presión de limpieza en los filtros pulse-jet, o también con grandes volúmenes de gas fluyendo en la dirección contraria, como los filtros de aire reverso. Cuando la presión diferencial a través de las mangas es muy alta, la limpieza es insuficiente, logrando que las mangas se taponen rápidamente.

### 3.4.3. Relación aire-tela

La relación aire tela es una simple relación matemática utilizada para medir la cantidad de tela filtrante disponible para filtrar un volumen de aire dado a un caudal dado.

Existen relaciones aire-tela estándares basadas en el mecanismo de limpieza, utilizándolas para determinar los límites operacionales de un filtro de mangas, para el filtro de sacudido la

relación es 0.75 - 0.90 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/min (2.5 - 3.0:1); para el de aire reverso es 0,60 - 0,75 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/min (2.0 - 2.5:1) y para el pulse jet es 1.50 - 1.80 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/min (5.0 - 6.0:1)

Para determinar la relación aire-tela utilizamos las siguientes expresiones:

$$A/T = \frac{Q \left[ \frac{m^3}{\min} \right]}{A_T \left[ m^2 \right]} \quad (\text{Ecuación 15})$$

De donde Q es el caudal de diseño del colector y del sistema y A<sub>T</sub> es el área total filtrante, que viene dada por:

$$A_T = \pi \times C_m \times D_m \times L_m \quad (\text{Ecuación 16})$$

Siendo C<sub>m</sub> la cantidad de mangas en el filtro, D<sub>m</sub> el diámetro de las mangas y L<sub>m</sub> la longitud de las mangas.

#### 3.4.4. Velocidad ascendente

O también llamada velocidad intersticial, es la velocidad del gas sucio calculada teóricamente entre las mangas del filtro en la parte inferior de la manga. Esto se presenta independientemente el diseño de entrada del gas.

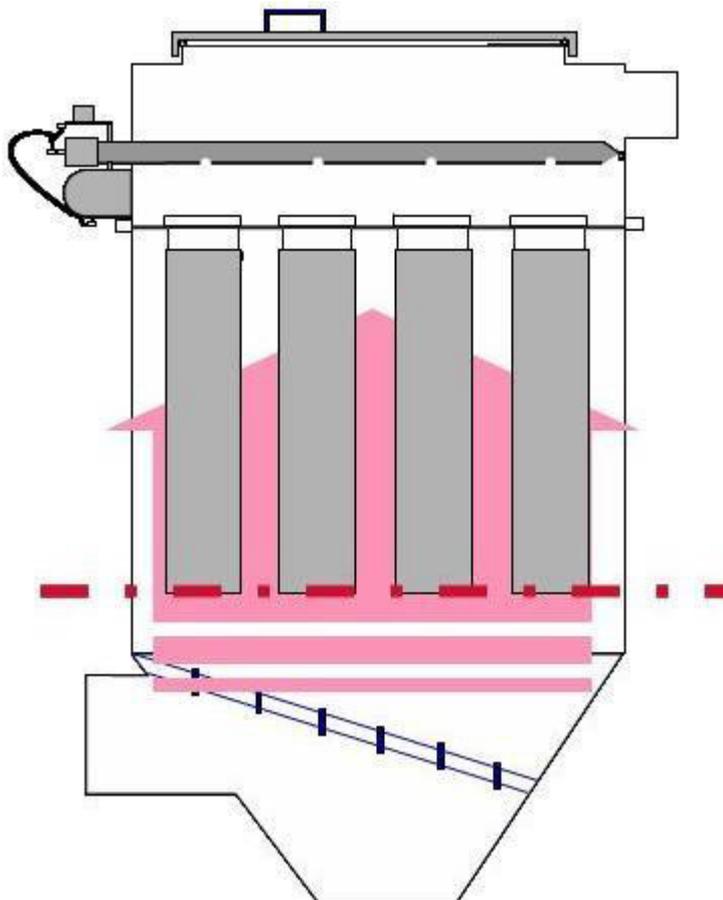


FIGURA 3.21. Velocidad ascendente

La máxima velocidad permitida depende de la dirección del flujo de gas entre las mangas y la velocidad final de las partículas grandes que han caído a la tolva por gravedad luego de ser impactadas contra los deflectores. Usualmente, 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.

Para el cálculo de la velocidad ascendente tenemos:

$$V_a \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{Q \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{A_i \left[ m^2 \right]}, A_i = a \left[ m \right] b \left[ m \right] C_m \left( \frac{\pi D_m^2 \left[ m^2 \right]}{4} \right) \quad (\text{Ecuación 17})$$

Siendo a el ancho de la cámara de limpieza del filtro y b el largo de la cámara.

### 3.4.5. 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 de cierta manera 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 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:

$$\frac{L_m}{D_m} \leq 25 \quad (\text{Ecuación 18})$$

Siendo  $L_m$  la longitud de la manga y  $D_m$  el diámetro de la manga.

En cuanto a las costuras de las mangas, deben ser colocadas a  $45^\circ$  con respecto al pasillo entre mangas debido a que por efectos del sacudido durante la limpieza, las mangas tienden a generar un movimiento leve hacia el lado opuesto de la costura. Al colocar las mangas a  $45^\circ$ , tenemos una mayor distancia entre los lados opuestos de las costuras, evitando el contacto entre ellas.

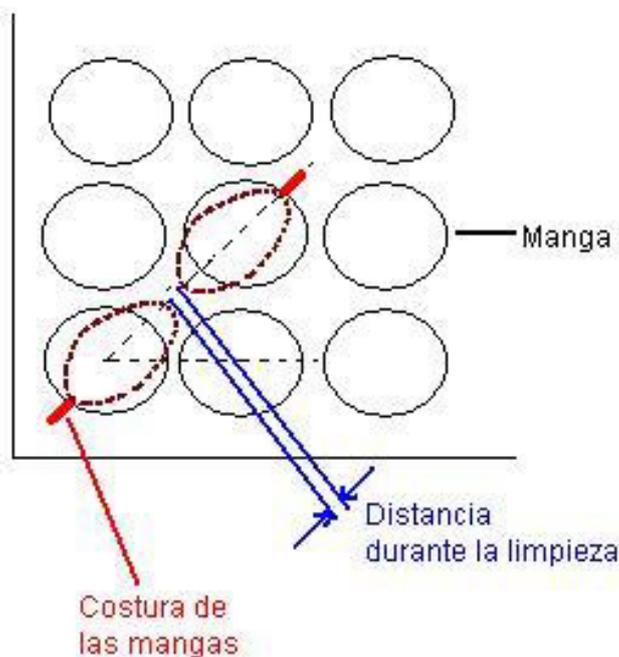


FIGURA 3.22. Costuras al momento de ubicar las mangas

Otro punto importante es el denominado “pellizco”. Este 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.

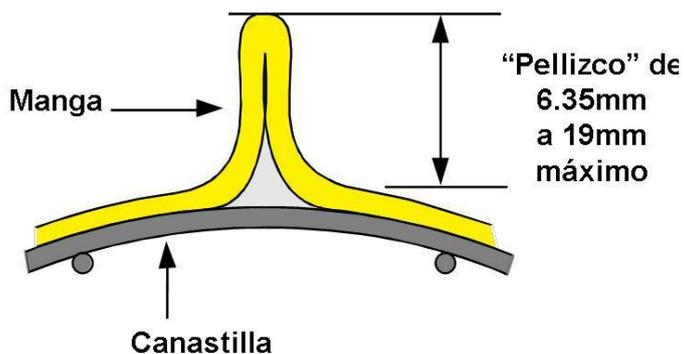


FIGURA 3.23. Pellizco para mangas

#### 3.4.6. Distancia entre mangas

La distancia mínima entre mangas debe ser 50mm y 75mm como mínimo entre mangas y paredes. Esta consideración es muy importante debido a que va de la mano con la velocidad

ascendente. Si acercamos más las mangas sucederán dos cosas; primeramente las mangas en el momento de la limpieza entrarán en contacto una con otra reduciendo su vida útil; por otro lado, al reducir el espacio entre mangas, la velocidad ascendente aumentará, que es un aspecto perjudicial para el momento de la limpieza porque evitaría que el material que es desalojado por el pulso de aire descienda libremente, sino que inmediatamente haría que las partículas de polvo vuelvan a subir, permaneciendo el diferencial de presión alto constantemente causando desestabilización en el sistema.

### 3.4.7. Número de mangas por columna

El número máximo de mangas por columna no debe ser mayor a 15 o 16.

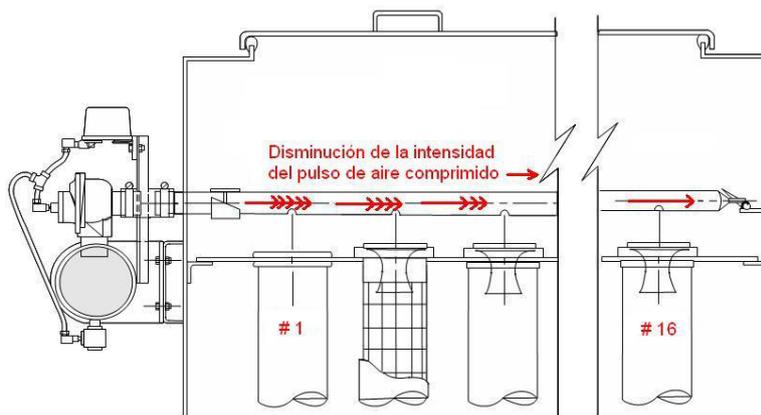


FIGURA 3.24. Número de mangas por columna

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. Por esto se recomienda que el número máximo de mangas por columna sea 16.

### 3.4.8. Canastillas

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

para completar la forma cilíndrica y poder alojarse dentro de la manga.

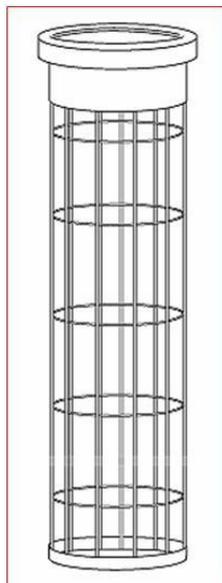


FIGURA 3.25. Canastilla para mangas

Por lo general, para mangas con diámetros menores a 160mm, la cantidad de varillas verticales estará entre 8 y 12; mientras que para mangas con diámetros mayores a 200mm, serán desde 16 hasta 20 varillas. Los tipos de canastillas de acuerdo a su parte superior, se indican a continuación:

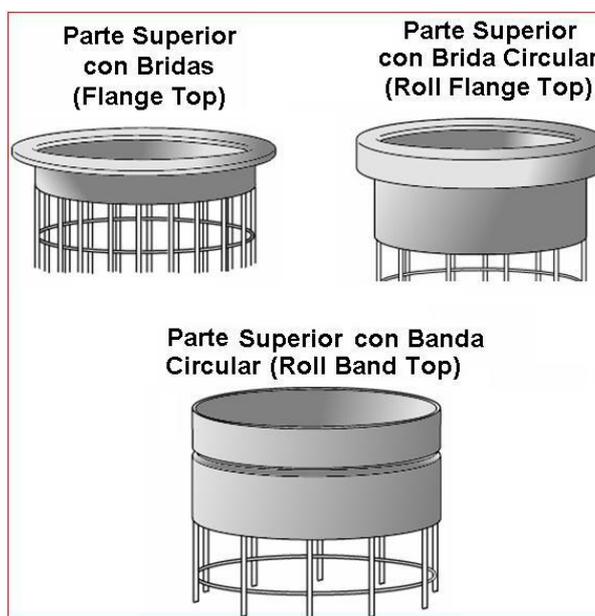


FIGURA 3.26. Tipos de canastillas

### 3.4.9. 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.

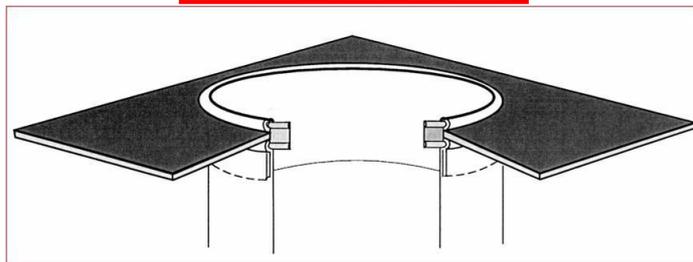


FIGURA 3.27. Fijación de mangas con fleje metálico.

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

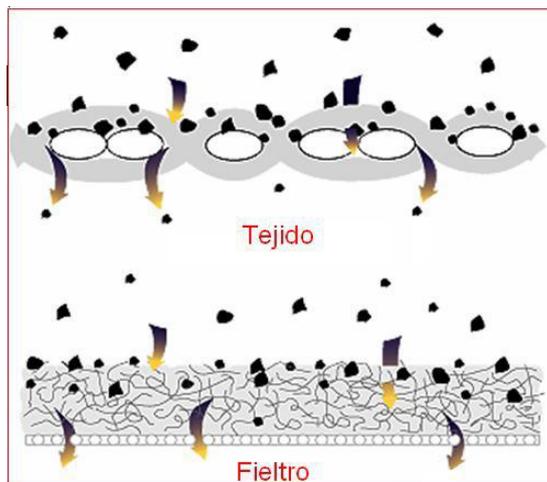


FIGURA 3.28. Tipos de textiles para mangas

La selección del textil es un aspecto sumamente importante para la operación de cualquier filtro de mangas. Dependiendo de la selección, el sistema funcionará correctamente durante la operación o presentará problemas. Entre los aspectos más importantes a considerar para la selección tenemos:

- Tipo de colector, particularmente su tipo de limpieza
- Nivel de humedad
- 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
- Estabilidad dimensional

TABLA 7  
ACABADOS PARA FIBRA DE VIDRIO

<b>Acabado</b>	<b>Finalidad del Acabado</b>
Siliconado, Teflon (SGT)	Protege los hilos de fibra de vidrio de la abrasión, añade lubricidad
Resistente Acido	Protege la manga del ataque ácido
Teflon B	Proporciona una mejor resistencia a la abrasión y limitada resistencia química
Blue-Max CRF-70	Proporciona una mejor resistencia a ácidos y favorece el desalojo de la capa de polvo, brinda resistencia superior a la abrasión y al ataque alcalino. Mejora el encapsulamiento de la fibra

**TABLA 8**  
**CARACTERISTICAS DE LOS TIPOS DE FIBRAS**

<b>Variables</b>	<b>Poliéster</b>	<b>Acrílico</b>	<b>Fibra de Vidrio*</b>	<b>Nomex*</b>	<b>Ryton*</b>	<b>P84*</b>
<b>Temperatura</b>	<b>275°F</b>	<b>285°F</b>	<b>500°F</b>	<b>375°F</b>	<b>375°F</b>	<b>500°F</b>
<b>Máxima de Oper.</b>	<b>(134°C)</b>	<b>(140°C)</b>	<b>(259°C)</b>	<b>(190°C)</b>	<b>(190°C)</b>	<b>(259°C)</b>
<b>Abrasión</b>	<b>Excelente</b>	<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Excelente</b>	<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>
<b>Absorción de Energía</b>	<b>Excelente</b>	<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Bueno</b>	<b>Bueno</b>	<b>Bueno</b>
<b>Propiedades de Filtración</b>	<b>Excelente</b>	<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Excelente</b>	<b>Muy Bueno</b>	<b>Excelente</b>
<b>Calor Húmedo</b>	<b>Pobre</b>	<b>Excelente</b>	<b>Excelente</b>	<b>Bueno</b>	<b>Excelente</b>	<b>Bueno</b>
<b>Hidrólisis</b>						
<b>Alcalinos</b>	<b>Regular</b>	<b>Regular</b>	<b>Regular</b>	<b>Bueno</b>	<b>Excelente</b>	<b>Regular</b>
<b>Acidos Minerales</b>	<b>Regular</b>	<b>Bueno</b>	<b>Pobre**</b>	<b>Regular</b>	<b>Excelente</b>	<b>Bueno</b>
<b>Oxígeno (15%+)</b>	<b>Excelente</b>	<b>Excelente</b>	<b>Excelente</b>	<b>Excelente</b>	<b>Pobre</b>	<b>Excelente</b>
<b>Coste Relativo</b>	<b>X</b>	<b>XX</b>	<b>XXX</b>	<b>XXXX</b>	<b>XXXXXX</b>	<b>XXXXXXX</b>

### 3.4.11. Venturis

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

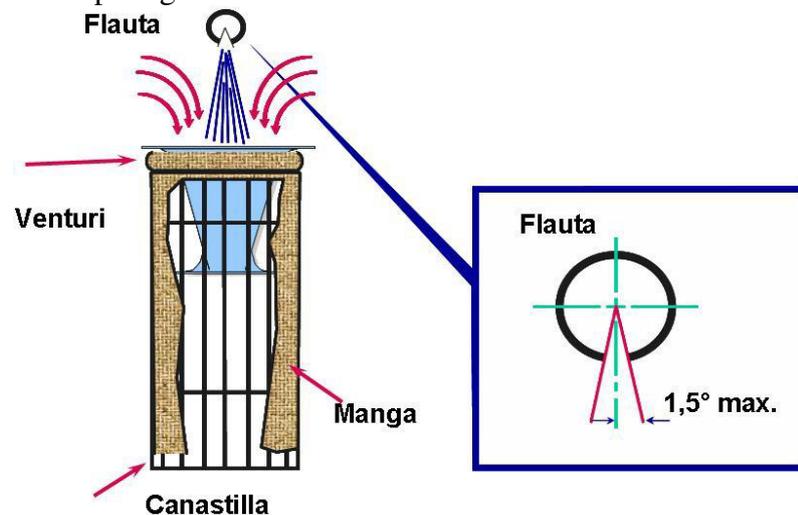


FIGURA 3.29. Venturi para filtros de mangas pulse-jet

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

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:

$$\tan 7^\circ = d/X \text{ (Ecuación 19)}$$

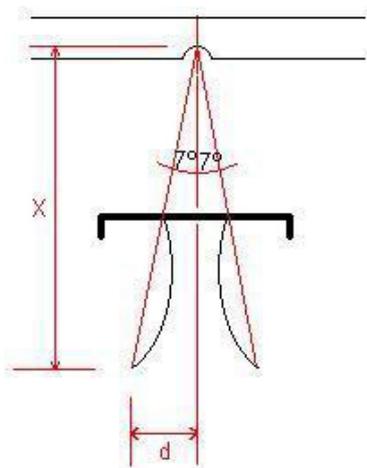


FIGURA 3.30. Ubicación venturi vs. flauta

### 3.4.12. Tolva de descarga

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

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. 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.

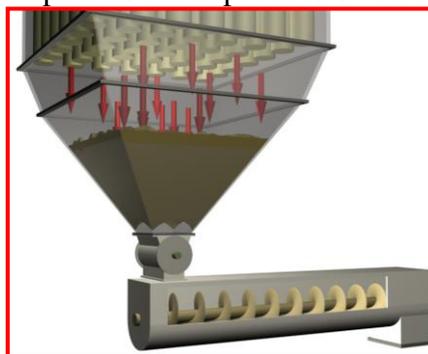


FIGURA 3.31. Atoramiento de tolva

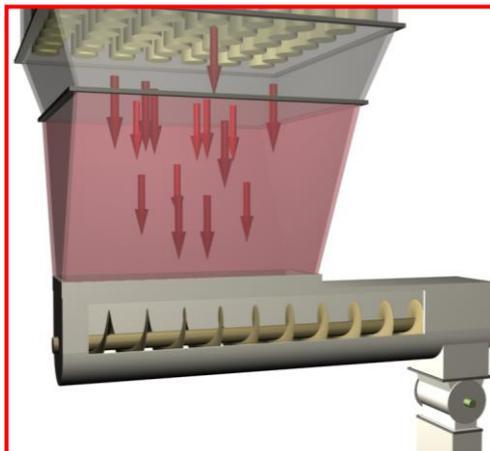


FIGURA 3.32. Modificación de tolva

### 3.4.13. Válvulas a la salida

Posterior a la tolva de descarga, se encuentran las válvulas que hacen el sello para evitar la entrada de aire falso no calculado en el sistema. Tenemos las válvulas rotatorias y la pendulares (dobles o triples).

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

### 3.4.14. Cámara limpia

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 una cámara de gas limpio del tipo “walk in plenum” se tiene una sola compuerta para entrada y salida, mientras que ante la ausencia de una cámara de este tipo, son varias las compuertas en la parte superior que hay que abrir para el mantenimiento, no

olvidando que hay mayor posibilidad de entrada de aire falso al sistema.

### 3.5. Selección del ventilador

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

Existen 2 tipos de ventiladores: axiales y centrífugos. En sistemas de control de la contaminación, los ventiladores centrífugos son los mayormente utilizados.

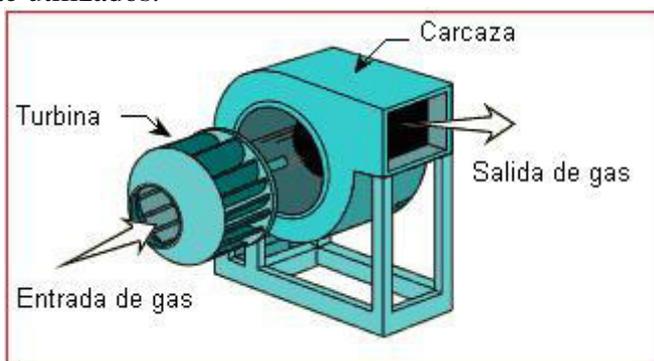


FIGURA 3.33. Ventilador centrífugo

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

El uso de dampers a la entrada o salida del ventilador es frecuente; son utilizados para controlar el flujo de gas al o desde el ventilador.

Los dampers en la salida imponen una resistencia al flujo que es utilizado para el control del flujo de gas; mientras que los dampers colocados a la entrada se ajustan a las diferentes condiciones del proceso de acuerdo al flujo de gas que el ventilador debe manejar.

#### Tipos de turbinas en ventiladores centrífugos

Existen 3 tipos de turbinas:

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

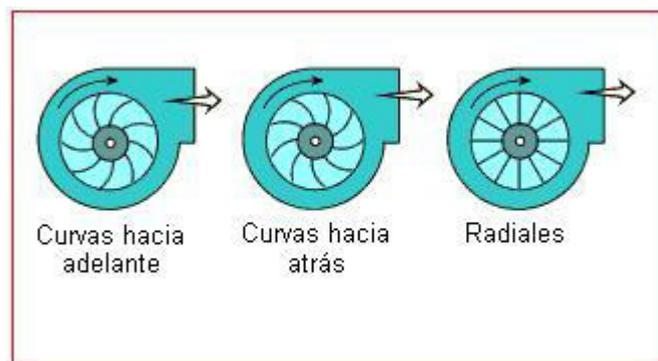


FIGURA 3.34. Tipos de turbinas

#### Leyes de los ventiladores

Son ecuaciones que ayudan a simplificar el estudio de ventiladores similares o de un mismo equipo en diferentes condiciones.

- Se convierten en reglas de conversión para calcular parámetros desconocidos a partir de variables conocidas
- Su mayor utilidad se da al probar nuevos diseños en laboratorio, mediante modelos y cuando se tienen que suponer nuevas condiciones de operación de un equipo existente

Básicamente:

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

$$Q' =$$

$$(D'/D)^3 * (n'/n) * Q \text{ (Ecuación 20)}$$

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

$$P' = (\rho' / \rho) * P \text{ (Ecuación 21)}$$

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

$$P' = (D'/D)^2 * (n'/n)^2 * P \text{ (Ecuación 22)}$$

4. La potencia consumida N, varia proporcionalmente a la quinta potencia en un cambio de diámetro, cúbicamente cuando varia la velocidad y en forma proporcional directa si cambia la densidad del flujo:

$$N' =$$

$$(D'/D)^5 * (n'/n)^3 * (\rho' / \rho) * N \text{ (Ecuación 23)}$$

### Regulación en ventiladores

Los procesos industriales requieren que un ventilador sea versátil y sea capaz de adaptarse a las variaciones que en el sistema aerodinámico se presentan por:

1. Cambios en los requerimientos de flujo por variaciones en la calidad o cantidad de producción
2. Cambios durante el arranque o paro de las líneas de producción, etc.

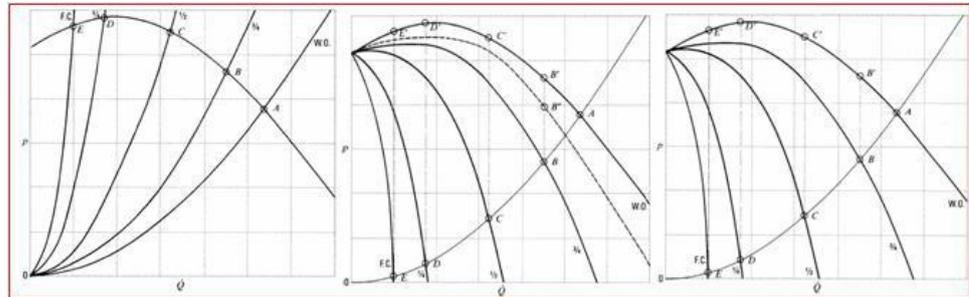


FIGURA 3.35. Comportamiento de un ventilador

*Uso de compuerta en la descarga:*

- Generación de otras curvas de sistema
- Baja de eficiencia, probables pérdidas por turbulencia

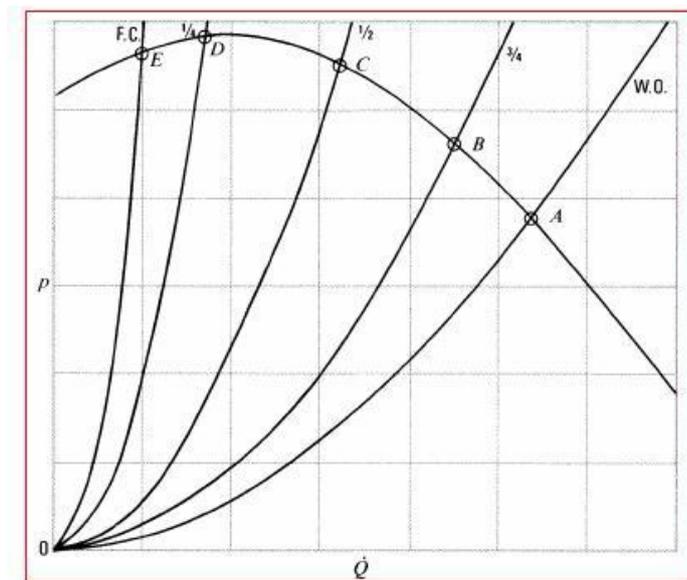


FIGURA 3.36. Punto de operación con diferentes aberturas

*Uso de compuerta en la succión:*

- Generación de otras curvas de comportamiento
- Las compuertas en succión pueden considerarse más fácilmente como parte del ventilador que las de da descarga.

- Buena eficiencia, probables pérdidas por turbulencia pero menores que a la descarga.

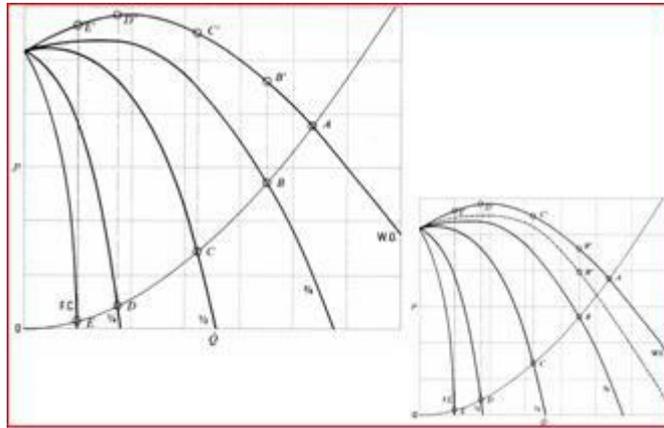


FIGURA 3.37. Efecto de la compuerta a la descarga

*Regulación mediante variación de velocidad del impulsor:*

- Generación de curvas “paralelas” de operación donde se conserva la eficiencia aerodinámica en prácticamente el rango completo de operación.
- La eficiencia de regulación es máxima
- Se deben considerar efectos paralelos secundarios (mecánicos, eléctricos, etc.)

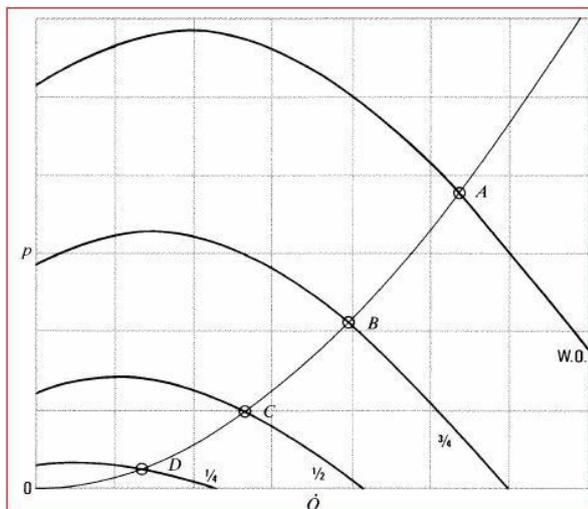


FIGURA 3.38. Operación con velocidad variable

Una vez revisados los conceptos que tienen que ver con ventiladores industriales, podemos indicar que 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:

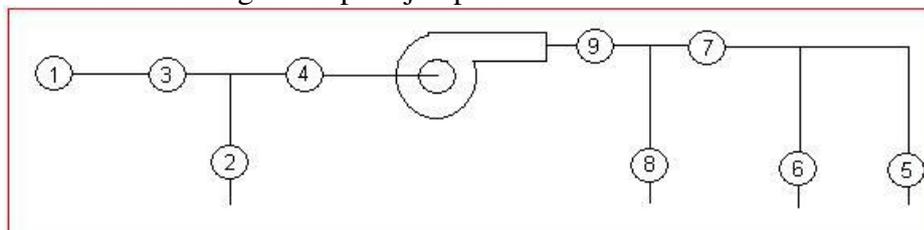
$$P_{st} = P_t - P_{v,0} \text{ (Ecuación 24)}$$

Siendo  $P_{st}$  la presión estática del ventilador,  $P_{v,0}$  la presión de velocidad a la salida de ventilador y  $P_t$  la presión total del ventilador, que viene dada por la expresión:

$$P_t = \sum_{i \in F_{up}} \Delta P_{t_i} + \sum_{i \in F_{dn}} \Delta P_{t_i}; i = 01, 2, \dots, n_{up} + n_{dn} \text{ (Ecuación 25)}$$

Donde  $F_{up}$  y  $F_{dn}$  son las secciones de ductos que están flujo arriba y flujo debajo de un ventilador y  $P_t$  es la presión total.

En un sistema como el siguiente por ejemplo:



Tenemos 3 puertos destino: 8, 6, 5 y tenemos 2 puertos origen: 1, 2. Son 9 secciones en total en 6 arreglos posibles que se indican a continuación:

- Arreglo 1: 1, 3, 4, 9, 7, 5.

- Arreglo 2: 1, 3, 4, 9, 7, 6.
- Arreglo 3: 1, 3, 4, 9, 8
- Arreglo 4: 2, 4, 9, 7, 5
- Arreglo 5: 2, 4, 9, 7, 6.
- Arreglo 6: 2, 4, 9, 8.

De donde, en base a la fórmula que se indicó anteriormente, podemos formar un sistema de ecuaciones para encontrar  $P_t$ , tal como se indica:

$$P_t = \Delta P_1 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_9 + \Delta P_7 + \Delta P_5$$

$$P_t = \Delta P_1 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_9 + \Delta P_7 + \Delta P_6$$

$$P_t = \Delta P_1 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_9 + \Delta P_8$$

$$P_t = \Delta P_2 + \Delta P_4 + \Delta P_9 + \Delta P_7 + \Delta P_5$$

$$P_t = \Delta P_2 + \Delta P_4 + \Delta P_9 + \Delta P_7 + \Delta P_6$$

$$P_t = \Delta P_2 + \Delta P_4 + \Delta P_9 + \Delta P_8$$

### 3.6. Consideraciones para la chimenea

Por lo general, en sistemas pulse jet auxiliares, no se utilizan chimeneas. La salida del ventilador es directamente a la atmósfera, pero cuando se requiera utilizar chimeneas, hay que considerar lo siguiente:

- Debe ser más alta que cualquier edificio cercano a ella.
- Los gases deben disiparse con el viento
- El uso del llamado “gorro chino” hace que el posible polvo que salga debido a algún mal funcionamiento del sistema, se precipite hacia el suelo, pero su ubicación es importante porque podría sofocar al colector, aumentando la presión en función de la altura en la que se encuentra con respecto a la parte superior de la chimenea.

- En casos de lluvia, cierto material es segregado hacia abajo, es por esto que se recomienda el uso de tubos concéntricos, para que este material circule entre ellos.

### 3.7. Control de limpieza

En colectores tipo pulse-jet, el objetivo de la limpieza no es solo remover el polvo colectado, sino que con esto, se produce un cambio en la presión diferencial del filtro. En unidades con altas velocidades ascendentes, la separación de finas partículas de polvo puede ocurrir, creando una capa de polvo muy densa. Este tipo de situaciones crea una resistencia al flujo de aire y mayores presiones diferenciales.

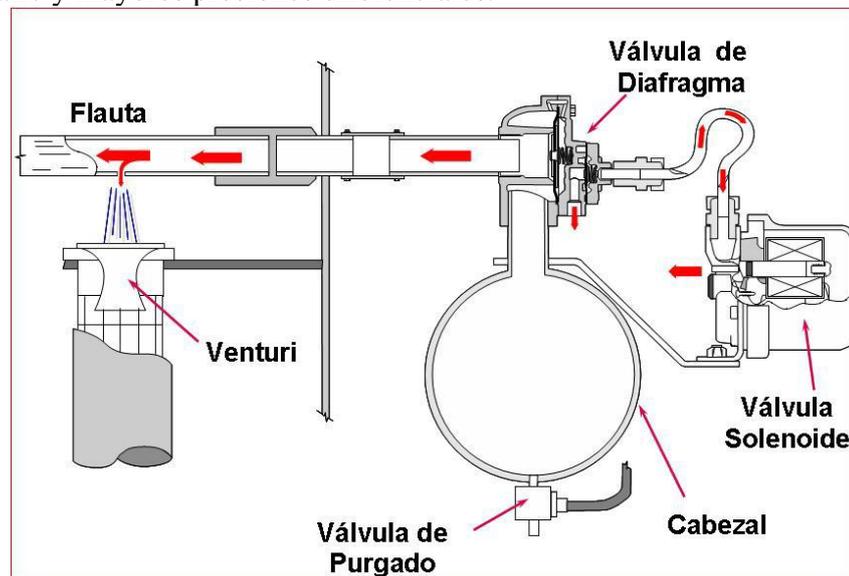


FIGURA 3.39. Limpieza por aire comprimido para pulse-jet. Es esencial para una buena operación del sistema, libre de problemas, que la calidad del aire comprimido sea buena, es decir que este sea seco, además de un buen volumen de aire. Usualmente la presión requerida para la limpieza es de 6 bar.

#### Secuencia de pulsos

La secuencia de pulsos juega un papel importante en la limpieza, básicamente porque puede provocar el reingreso de material recolectado a la manga. Pulsar una columna que está junto a otra de manera secuencial, puede causar que las partículas finas migren hacia la columna que fue limpiada previamente. Alternar los pulsos entre las columnas puede mejorar la limpieza.

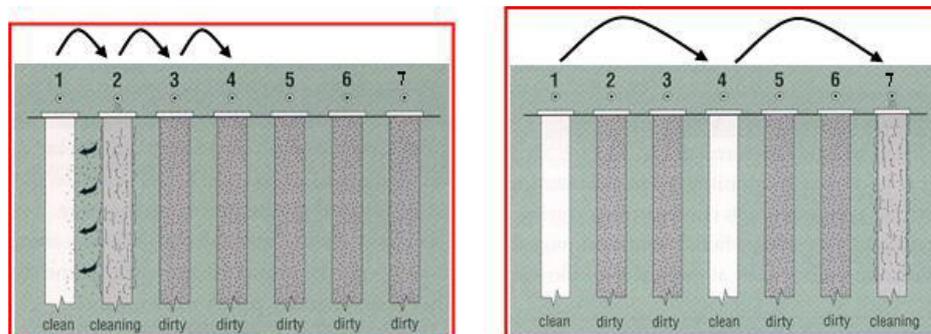


FIGURA 3.40. Secuencia incorrecta y correcta de pulsación

Además de eso, una manga limpia presenta menor resistencia al flujo, por lo tanto, la velocidad en las cercanías de esa manga aumentará y con esto, si la columna siguiente junto a esa entra en etapa de limpieza, el material sacudido en lugar de ir hacia la tolva, va a tender a ir hacia las mangas limpias, evitando que la presión diferencial baje notablemente, aumentando los pulsos y consumos de aire comprimido.

#### Ciclos de pulsación

Los ciclos de limpieza para colectores pulse jet deben ser diseñados de manera que la duración produzca un corto y directo pulso para crear una efectiva onda en la manga. Por lo general, la duración debe estar entre 0.10 y 0.15 segundos.

La frecuencia de la limpieza es importante para tener una adecuada retención de la capa de polvo. Puede variar entre 7 y 30 segundos, pero lo óptimo es utilizar manómetros de presión diferencial para que controlen las frecuencias de limpieza por demanda dependiendo de la presión y no por tiempo, entre la cámara limpia y la cámara de limpieza, como se observa a continuación:

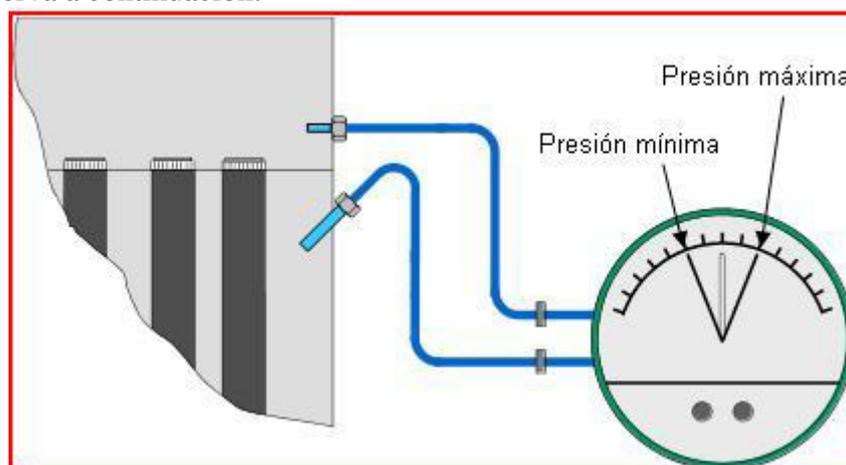


FIGURA 3.41. Manómetro diferencial.

Este tipo de sistemas automáticamente iniciará el proceso de limpieza cuando la presión diferencial llegue al máximo permitido y se detendrá cuando llegue al mínimo establecido en el manómetro.

Otro aspecto importante es la utilización de un sistema con capacidad de memoria para que al inicio de la secuencia de limpieza lo haga por la siguiente columna correspondiente al orden establecido inicialmente, evitando que reinicie la limpieza siempre en la misma columna a termino de cada ciclo.

#### Diafragmas y válvulas solenoides

Si las válvulas o los diafragmas están averiados, el sistema de limpieza no trabaja adecuadamente.

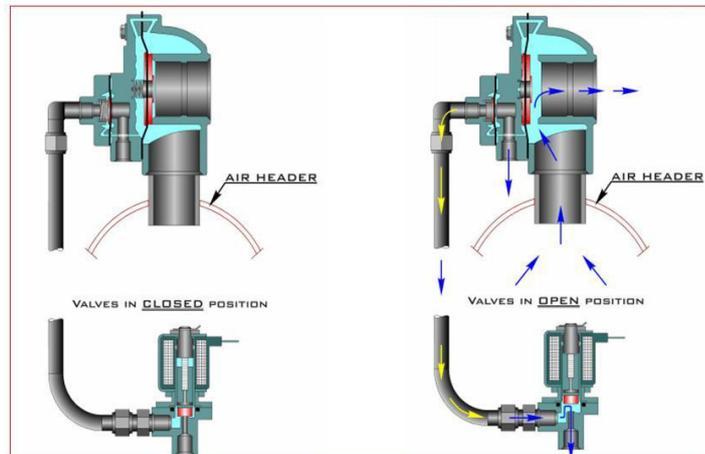


FIGURA 3.42. Funcionamiento de la válvula solenoide y diafragma

#### Válvula de purga

Las válvulas de purga están concebidas para eliminar el exceso de humedad en el tanque de aire comprimido antes de que entre a la unidad de limpieza, para evitar corrosión, y polvo húmedo en la parte superior de las mangas.

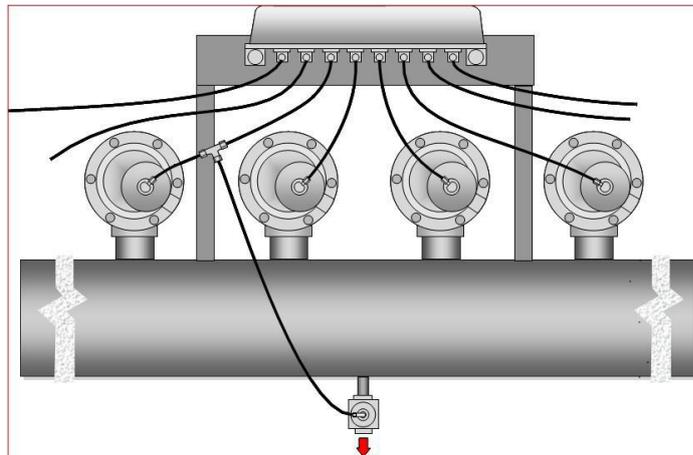


FIGURA 3.43. Válvula de purga

Actualmente existen válvulas de purgas automáticas localizadas en la parte inferior del tanque y conectadas a una válvula de pulso. Cuando esta dispara, la válvula de purga se abre removiendo la excesiva humedad.

### 3.8. Balanceo de flujos

Un procedimiento práctico para realizar el balanceo de sistemas en funcionamiento es a través de la colocación de una placa orificio en determinada sección del ducto que lo necesite. Fundamentalmente, esto surge por la necesidad de mantener una velocidad constante del flujo a lo largo de la ductería, para nuestro caso entre 18 m/s y 20 m/s. En base a esto procedemos a la toma de velocidades con un Tubo de Pitot en diferentes puntos de la ductería, pero siempre comenzando por la parte más cercana al colector. El objetivo es determinar la velocidad del flujo que está circulando por ese punto e ir ajustándola por medio de una compuerta guillotina que en base a la distancia que se introduce la compuerta, podemos obtener la geometría de la placa orificio a ser colocada perennemente.

El procedimiento básicamente es el siguiente:

- Abrir todas las compuertas del sistema al máximo
- Determinar los puntos a tomar velocidades empezando por el más cercano al colector
- Tomar la lectura de la velocidad y hacer los ajustes necesarios para obtener la velocidad requerida en caso de no tenerla.

- Medir la longitud de la placa guillotina que ingresó para obtener la velocidad requerida.
- Tomar la lectura de velocidad en el punto siguiente, medir la longitud y repetir para los puntos siguientes.

Con las longitudes de la placa guillotina, podemos obtener el diámetro de la placa orificio mediante la siguiente relación:

$$D_2 = \sqrt{D^2 - \frac{D^2}{2\pi} \left( \frac{\pi\theta}{180} - \sin \theta \right)}$$

donde

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left( \frac{D - 2d}{D} \right)$$

(Ecuación 26)

De donde:

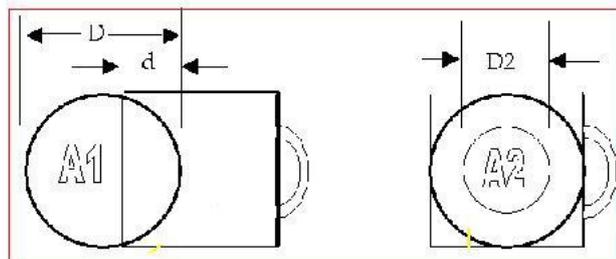


FIGURA 3.44 Placa orificio y guillotina

## CAPÍTULO 4

3. análisis de los sistemas colectores de polvo del área de trituración de caliza

**EN EL PRESENTE CAPÍTULO SE DESARROLLARÁ EL ANÁLISIS DE CADA UNO DE LOS CUATRO SISTEMAS COLECTORES, TENIENDO COMO BASE CADA UNA DE LAS CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES INDICADAS ANTERIORMENTE, DESDE LA CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO PARA EL SISTEMA HASTA LA SALIDA DEL VENTILADOR.**

**EL DESARROLLO CONSISTE EN IDENTIFICAR LA SITUACIÓN ACTUAL DE CADA UNO DE LOS SISTEMAS, PARA POSTERIORMENTE REALIZAR LA EVALUACIÓN CON LAS CONSIDERACIONES QUE SE DEBEN CUMPLIR, MENCIONANDO LOS PROBLEMAS QUE ESTÁN PRESENTES Y RECOMENDANDO**

**SOLUCIONES PRÁCTICAS Y ECONÓMICAS EN CASO DE SER  
POSIBLE.**

3.1. **FILTRO DEL EDIFICIO DE LA TRITURADORA PRIMARIA**

**CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN**

**TABLA 9**  
**CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DEL FILTRO DE LA**  
**TRITURADORA PRIMARIA**

<b>FILTRO DE MANGAS</b>	
<b>TIPO</b>	<b>PULSE JET</b>
<b>CANTIDAD DE MANGAS</b>	<b>144 UN</b>
<b>DIÁMETRO DE MANGAS</b>	<b>6.00 PULG</b>
<b>LONGITUD DE MANGAS</b>	<b>100.00 PULG</b>
<b>NÚMERO DE CÁMARA</b>	<b>1 UN</b>
<b>ANCHO DE CÁMARA</b>	<b>2.44 M   12 MANGAS</b>
<b>LARGO DE CÁMARA</b>	<b>2.44 M   12 MANGAS</b>
<b>MATERIAL DE LAS MANGAS</b>	<b>POLIÉSTER SILICONIZADO</b>
<b>CAPACIDAD EFECTIVA DEL FILTRO</b>	<b>18510.00 M3/H</b>
<b>CAPACIDAD DEL VENTILADOR</b>	<b>18300.00 M3/H</b>
<b>PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR</b>	<b>300.00      2943.00 PA</b> <b>MMCDA</b>
<b>VELOCIDAD DEL VENTILADOR</b>	<b>1393.00 RPM</b>
<b>TEMPERATURA DE OPERACIÓN MÁXIMA ADMISIBLE</b>	<b>70 °C</b>
<b>PUNTOS A DESEMPOLVAR</b>	<b>ANCHO DE LA BANDA</b>
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT1</b>	<b>72 "</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT1</b>	<b>72 "</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT2</b>	<b>48 "</b>

## ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN

**TABLA 10**  
**CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO DE ACUERDO AL EQUIPO A**  
**DESEMPOLVAR (EDIFICIO DE LA TRITURADORA PRIMARIA)**

(EN BASE A LA TABLA 4)	
<b>SECCIÓN A</b>	<b>40.00%</b>
<b>SECCIÓN B</b>	<b>42.50%</b>
<b>SECCIÓN C</b>	<b>17.50%</b>
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT1</b>	<b>4572.00 M3/H</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT1</b>	<b>4572.00 M3/H</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT2</b>	<b>3238.50 M3/H</b>
<b>TOTAL CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO</b>	<b>12382.50 M3/H</b>

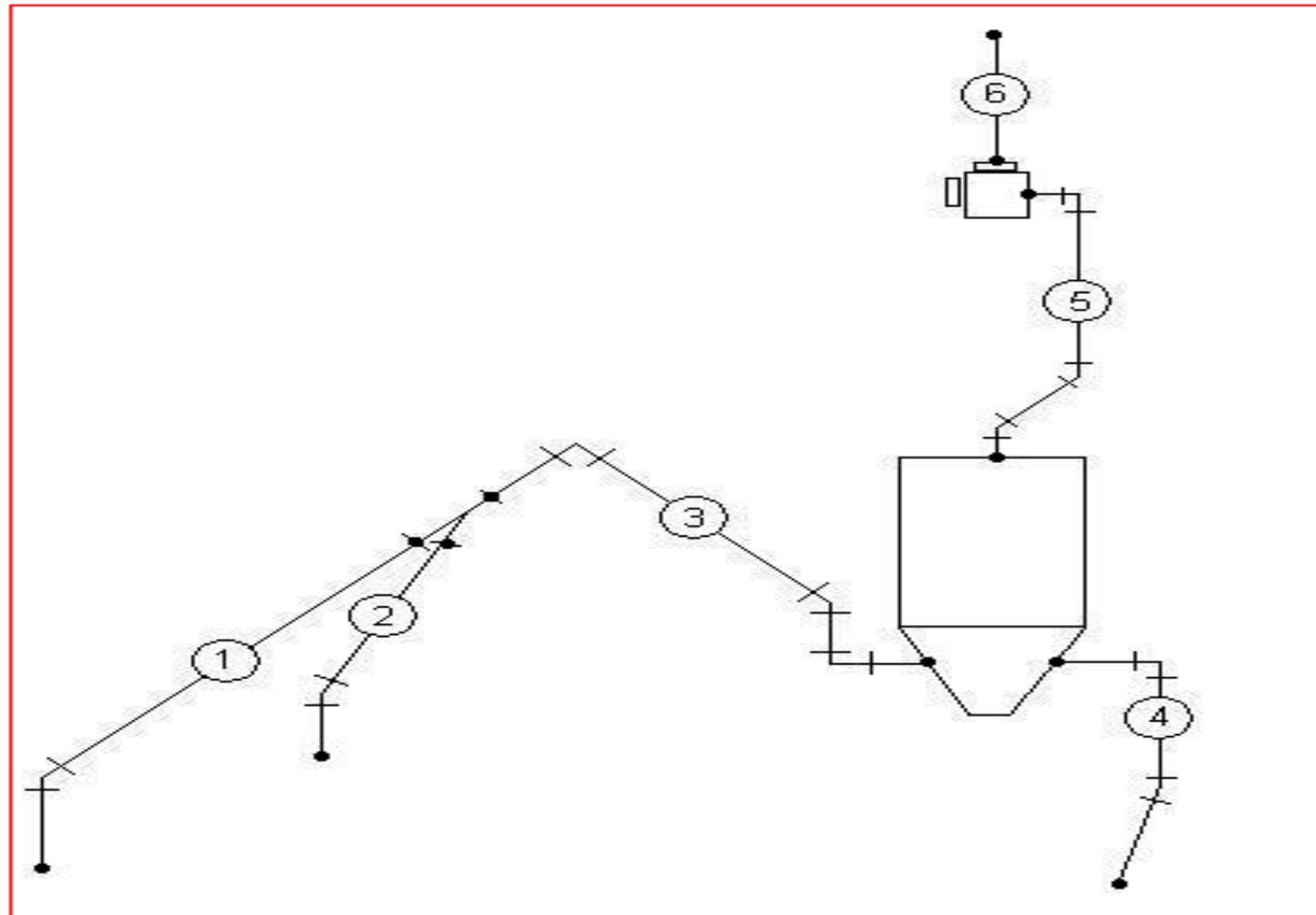
**TABLA 11**  
**CAMPANA DE CAPTURA (EDIFICIO DE LA TRITURADORA PRIMARIA)**

UBICACIÓN DE LA CAMPANA				
	ANCHO DE LA CAMPANA	LARGO DE LA CAMPANA	VELOCIDAD DE CAPTURA	DISTANCIA MÁXIMA
<b>DISTANCIA ACTUAL X= 600 MM</b>				
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT1</b>	<b>0.62 M</b>	<b>0.64 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0.71 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA</b>	<b>1.11 M</b>	<b>1.11 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0 M</b>

<b>CB.211-BT1 ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT2</b>	<b>0.70 M</b>	<b>0.67 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0.42 M</b>
VELOCIDAD DE CAPTURA A 600MM				
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT1</b>				<b>1.68 M/S</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT1</b>				<b>0.80 M/S</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT2</b>				<b>1.09 M/S</b>
ANCHO DE LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN				
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT1</b>				<b>1.67 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT1</b>				<b>1.67 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT2</b>				<b>1.07 M</b>

TABLA 12  
DISEÑO DE DUCTOS (EDIFICIO DE LA TRITURADORA PRIMARIA)

ANÁLISIS DE PRESIONES EN DUCTOS								
DENSIDAD AIRE	VISCOSIDAD CINEMÁTICA							
<b>1.20 KG/M3</b>	<b>0.0016 M2/S</b>							
VELOCIDADES								
SECCIÓN DE DUCTO	FLUJO REQUERIDO	LONGITUD DE LA SECCIÓN	VELOCIDAD REQUERIDA DE TRANSPORTE	DIÁMETRO REQUERIDO DE DUCTO	DIÁMETRO ACTUAL	VELOCIDAD ACTUAL	REYNOLDS	FACTOR DE FRICCIÓN
1	3238.50 M3/H	8000 MM	18 M/S	252.25 MM	277.00 MM	14.93 M/S	2584.35	0.0443
2	4572.00 M3/H	5000 MM	18 M/S	299.72 MM	257.00 MM	24.48 M/S	3932.42	0.0399
3	7810.50 M3/H	5500 MM	18 M/S	391.75 MM	277.00 MM	36.00 M/S	6232.84	0.0356
4	4572.00 M3/H	4000 MM	18 M/S	299.72 MM	436.00 MM	8.51 M/S	2317.96	0.0456
5	12382.50 M3/H	5000 MM	18 M/S	493.25 MM	436.00 MM	23.04 M/S	6277.81	0.0355
6	12382.50 M3/H	0 MM	18 M/S	493.25 MM	436.00 MM	23.04 M/S	6277.81	0.0355



**FIGURA 4.1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL FILTRO DEL EDIFICIO DE LA TRITURADORA  
PRIMARIA**

TABLA 13  
COEFICIENTES DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS POR SECCIONES (EDIFICIO DE LA TRITURADORA  
PRIMARIA)

SECCIÓN DE DUCTO	ACCESORIOS	PARÁMETROS	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
1	CAMPANA 700X670, 90°	90°	0.15
	CODO 45°, 3 SECCIONES	CD3-14	0.13
	UNIÓN 30°, PRINCIPAL	ED5-1	0.62
SUMA DE COEFICIENTES			0.9
2	CAMPANA 620X640, 75°	75°	0.1
	CODO 45°, 3 SECCIONES	CD3-14	0.13
	UNIÓN 30°, SECUNDARIA	ED5-1	-0.6
SUMA DE COEFICIENTES			-0.37
3	CODO 90°, 3 SECCIONES	CD3-12	0.34
	CODO 60°, 3 SECCIONES	CD3-13	0.15
	CODO 90°, 5 SECCIONES	CD3-9	0.19
SUMA DE COEFICIENTES			0.68
4	CAMPANA 1110X1110, 120°	120°	0.26

	CODO 45°, 2 SECCIONES	CD3-17	0.34
	CODO 90°, 5 SECCIONES	CD3-9	0.15
	SUMA DE COEFICIENTES		0.75
5	CODO 45°, 3 SECCIONES	CD3-14	0.09
	CODO 45°, 3 SECCIONES	CD3-14	0.09
	CODO 90°, 5 SECCIONES	CD3-9	0.15
	SUMA DE COEFICIENTES		0.33
6	DIFUSOR SALIDA 500X500	SR7-1	1
	SUMA DE COEFICIENTES		1

**TABLA 14**  
**PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR SECCIONES (EDIFICIO DE LA TRITURADORA PRIMARIA)**

SECCIÓN DE DUCTO	ELEMENTOS	PRESIÓN DE VELOCIDAD	PÉRDIDA DE PRESIÓN	PÉRDIDA DE PRESIÓN DE LA SECCIÓN
1	DUCTO ARREGLOS	133.70 PA	171.19 PA 120.33 PA	291.52 PA
2	DUCTO ARREGLOS	359.62 PA	279.28 PA -133.06 PA	146.22 PA
3	DUCTO ARREGLOS	777.68 PA	549.34 PA 528.82 PA	1078.16 PA
4	DUCTO ARREGLOS	43.41 PA	18.14 PA 32.56 PA	50.71 PA
X	COLECTOR (4"			1744.00 PA

**A 8" COLUMNA  
H2O)**

<b>5</b>	<b>DUCTO</b>		<b>129.69 PA</b>	
	<b>ARREGLOS</b>	<b>318.45 PA</b>	<b>105.09 PA</b>	<b>234.77 PA</b>
<b>6</b>	<b>DUCTO</b>		<b>0.00 PA</b>	
	<b>ARREGLOS</b>	<b>318.45 PA</b>	<b>318.45 PA</b>	<b>318.45 PA</b>

TABLA 15  
COLECTOR DE POLVO (EDIFICIO DE LA TRITURADORA PRIMARIA)

ENTRADA Y DISTRIBUCIÓN DE FLUJO	
<b>DOS ENTRADAS OPUESTAS</b>	
<b>AUSENCIA DE DEFLECTORES</b>	
<b>VELOCIDADES DE ENTRADA ALTAS</b>	
RELACIÓN AIRE-TELA	
ÁREA TOTAL FILTRANTE	RELACIÓN AIRE-TELA
<b>175.12 M2</b>	<b>1.18 M3/M2/MIN</b>
VELOCIDAD ASCENDENTE	
ÁREA ENTRE MANGAS	VELOCIDAD ASCENDENTE
<b>3.33 M2</b>	<b>1.03 M/S</b>
DIMENSIONAMIENTO DE MANGAS	
<b>RELACIÓN L/D&lt;=25</b>	<b>16.67</b>
<b>POSICIÓN DE LAS COSTURAS</b>	<b>NO UNIFORME</b>
DISTANCIA ENTRE MANGAS	
<b>A LO ANCHO</b>	<b>47.02 MM</b>
<b>A LO LARGO</b>	<b>47.02 MM</b>
NÚMERO DE MANGAS POR COLUMNA	
<b>A LO ANCHO</b>	<b>12 MANGAS</b>
<b>A LO LARGO</b>	<b>12 MANGAS</b>
CANASTILLAS	
<b>12 VARILLAS VERTICALES</b>	
FIJACIÓN DE LAS MANGAS	
<b>FLEJE METÁLICO</b>	
CRITERIO DE SELECCIÓN PARA LA TELA DE FILTRADO	
ASPECTO	NECESIDAD
<b>TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN</b>	<b>70°C</b>
<b>ABRASIÓN</b>	<b>BUENO</b>
<b>ABSORCIÓN DE ENERGÍA</b>	<b>BUENO</b>
<b>PROPIEDADES DE FILTRACIÓN</b>	<b>EXCELENTE</b>
<b>CALOR HÚMEDO</b>	<b>SIN PRESENCIA</b>

ALCALINOS	SIN PRESENCIA
ÁCIDOS REGULARES	SIN PRESENCIA
COSTO RELATIVO	BAJO

VENTURIS

UBICACIÓN VERSUS FLAUTA TAN 7°=D/X

TOLVA DE DESCARGA

INCLINACIÓN MAYOR A 55°

VÁLVULAS A LA SALIDA

ROTATORIA

CÁMARA LIMPIA

WALK IN PLENUM

TABLA 16

SELECCIÓN DEL VENTILADOR (EDIFICIO DE LA TRITURADORA PRIMARIA)

AUSENCIA DE DAMPERS		
ALETAS CURVAS HACIA DELANTE		
DIMENSIONES DEL DIFUSOR A LA SALIDA	ANCHO 500 MM	LARGO 500 MM
PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR	PRESIÓN TOTAL DEL VENTILADOR	PRESIÓN DE VELOCIDAD A LA SALIDA DEL VENTILADOR
3604.03 PA	3717.61 PA	113.58 PA

TABLA 17

CONTROL DE LIMPIEZA (EDIFICIO DE LA TRITURADORA PRIMARIA)

POR TIEMPO	30 SEG
FILAS SECUENCIALES DE LIMPIEZA, SIN MEMORIA	
DURACIÓN DEL DISPARO	0.15 SEG

### **EVALUACIÓN DE LA INSTALACIÓN**

- **EL FILTRO INSTALADO, TIENE LA SUFICIENTE CAPACIDAD PARA MANEJAR EL FLUJO DE AIRE DEL SISTEMA DE ACUERDO A LOS PUNTOS A DESEMPOLVAR. SIN EMBARGO, NO ES APROVECHADO EN SU TOTALIDAD; PEQUEÑOS DETALLES EN EL SISTEMA CREAN PÉRDIDAS, VOLVIÉNDOLO APARENTEMENTE INEFICIENTE.**
  
- **PARA OBTENER UNA VELOCIDAD DE CAPTURA DE 1.4 M/S, CON LA GEOMETRÍA ACTUAL DE LAS CAMPANAS COLOCADAS, LA CAMPANA QUE SE ENCUENTRA EN LA ALIMENTACIÓN A LA BANDA CB.211-BT1 DEBERÍA ESTAR AL MENOS AL NIVEL MATERIAL, PERO ESO NO ES POSIBLE. LA MÁXIMA DISTANCIA ACTUAL DESDE LA CAMPANA HACIA EL MATERIAL ES DE 600MM, CON ESTA DISTANCIA, DOS PUNTOS TIENEN VELOCIDADES DE CAPTURA MENORES A 1.4 M/S, LO QUE RESULTA EN MAYOR MATERIAL FLOTANTE QUE NO SE DIRIGE HACIA EL DUCTO, FUGANDO HACIA EL AMBIENTE.**

- **PARA EVITAR SEGREGACIÓN O ABRASIÓN EN LOS DUCTOS, LA VELOCIDAD DEBE SER 18 M/S; CON LAS DIMENSIONES DE LOS DUCTOS INSTALADOS, TENEMOS VELOCIDADES DESDE LOS 9 M/S HASTA 36 M/S. UN ANÁLISIS DE PRESIONES EN LAS JUNTAS DE LOS DUCTOS, DEMUESTRA QUE EL SISTEMA SE ENCUENTRA DESBALANCEADO. EN LOS PUNTOS DONDE EXISTEN JUNTAS, LA CAÍDA DE PRESIÓN DEBE SER IGUAL EN TODOS LOS RAMALES QUE CONVERGEN A UN MISMO PUNTO, Y ESTO NO SUCEDE. ESTE DESBALANCE GENERA MAYORES CAÍDAS DE PRESIÓN HACIENDO QUE EL SISTEMA RESULTE “MÁS GRANDE”, Y LA INSTALACIÓN ACTUAL NO SEA SUFICIENTE.**
  
- **LA INCLINACIÓN DE LOS DUCTOS SE ENCUENTRA ENTRE 45° Y 60°, SIENDO ESTOS VALORES PERMISIBLES, CON SUS RESPECTIVOS CODOS AUTOLIMPIABLES CUANDO ES NECESARIO.**
  
- **HAY ENTRADAS DE AIRE FALSO QUE “ROBAN” AIRE AL SISTEMA.**

- **AL TENER DOS ENTRADAS OPUESTAS Y A GRAN VELOCIDAD, UNA GRAN TURBULENCIA SE GENERA EN LA ENTRADA DEL FILTRO. INTERNAMENTE NO HAY PLANCHAS DEFLECTORAS PARA DISTRIBUIR EL FLUJO UNIFORMEMENTE, POR LO QUE SE GENERA DESGASTE EN LAS PLANCHAS QUE FORMAN LAS PAREDES DE LA TOLVA.**
  
- **LA RELACIÓN AIRE-TELA ES 1.18 M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>/MIN, ES DECIR, QUE NO TODO EL AIRE QUE PUEDE SOPORTAR UN FILTRO PULSE JET, ESTÁ SIENDO INGRESADO AL SISTEMA. EN OTRAS PALABRAS, LA CANTIDAD DE TELA EN EL FILTRO, PODRÍA MANEJAR UN VOLUMEN MAYOR DE AIRE DE SER NECESARIO.**
  
- **LA VELOCIDAD ASCENDENTE ES 1.03 M/S, QUE ES UN VALOR QUE SE ENCUENTRA DENTRO DEL RANGO PERMITIDO PARA FILTROS PULSE JET.**
  
- **DADO QUE LAS MEDIDAS DE LAS MANGAS OTORGADAS POR EL PROVEEDOR SON ESTÁNDAR, SUS DIMENSIONES**

**SE AJUSTAN A LAS ESPECIFICACIONES, MANTENIENDO LA RELACIÓN LONGITUD VS. DIÁMETRO MENOR A 25.**

- **LA DISTANCIA ENTRE MANGAS ESTÁ POR DEBAJO DE 50MM.**
  
- **DOCE SON LAS MANGAS POR CADA COLUMNA Y POR CADA FILA. ESTE VALOR ES MENOR A 16 QUE ES EL MÁXIMO RECOMENDADO.**
  
- **LAS CANASTILLAS CONTIENEN 12 VARILLAS VERTICALES, SUFICIENTES PARA EL DIÁMETRO DE 6" DE LAS MANGAS; ADEMÁS, LAS MANGAS SE FIJAN CON EL SISTEMA DE FLEJE METÁLICO, QUE POR EXPERIENCIA EN SU USO, SON MUY EFICIENTES EVITANDO QUE MANGAS CAIGAN A LA TOLVA.**
  
- **CONSIDERANDO LAS CONDICIONES DEL PROCESO, EL POLIÉSTER SILICONIZADO ES LA MEJOR ALTERNATIVA COMO MATERIAL PARA LAS MANGAS FILTRANTES.**
  
- **CON LAS CONDICIONES ACTUALES DEL SISTEMA, APARENTEMENTE, ES NECESARIO QUE OPERE UN**

**VENTILADOR QUE TENGA UNA PRESIÓN ESTÁTICA MAYOR AL QUE ESTÁ INSTALADO. PERO ESTA SITUACIÓN SE GENERA POR LAS PÉRDIDAS A LO LARGO DEL SISTEMA, POR DIFERENTES VELOCIDADES EN DUCTOS, PRESIONES, FUGAS, ETC.**

- **EL CONTROL DE LIMPIEZA NO CUMPLE CON LO REQUERIDO. NO ESTÁ CONSIDERANDO LIMPIEZA POR DEMANDA Y CON MEMORIA. SIN EMBARGO, LOS TIEMPOS DE DISPARO SE ENCUENTRAN MUY BIEN.**

#### **RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN**

- **SE RECOMIENDA QUE EL ANCHO DE LA CAMPANA SEA IGUAL AL ANCHO DEL PUNTO DE SUCCIÓN, SIN EMBARGO NINGUNA DE LAS CAMPANAS CUMPLE CON ESTA CONDICIÓN.**
- **NO RESULTA COSTOSO SELLAR LOS CHUTES O LAS TAPAS DE INSPECCIÓN PARA GARANTIZAR CONFINAMIENTO.**



**FIGURA 4.2. ENTRADA DE AIRE FALSO AL SISTEMA**

- **ANALIZAR LA POSIBILIDAD DE REUBICAR EL DUCTO DE ENTRADA AL FILTRO PROVENIENTE DE LA DESCARGA DE LA TRITURADORA, COLOCÁNDOLO JUNTO AL DUCTO QUE LLEGA DESDE EL PUNTO DE TRANSFERENCIA HACIA LA BANDA SIGUIENTE.**



**FIGURA 4.3. ENTRADA DE DUCTOS EN SENTIDO OPUESTO**

- **COLOCAR PLACAS DEFLECTORAS A LA ENTRADA DEL FILTRO PARA DISTRIBUIR EL FLUJO UNIFORMEMENTE.**

- HACE FALTA HACER ÉNFASIS EN LA COLOCACIÓN DE LAS COSTURAS CORRECTAMENTE; SE ENCUENTRAN COLOCADAS ALEATORIAMENTE.
  
- PARA ALCANZAR EL VALOR DE 50MM ENTRE MANGAS, SERÍA POSIBLE QUITAR CIERTA CANTIDAD DE MANGAS CONSIDERANDO QUE LA RELACIÓN AIRE TELA PUEDE AUMENTAR, SIN DESCUIDAR LA VELOCIDAD ASCENDENTE.
  
- ES POSIBLE BALANCEAR LOS FLUJOS EN EL SISTEMA Y A LA VEZ LAS PRESIONES, CON PLACAS ORIFICIO, ASÍ, OBTENDRÍAMOS MENOS PÉRDIDAS Y POSIBLEMENTE EL VENTILADOR INSTALADO SEA SUFICIENTE.

TABLA 18  
PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR SECCIONES A 18 M/S

SECCIÓN DE DUCTO	ELEMENTOS	PRESIÓN DE VELOCIDAD	PÉRDIDA DE PRESIÓN	PÉRDIDA DE PRESIÓN DE LA SECCIÓN
1	DUCTO		267.01 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	174.96 PA	441.97 PA
2	DUCTO		134.52 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	-71.93 PA	62.60 PA
3	DUCTO		105.89 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	132.19 PA	238.08 PA
4	DUCTO		107.62 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	145.80 PA	253.42 PA

X	COLECTOR (4" A 8" COLUMNA H2O)			1744.00 PA
5	DUCTO		72.17 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	64.15 PA	136.32 PA
6	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	194.40 PA	194.40 PA

TABLA 19  
SELECCIÓN DEL VENTILADOR CON  
VELOCIDADES BALANCEADAS

<b>DIMENSIONES DEL DIFUSOR A LA SALIDA</b>	<b>ANCHO 500 MM</b>	<b>LARGO 500 MM</b>
<b>PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR</b>	<b>PRESIÓN TOTAL DEL VENTILADOR</b>	<b>PRESIÓN DE VELOCIDAD A LA SALIDA DEL VENTILADOR</b>
<b>2894.61 PA</b>	<b>3008.19 PA</b>	<b>113.58 PA</b>

- SE RECOMIENDA COLOCAR EL SISTEMA DE CONTROL DE LIMPIEZA POR DEMANDA Y NO POR TIEMPO COMO ACTUALMENTE SUCEDE.

### 3.2. FILTRO DE LA PILA INTERMEDIA

#### CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

TABLA 20  
CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DEL FILTRO DE LA PILA  
INTERMEDIA

FILTRO DE MANGAS	
<b>TIPO</b>	<b>PULSE JET</b>
<b>CANTIDAD DE MANGAS</b>	<b>120 UN</b>
<b>DIÁMETRO DE MANGAS</b>	<b>6.00 PULG</b>
<b>LONGITUD DE MANGAS</b>	<b>100.00 PULG</b>
<b>NÚMERO DE CÁMARAS</b>	<b>1 UN</b>

ANCHO DE CÁMARA	2.03 M	10 MANGAS
LARGO DE CÁMARA	2.44 M	12 MANGAS
MATERIAL DE LAS MANGAS	POLIÉSTER SILICONIZADO	
CAPACIDAD EFECTIVA DEL FILTRO	14000.00 M3/H	
CAPACIDAD DEL VENTILADOR	14000.00 M3/H	
PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR	300.00 MMCDA	2943.00 PA
VELOCIDAD DEL VENTILADOR	1526.00 RPM	
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	70 °C	
MÁXIMA ADMISIBLE		
PUNTOS A DESEMPOLVAR	ANCHO DE LA BANDA/ALIMENTADOR DE PLACAS	
COLA DE BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT3	48 "	
DESCARGA DE ALIMENTADORES DE PLACAS CB.211-DP1 Y CB.211-DP2	48 "	
DESCARGA DE ALIMENTADOR VIBRATORIO CB.211-AV1	48 "	

### ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN

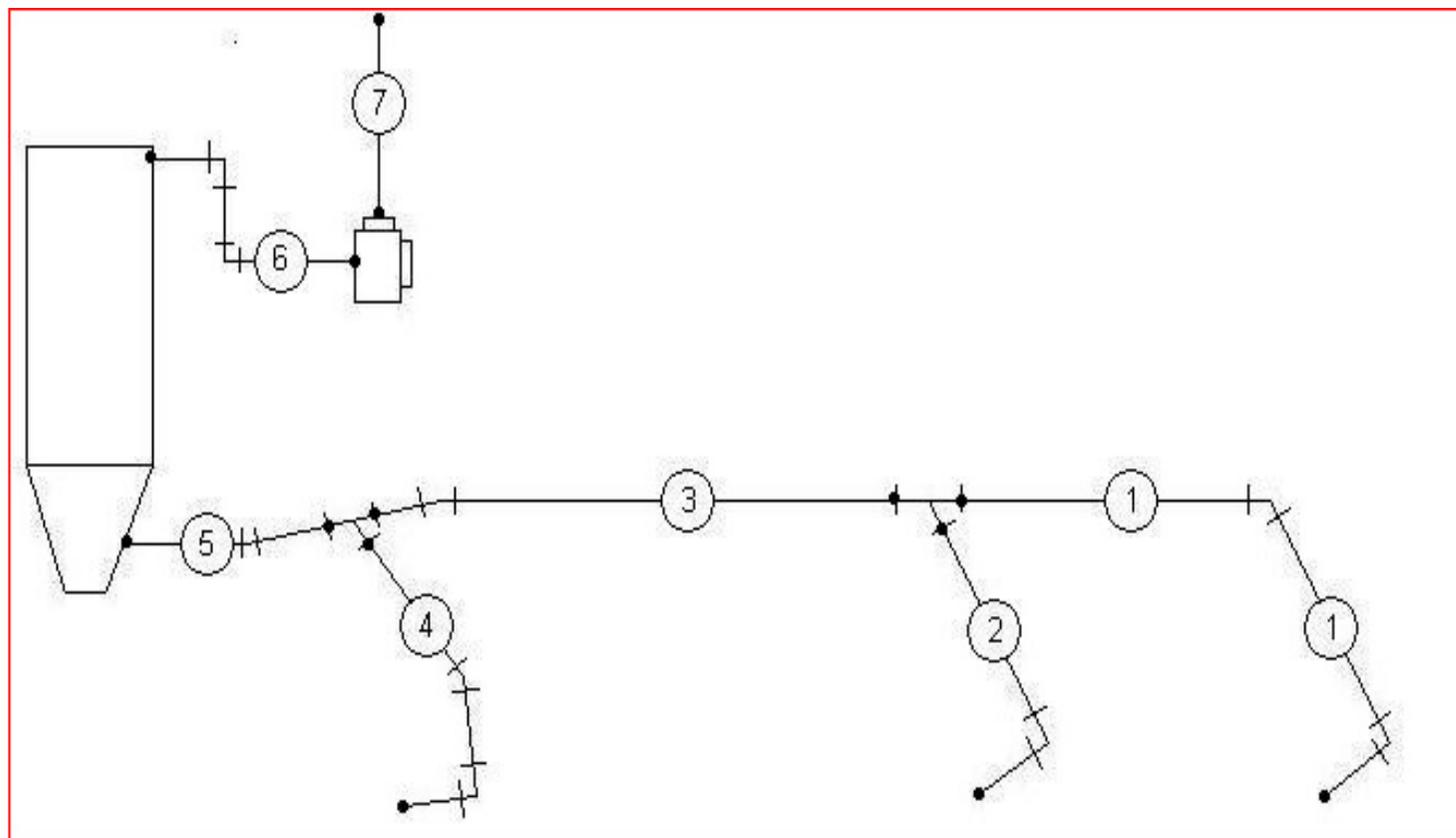
<u>TABLA 21</u> <u>CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO DE ACUERDO AL EQUIPO A DESEMPOLVAR (FILTRO DE LA PILA INTERMEDIA)</u>	
(EN BASE A LA TABLA 4)	
SECCIÓN A	40.00 %
SECCIÓN B	42.50 %
SECCIÓN C	17.50 %
COLA DE BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT3	1333.50 M3/H
DESCARGA DE ALIMENTADORES DE PLACAS CB.211-DP1 Y CB.211-P2	7620.00 M3/H
DESCARGA DE ALIMENTADOR VIBRATORIO CB.211-AV1	4572.00 M3/H
TOTAL CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO	13525.50 M3/H

<u>TABLA 22</u> <u>CAMPANA DE CAPTURA (FILTRO DE LA PILA INTERMEDIA)</u>				
UBICACIÓN DE LA CAMPANA				
	ANCHO DE LA CAMPANA	LARGO DE LA CAMPANA	VELOCIDAD DE CAPTURA	DISTANCIA MÁXIMA
DISTANCIA ACTUAL X= 600 MM				
COLA DE BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT3	0.71 M	0.64 M	1.40 M/S	0 M
DESCARGA DE ALIMENTADORES DE	0.71 M	1.11 M	1.40 M/S	0.85 M

<b>PLACAS CB.211-DP1 Y CB.211-DP2 DESCARGA DE ALIMENTADOR VIBRATORIO CB.211- AV1</b>	<b>0.71 M</b>	<b>1.11 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0.35 M</b>
<b>VELOCIDAD DE CAPTURA A 600MM</b>				
<b>COLA DE BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT3</b>				<b>0.46 M/S</b>
<b>DESCARGA DE ALIMENTADORES DE PLACAS CB.211-DP1 Y CB.211-DP2</b>				<b>1.85 M/S</b>
<b>DESCARGA DE ALIMENTADOR VIBRATORIO CB.211-AV1</b>				<b>1.11 M/S</b>
<b>ANCHO DE LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN</b>				
<b>COLA DE BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT3</b>				<b>1.67 M</b>
<b>DESCARGA DE ALIMENTADORES DE PLACAS CB.211-DP1 Y CB.211-DP2</b>				<b>1.67 M</b>
<b>DESCARGA DE ALIMENTADOR VIBRATORIO CB.211-AV1</b>				<b>1.07 M</b>

**TABLA 23**  
**DISEÑO DE DUCTOS (FILTRO DE LA PILA INTERMEDIA)**

ANÁLISIS DE PRESIONES EN DUCTOS								
DENSIDAD AIRE	VISCOSIDAD CINEMÁTICA							
<b>1.20 KG/M3</b>	<b>0.0016 M2/S</b>							
VELOCIDADES								
SECCIÓN DE DUCTO	FLUJO REQUERIDO	LONGITUD DE LA SECCIÓN	VELOCIDAD REQUERIDA DE TRANSPORTE	DIÁMETRO REQUERIDO DE DUCTO	DIÁMETRO ACTUAL	VELOCIDAD ACTUAL	REYNOLDS	FACTOR DE FRICCIÓN
<b>1</b>	<b>1333.50 M3/H</b>	<b>28000 MM</b>	<b>18 M/S</b>	<b>161.87 MM</b>	<b>310.00 MM</b>	<b>4.91 M/S</b>	<b>950.86</b>	<b>0.0673</b>
<b>2</b>	<b>7620.00 M3/H</b>	<b>3000 MM</b>	<b>18 M/S</b>	<b>386.94 MM</b>	<b>310.00 MM</b>	<b>28.04 M/S</b>	<b>5433.50</b>	<b>0.0368</b>
<b>3</b>	<b>8953.50 M3/H</b>	<b>10440 MM</b>	<b>18 M/S</b>	<b>419.43 MM</b>	<b>360.00 MM</b>	<b>24.43 M/S</b>	<b>5497.65</b>	<b>0.0367</b>
<b>4</b>	<b>4572.00 M3/H</b>	<b>3000 MM</b>	<b>18 M/S</b>	<b>299.72 MM</b>	<b>310.00 MM</b>	<b>16.83 M/S</b>	<b>3260.10</b>	<b>0.0418</b>
<b>5</b>	<b>13525.50 M3/H</b>	<b>5200 MM</b>	<b>18 M/S</b>	<b>515.52 MM</b>	<b>412.00 MM</b>	<b>28.18 M/S</b>	<b>7256.76</b>	<b>0.0342</b>
<b>6</b>	<b>13525.50 M3/H</b>	<b>3500 MM</b>	<b>18 M/S</b>	<b>515.52 MM</b>	<b>490.00 MM</b>	<b>19.92 M/S</b>	<b>6101.60</b>	<b>0.0358</b>
<b>7</b>	<b>13525.50 M3/H</b>	<b>0 MM</b>	<b>18 M/S</b>	<b>515.52 MM</b>	<b>490.00 MM</b>	<b>19.92 M/S</b>	<b>6101.60</b>	<b>0.0358</b>



**FIGURA 4.4. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL FILTRO DE LA PILA INTERMEDIA**

**TABLA 24**  
**COEFICIENTES DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS POR SECCIONES (FILTRO DE LA PILA INTERMEDIA)**

---

SECCIÓN DE DUCTO	ACCESORIOS	PARÁMETROS	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
<b>1</b>	<b>CAMPANA 705X670, 60°</b>	<b>60°</b>	<b>0.08</b>
	<b>CODO 90°, 1 SECCIONES</b>	<b>CD3-1</b>	<b>0.11</b>
	<b>CODO 60°, 3 SECCIONES</b>	<b>CD3-13</b>	<b>0.14</b>
	<b>UNIÓN 45°, PRINCIPAL</b>	<b>ED5-2</b>	<b>-1.31</b>
	<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>		<b>-0.98</b>
<b>2</b>	<b>CAMPANA 705X1110, 60°</b>	<b>60°</b>	<b>0.08</b>
	<b>CODO 90°, 1 SECCIONES</b>	<b>CD3-1</b>	<b>0.11</b>
	<b>UNIÓN 45°, SECUNDARIA</b>	<b>ED5-2</b>	<b>0.69</b>
		<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>	
<b>3</b>	<b>CODO 45°, 3 SECCIONES</b>	<b>CD3-14</b>	<b>0.18</b>
	<b>UNIÓN 45°, PRINCIPAL</b>	<b>ED5-2</b>	<b>0.16</b>
		<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>	
<b>4</b>	<b>CAMPANA 705X1110, 60°</b>	<b>60°</b>	<b>0.08</b>
	<b>CODO 90°, 1 SECCIONES</b>	<b>CD3-1</b>	<b>0.11</b>
	<b>CODO 60°, 3 SECCIONES</b>	<b>CD3-13</b>	<b>0.14</b>
	<b>UNIÓN 45°, SECUNDARIA</b>	<b>ED5-2</b>	<b>-0.87</b>
		<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>	
<b>5</b>	<b>CODO 45°, 3 SECCIONES</b>	<b>CD3-14</b>	<b>0.09</b>
		<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>	<b>0.09</b>
<b>6</b>	<b>CODO 90°, 5 SECCIONES</b>	<b>CD3-9</b>	<b>0.15</b>
	<b>CODO 90°, 5 SECCIONES</b>	<b>CD3-9</b>	<b>0.15</b>
		<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>	<b>0.3</b>
<b>7</b>	<b>DIFUSOR SALIDA 500X500</b>	<b>SR7-1</b>	<b>1</b>
		<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>	<b>1</b>

TABLA 25

PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR SECCIONES (FILTRO DE LA PILA INTERMEDIA)

SECCIÓN DE DUCTO	ELEMENTOS	PRESIÓN DE VELOCIDAD	PÉRDIDA DE PRESIÓN	PÉRDIDA DE PRESIÓN DE LA SECCIÓN
1	DUCTO		87.85 PA	
	ARREGLOS	14.45 PA	-14.16 PA	73.69 PA
2	DUCTO		168.13 PA	
	ARREGLOS	471.88 PA	415.25 PA	583.38 PA
3	DUCTO		381.35 PA	
	ARREGLOS	358.21 PA	121.79 PA	503.14 PA
4	DUCTO		68.77 PA	
	ARREGLOS	169.88 PA	-91.73 PA	-22.96 PA
5	DUCTO		205.98 PA	
	ARREGLOS	476.52 PA	42.89 PA	248.87 PA
X	COLECTOR (4" A 8" COLUMNA H2O)			1744.00 PA
6	DUCTO		60.84 PA	
	ARREGLOS	238.17 PA	71.45 PA	132.30 PA
7	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	238.17 PA	238.17 PA	238.17 PA

TABLA 26  
**COLECTOR DE POLVO (FILTRO DE LA PILA INTERMEDIA)**

ENTRADA Y DISTRIBUCIÓN DE FLUJO	
<b>UNA SOLA ENTRADA</b>	
<b>AUSENCIA DE DEFLECTORES</b>	
<b>VELOCIDAD DE ENTRADA ALTA</b>	
RELACIÓN AIRE-TELA	
ÁREA TOTAL FILTRANTE	RELACIÓN AIRE-TELA
<b>145.93 M<sup>2</sup></b>	<b>1.54 M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>/MIN</b>
VELOCIDAD ASCENDENTE	
ÁREA ENTRE MANGAS	VELOCIDAD ASCENDENTE
<b>2.76 M<sup>2</sup></b>	<b>1.36 M/S</b>
DIMENSIONAMIENTO DE MANGAS	
RELACIÓN L/D ≤ 25	<b>16.67</b>
<b>POSICIÓN DE LAS COSTURAS</b>	<b>NO UNIFORME</b>
DISTANCIA ENTRE MANGAS	
<b>A LO ANCHO</b>	<b>46.00 MM</b>
<b>A LO LARGO</b>	<b>47.02 MM</b>
NÚMERO DE MANGAS POR COLUMNA	
<b>A LO ANCHO</b>	<b>10 MANGAS</b>
<b>A LO LARGO</b>	<b>12 MANGAS</b>
CANASTILLAS	
<b>12 VARILLAS VERTICALES</b>	
FIJACIÓN DE LAS MANGAS	
<b>FLEJE METÁLICO</b>	
CRITERIO DE SELECCIÓN PARA LA TELA DE FILTRADO	
ASPECTO	NECESIDAD
<b>TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN</b>	<b>70°C</b>
<b>ABRASIÓN</b>	<b>BUENO</b>
<b>ABSORCIÓN DE ENERGÍA</b>	<b>BUENO</b>
<b>PROPIEDADES DE FILTRACIÓN</b>	<b>EXCELENTE</b>
<b>CALOR HÚMEDO</b>	<b>SIN PRESENCIA</b>
<b>ALCALINOS</b>	<b>SIN PRESENCIA</b>
<b>ÁCIDOS REGULARES</b>	<b>SIN PRESENCIA</b>
<b>COSTO RELATIVO</b>	<b>BAJO</b>

VENTURIS
<b>UBICACIÓN VERSUS FLAUTA TAN 7°=D/X</b>
TOLVA DE DESCARGA
<b>INCLINACIÓN MAYOR A 55°</b>
VÁLVULAS A LA SALIDA
<b>TORNILLO SIN FIN</b>
CÁMARA LIMPIA
<b>WALK IN PLENUM</b>

TABLA 27  
SELECCIÓN DEL VENTILADOR (FILTRO DE LA PILA INTERMEDIA)

<b>AUSENCIA DE DAMPERS</b>		
<b>ALETAS CURVAS HACIA DELANTE</b>		
<b>DIMENSIONES DEL DIFUSOR A LA SALIDA</b>	<b>ANCHO</b>	<b>LARGO</b>
	<b>500 MM</b>	<b>500 MM</b>
<b>PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR</b>	<b>PRESIÓN TOTAL DEL VENTILADOR</b>	<b>PRESIÓN DE VELOCIDAD A LA SALIDA DEL VENTILADOR</b>
<b>3314.34 PA</b>	<b>3449.85 PA</b>	<b>135.51 PA</b>

TABLA 28  
CONTROL DE LIMPIEZA (FILTRO DE LA PILA INTERMEDIA)

<b>POR TIEMPO</b>	<b>30 SEG</b>
<b>FILAS SECUENCIALES DE LIMPIEZA, SIN MEMORIA</b>	
<b>DURACIÓN DEL DISPARO</b>	<b>0.15 SEG</b>

### EVALUACIÓN DE LA INSTALACIÓN

- LA CAPACIDAD INSTALADA DEL FILTRO CUBRE EL VALOR REQUERIDO DE FLUJO DE AIRE DE 13525,50 M<sup>3</sup>/H PARA DESEMPOLVAR LOS 3 PUNTOS DEL SISTEMA.

- LAS DIMENSIONES ACTUALES DE LAS CAMPANAS UBICADAS A 600 MM DEL MATERIAL EN SU PUNTO MÁS LEJANO, NO DA COMO RESULTADO VELOCIDADES DE CAPTURA POR DEBAJO DE 1.4 M/S EN DOS PUNTOS DEL SISTEMA, MIENTRAS QUE EN EL TERCER PUNTO LA VELOCIDAD ES 1.85 M/S; SI BIEN ES CIERTO QUE ESTAS VELOCIDADES ESTÁN DENTRO DEL RANGO, Y HASTA CIERTO PUNTO SON PERMISIBLES, 1.4 M/S DA MEJORES RESULTADOS.
  
- EXISTEN DIFERENCIAS EN LOS DIÁMETROS DE LOS DUCTOS PARA OBTENER 18 M/S; SÓLO LAS SECCIONES 4, 6 Y 7 ESTÁN CERCA DE ESE VALOR PERO POR ENCIMA (APROXIMADAMENTE 20 M/S). LAS VELOCIDADES DE CAPTURA Y DE TRANSPORTE EN LA COLA DE LA BANDA SON MUY BAJAS, Y ESTO SE AJUSTA A LA REALIDAD, MUCHO MATERIAL DERRAMADO SE ENCUENTRA EN ESTA PARTE DEL SISTEMA, POR FALTA DE SUCCIÓN.
  
- POR LA INFRAESTRUCTURA DE LA PILA INTERMEDIA, LOS DUCTOS DEL SISTEMA PRÁCTICAMENTE SE ENCUENTRAN EN POSICIÓN HORIZONTAL A LO LARGO

**DE CASI 40M DE DUCTERÍA. PERO EN ESTE CASO, LA POCA INCLINACIÓN QUE TIENE ES LA MÁXIMA QUE PERMITE LA UBICACIÓN.**

- **EL SISTEMA ESTÁ DESBALANCEADO; DIFERENTES CAÍDAS DE PRESIÓN EN LOS PUNTOS DONDE CONVERGEN 2 TUBERÍAS SE PRESENTAN.**
- **LA VELOCIDAD DE ENTRADA AL COLECTOR ES 28.18 M/S, Y RESULTA MUY ALTA, MÁS AÚN SI NO TENEMOS DEFLECTORES PARA DISTRIBUIR EL FLUJO Y TAMBIÉN REDUCIENDO LA VELOCIDAD.**
- **LA RELACIÓN AIRE-TELA Y LA VELOCIDAD ASCENDENTE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL RANGO DE OPERACIÓN DESEADO. NO HAY OBSERVACIONES RESPECTO A ELLAS.**
- **LA DISTANCIA ENTRE MANGAS ES MENOR A 50 MM.**
- **LA POSICIÓN DE LAS MANGAS NO ES UNIFORME; LAS COSTURAS NO ESTÁN A 45° DEL PASILLO COMO SE RECOMIENDA PARA EVITAR SU DESGASTE PREMATURO**

**DEBIDO A LA LIMPIEZA. EN CUANTO A LAS CANASTILLAS, FIJACIÓN Y MATERIAL DE LAS MANGAS, VENTURIS Y TOLVA DE DESCARGA NO HAY OBSERVACIONES.**

- **LA SALIDA DE LA TOLVA DE DESCARGA TIENE UN TORNILLO SIN FIN, CON UNA VÁLVULA DOBLE PÉNDULO A LA SALIDA QUE NO FUNCIONA CORRECTAMENTE. UNA DE LAS COMPUERTAS SE ENCUENTRA ATORADA PERMITIENDO LA ENTRADA DE AIRE FALSO.**
  
- **LA PRESIÓN ESTÁTICA REQUERIDA DEL VENTILADOR BAJO LAS ACTUALES CONDICIONES ES DE 3314.34 PA. ESTE VALOR ES MAYOR EN 371.34 PA CON RESPECTO A LA PRESIÓN ESTÁTICA DE DISEÑO DEL VENTILADOR INSTALADO. ESTE VALOR REPRESENTA 10873.67 M<sup>3</sup>/H DE CAPACIDAD DEL VENTILADOR, VOLVIENDO AL SISTEMA MENOS EFICIENTE.**

#### **RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN**

- SE PUEDE VARIAR LA GEOMETRÍA DE LA CAMPANA DE CAPTURA O VARIAR SU POSICIÓN CON RESPECTO AL MATERIAL. NINGUNO DE LOS ANCHOS DE CAMPANA COINCIDE CON EL ANCHO DEL PUNTO A DESEMPOLVAR.
- EN CUANTO A LA SECCIÓN DE DUCTO HORIZONTAL, UNA ALTERNATIVA SERÍA MANTENER LA VELOCIDAD PROMEDIO EN EL DUCTO POR ENCIMA DE LOS 20 M/S PROTEGIENDO LOS PUNTOS EN DONDE HAYA CAMBIOS DE DIRECCIÓN CON PLANCHAS ANTIDESGASTE.
- SE RECOMIENDA BALANCEAR EL SISTEMA, REVISAR LOS DIÁMETROS DE LOS DUCTOS, VELOCIDADES DE TRANSPORTE Y PRESIONES PARA TENER MENOS PÉRDIDAS Y HACER EL SISTEMA MÁS EFICIENTE.

TABLA 29  
PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR SECCIONES A 18 M/S

SECCIÓN DE DUCTO	ELEMENTOS	PRESIÓN DE VELOCIDAD	PÉRDIDA DE PRESIÓN	PÉRDIDA DE PRESIÓN DE LA SECCIÓN
1	DUCTO		1181.83 PA	

	ARREGLOS	194.40 PA	-190.51 PA	991.32 PA
2	DUCTO		58.65 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	171.07 PA	229.73 PA
3	DUCTO		184.55 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	66.10 PA	250.64 PA
4	DUCTO		80.71 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	-104.98 PA	-24.26 PA
5	DUCTO		71.03 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	17.50 PA	88.52 PA
X	COLECTOR (4" A 8" COLUMNA H2O)			1744.00 PA
6	DUCTO		47.81 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	58.32 PA	106.13 PA
7	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	194.40 PA	194.40 PA

TABLA 30  
SELECCIÓN DEL VENTILADOR CON  
VELOCIDADES BALANCEADAS

DIMENSIONES DEL DIFUSOR A LA SALIDA	ANCHO 500 MM	LARGO 500 MM
PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR	PRESIÓN TOTAL DEL VENTILADOR	PRESIÓN DE VELOCIDAD A LA SALIDA DEL VENTILADOR
2477.91 PA	2613.42 PA	135.51 PA

- LA COLOCACIÓN DE DEFLECTORES Y HACER LA ENTRADA AL COLECTOR DE MAYOR DIÁMETRO SERÍAN ALTERNATIVAS RAZONABLES.

- **CONSIDERANDO LA DISTANCIA ENTRE MANGAS, SI BIEN ES CIERTO, LA VELOCIDAD ASCENDENTE ESTÁ EN EL LÍMITE SUPERIOR, SE PODRÍA SEPARAR LAS MANGAS Y CON ESTO LA VELOCIDAD ASCENDENTE BAJARÍA LIGERAMENTE, PERO MANTENIÉNDOSE DENTRO DE LOS VALORES ACEPTABLES.**
  
- **SE RECOMIENDA INSTALAR EL CONTROL DE LIMPIEZA POR DEMANDA EN LUGAR DEL CONTROL DE LIMPIEZA POR TIEMPO QUE SE ENCUENTRA ACTUALMENTE.**

### 3.3. FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS TRITURADORAS SECUNDARIAS

#### **CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN**

**TABLA 31**  
**CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DEL FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS TRITURADORAS SECUNDARIAS**

FILTRO DE MANGAS	
<b>TIPO</b>	<b>PULSE JET</b>
<b>CANTIDAD DE MANGAS</b>	<b>264 UN</b>
<b>DIÁMETRO DE MANGAS</b>	<b>6.00 PULG</b>
<b>LONGITUD DE MANGAS</b>	<b>100.00 PULG</b>
<b>NÚMERO DE CÁMARAS</b>	<b>1 UN</b>
<b>ANCHO DE CÁMARA</b>	<b>4.50 M</b>   <b>24 MANGAS</b>
<b>LARGO DE CÁMARA</b>	<b>2.44 M</b>   <b>11 MANGAS</b>
<b>MATERIAL DE LAS MANGAS</b>	<b>POLIÉSTER SILICONIZADO</b>
<b>CAPACIDAD EFECTIVA DEL FILTRO</b>	<b>20600.00 M3/H</b>

<b>CAPACIDAD DEL VENTILADOR</b>	<b>36000.00 M3/H</b>
<b>PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR</b>	<b>305.00 MMCDA 2992.05 PA</b>
<b>VELOCIDAD DEL VENTILADOR</b>	<b>994.00 RPM</b>
<b>TEMPERATURA DE OPERACIÓN</b>	<b>70 °C</b>
<b>MÁXIMA ADMISIBLE</b>	

<b>PUNTOS A DESEMPOLVAR</b>	<b>ANCHO DE LA BANDA/ALIMENTADOR DE PLACAS</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT4</b>	<b>42 "</b>
<b>DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACAS CB.211-DP3</b>	<b>42 "</b>
<b>DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACAS CB.211-DP4</b>	<b>42 "</b>
<b>COLA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7</b>	<b>42 "</b>
<b>ALIMENTACIÓN TOLVA 211-TL2</b>	<b>N/A</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7</b>	<b>42 "</b>
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT3</b>	<b>48 "</b>
<b>ALIMENTACIÓN ZARANDA CB.211-CV1(2,40 M X 7 M)</b>	<b>16.80 M2</b>

## ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN

<u>TABLA 32</u>	
<u>CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO DE ACUERDO AL EQUIPO A DESEMPOLVAR (FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS TRITURADORAS SECUNDARIAS)</u>	
<u>(EN BASE A LA TABLA 4)</u>	
<b>SECCIÓN A</b>	<b>40.00%</b>
<b>SECCIÓN B</b>	<b>42.50%</b>
<b>SECCIÓN C</b>	<b>17.50%</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT4</b>	<b>2833.69 M3/H</b>

DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACAS CB.211-DP3	2971.80 M3/H
DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACAS CB.211-DP4	2971.80 M3/H
COLA BANDA TRANSPORTADORA CB.211- BT7	1166.81 M3/H
ALIMENTACIÓN TOLVA 211-TL2	2500.00 M3/H
ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7	2833.69 M3/H
DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT3	3048.00 M3/H
ALIMENTACIÓN ZARANDA CB.211-CV1(2,40 M X 7 M)	7560.00 M3/H
<b>TOTAL CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO</b>	<b>25885.79 M3/H</b>

**TABLA 33**  
**CAMPANA DE CAPTURA (FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS TRITURADORAS**  
**SECUNDARIAS)**

UBICACIÓN DE LA CAMPANA				
	ANCHO DE LA CAMPAN A	LARGO DE LA CAMPAN A	VELOCID AD DE CAPTURA	DISTAN CIA MÁXIM A
<b>DISTANCIA ACTUAL X= 600 MM</b>				
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT4</b>	<b>1.50 M</b>	<b>0.58 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0 M</b>
<b>DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACAS CB.211-DP3</b>	<b>0.75 M</b>	<b>0.75 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0.16 M</b>
<b>DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACAS CB.211-DP4</b>	<b>0.75 M</b>	<b>0.75 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0.16 M</b>
<b>COLA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7</b>	<b>0.44 M</b>	<b>0.44 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0.19 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN TOLVA 211- TL2</b>	<b>0.75 M</b>	<b>0.75 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7</b>	<b>0.60 M</b>	<b>0.65 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0.42 M</b>
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT3</b>	<b>0.95 M</b>	<b>0.48 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0.39 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN ZARANDA</b>	<b>0.53 M</b>	<b>0.40 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>1.13 M</b>

CB.211-CV1(2,40 M X 7 M)

VELOCIDAD DE CAPTURA A 600MM

<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT4</b>	<b>0.64 M/S</b>
<b>DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACAS CB.211-DP3</b>	<b>0.89 M/S</b>
<b>DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACAS CB.211-DP4</b>	<b>0.89 M/S</b>
<b>COLA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7</b>	<b>0.59 M/S</b>
<b>ALIMENTACIÓN TOLVA 211-TL2</b>	<b>0.75 M/S</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7</b>	<b>1.05 M/S</b>
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT3</b>	<b>1.04 M/S</b>
<b>ALIMENTACIÓN ZARANDA CB.211-CV1(2,40 M X 7 M)</b>	<b>3.67 M/S</b>

ANCHO DE LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN

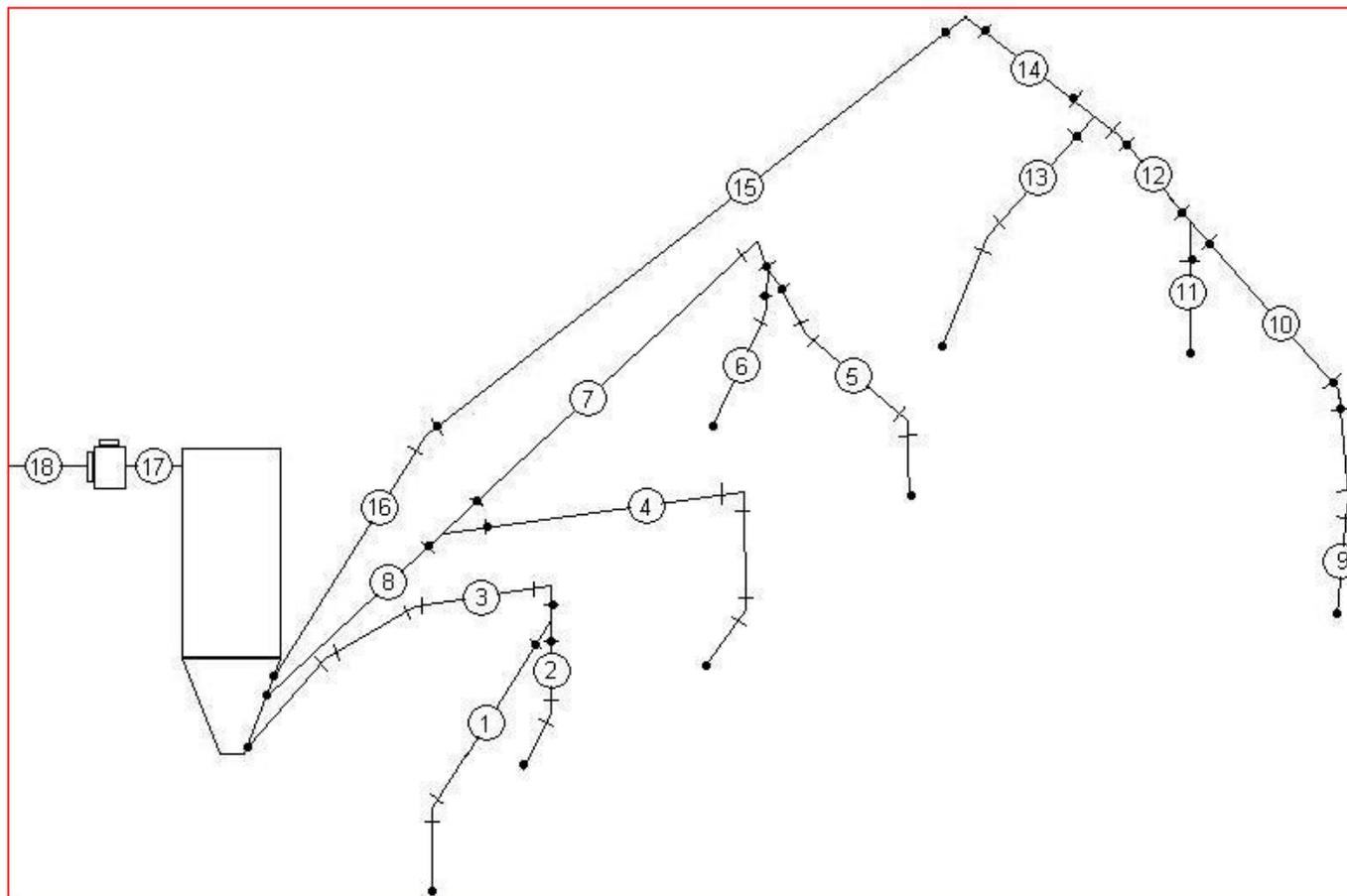
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT4</b>	<b>0.96 M</b>
<b>DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACAS CB.211-DP3</b>	<b>0.96 M</b>
<b>DESCARGA ALIMENTADOR DE PLACAS CB.211-DP4</b>	<b>0.96 M</b>
<b>COLA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7</b>	<b>0.96 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN TOLVA 211-TL2</b>	<b>4.00 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7</b>	<b>0.96 M</b>
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT3</b>	<b>1.06 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN ZARANDA CB.211-CV1(2,40 M X 7 M)</b>	<b>2.40 M</b>

TABLA 34  
DISEÑO DE DUCTOS (FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS TRITURADORAS SECUNDARIAS)  
ANÁLISIS DE PRESIONES EN DUCTOS

DENSIDAD AIRE	VISCOSIDAD CINEMÁTICA	VELOCIDADES						
SECCIÓN DE DUCTO	FLUJO REQUERIDO	LONGITUD DE LA SECCIÓN	VELOCIDAD REQUERIDA DE TRANSPORTE	DIÁMETRO REQUERIDO DE DUCTO	DIÁMETRO ACTUAL	VELOCIDAD ACTUAL	REYNOLDS	FACTOR DE FRICCIÓN
1.20 KG/M3	0.0016 M2/S							
1	7560.00 M3/H	4000 MM	18 M/S	385.41 MM	261.00 MM	39.25 M/S	6402.77	0.0353
2	3048.00 M3/H	2000 MM	18 M/S	244.72 MM	310.00 MM	11.22 M/S	2173.40	0.0294
3	10608.00 M3/H	10000 MM	18 M/S	456.55 MM	315.00 MM	37.81 M/S	7444.06	0.0340
4	1166.81 M3/H	7200 MM	18 M/S	151.41 MM	275.00 MM	5.46 M/S	937.90	0.0682
5	2833.69 M3/H	7000 MM	18 M/S	235.96 MM	266.00 MM	14.16 M/S	2354.82	0.0454
6	2500.00 M3/H	6000 MM	18 M/S	221.63 MM	314.00 MM	8.97 M/S	1759.94	0.0364
7	5333.69 M3/H	4000 MM	18 M/S	323.73 MM	334.00 MM	16.91 M/S	3529.94	0.0410
8	6500.50 M3/H	6000 MM	18 M/S	357.39 MM	337.00 MM	20.24 M/S	4263.87	0.0391
9	2833.69 M3/H	6000 MM	18 M/S	235.96 MM	369.00 MM	7.36 M/S	1697.51	0.0377
10	2833.69 M3/H	6160 MM	18 M/S	235.96 MM	314.00 MM	10.16 M/S	1994.84	0.0321
11	2971.80 M3/H	3000 MM	18 M/S	241.64 MM	329.00 MM	9.71 M/S	1996.69	0.0321
12	5805.49 M3/H	1000 MM	18 M/S	337.74 MM	411.00 MM	12.16 M/S	3122.36	0.0423
13	2971.80 M3/H	6000 MM	18 M/S	241.64 MM	329.00 MM	9.71 M/S	1996.69	0.0321
14	8777.29 M3/H	6000 MM	18 M/S	415.29 MM	415.00 MM	18.02 M/S	4675.19	0.0382
15	8777.29 M3/H	6000 MM	18 M/S	415.29 MM	403.00 MM	19.11 M/S	4814.40	0.0379
16	8777.29 M3/H	3200 MM	18 M/S	415.29 MM	465.00 MM	14.36 M/S	4172.48	0.0393
17	25885.79 M3/H	0 MM	18 M/S	713.18 MM	465.00 MM	42.34 M/S	12305.38	0.0300

18	25885.79 M3/H	0 MM	18 M/S	713.18 MM	465.00 MM	42.34 M/S	12305.38	0.0300
----	------------------	------	--------	-----------	-----------	-----------	----------	--------

---



**FIGURA 4.5. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS TRITURADORAS SECUNDARIAS**

TABLA 35  
COEFICIENTES DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS POR SECCIONES (FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS  
TRITURADORAS SECUNDARIAS)

SECCIÓN DE DUCTO	ACCESORIOS	PARÁMETROS	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
<b>1</b>	CAMPANA 530X400, 60°	60°	0.08
	CODO 60°, 3 SECCIONES	CD3-13	0.15
	UNIÓN 45°, SECUNDARIA	ED5-2	0.68
<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>			<b>0.91</b>
<b>2</b>	CAMPANA 950X480, 60°	60°	0.08
	CODO 45°, 2 SECCIONES	CD3-17	0.34
	UNIÓN 45°, PRINCIPAL	ED5-2	0.06
<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>			<b>0.48</b>
<b>3</b>	CODO 90°, 3 SECCIONES	CD3-12	0.34
	CODO 45°, 3 SECCIONES	CD3-14	0.11
	CODO 45°, 2 SECCIONES	CD3-17	0.34
<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>			<b>0.79</b>
<b>4</b>	CAMPANA 440X440, 60°	60°	0.08

	CODO 90°, 3 SECCIONES	CD3-12	0.34
	CODO 45°, 3 SECCIONES	CD3-14	0.11
	UNIÓN 45°, SECUNDARIA	ED5-2	-135.63
	SUMA DE COEFICIENTES		-135.1
5	CODO 45°, 2 SECCIONES	CD3-17	0.34
	UNIÓN 45°, PRINCIPAL	ED5-2	0.18
	CODO 45°, 2 SECCIONES	CD3-17	0.34
	CAMPANA 600X650, 60°	60°	0.08
	SUMA DE COEFICIENTES		0.94
6	UNIÓN 45°, SECUNDARIA	ED5-2	0.68
	CODO 45°, 3 SECCIONES	CD3-14	0.11
	SUMA DE COEFICIENTES		0.79
7	UNIÓN 45°, PRINCIPAL	ED5-2	0.09
	CODO 90°, 3 SECCIONES	CD3-12	0.34
	SUMA DE COEFICIENTES		0.43
8	*NO HAY ACCESORIOS		
	SUMA DE COEFICIENTES		0
9	CAMPANA 580X1500, 120°	120°	0.26

	CODO 45°, 3 SECCIONES	CD3-14	0.11
	SUMA DE COEFICIENTES		0.37
10	UNIÓN 45°, PRINCIPAL	ED5-2	0.3
	CODO 45°, 2 SECCIONES	CD3-17	0.34
	SUMA DE COEFICIENTES		0.64
11	UNIÓN 45°, SECUNDARIA	ED5-2	-0.34
	CAMPANA 750X750, 60°	60°	0.08
	SUMA DE COEFICIENTES		-0.26
12	CODO 45°, 3 SECCIONES	CD3-14	0.09
	UNIÓN 45°, PRINCIPAL	ED5-2	0.01
	SUMA DE COEFICIENTES		0.1
13	UNIÓN 45°, SECUNDARIA	ED5-2	0.07
	CODO 45°, 2 SECCIONES	CD3-17	0.34
	CAMPANA 750X750, 60°	60°	0.08
	SUMA DE COEFICIENTES		0.49
14	*NO HAY ACCESORIOS		
	SUMA DE COEFICIENTES		0
15	CODO 45°, 3 SECCIONES	CD3-14	0.09

	<b>CODO 90°, 3 SECCIONES</b>	<b>CD3-12</b>	<b>0.34</b>
	<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>		<b>0.43</b>
<b>16</b>	<b>*NO HAY ACCESORIOS</b>		
	<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>		<b>0</b>
<b>17</b>	<b>DIFUSOR SALIDA 600X400</b>	<b>SR7-1</b>	<b>1</b>
	<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>		<b>1</b>
<b>18</b>	<b>DIFUSOR SALIDA 500X500</b>	<b>SR7-1</b>	<b>1</b>
	<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>		<b>1</b>

**TABLA 36**  
**PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR SECCIONES (FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS TRITURADORAS SECUNDARIAS)**

<b>SECCIÓN DE DUCTO</b>	<b>ELEMENTOS</b>	<b>PRESIÓN DE VELOCIDAD</b>	<b>PÉRDIDA DE PRESIÓN</b>	<b>PÉRDIDA DE PRESIÓN DE LA SECCIÓN</b>
<b>1</b>	<b>DUCTO</b>		<b>500.61 PA</b>	
	<b>ARREGLOS</b>	<b>924.37 PA</b>	<b>841.18 PA</b>	<b>1341.79 PA</b>
<b>2</b>	<b>DUCTO</b>		<b>14.34 PA</b>	
	<b>ARREGLOS</b>	<b>75.50 PA</b>	<b>36.24 PA</b>	<b>50.58 PA</b>
<b>3</b>	<b>DUCTO</b>		<b>926.72 PA</b>	
	<b>ARREGLOS</b>	<b>857.81 PA</b>	<b>677.67 PA</b>	<b>1604.39 PA</b>
<b>4</b>	<b>DUCTO</b>		<b>31.92 PA</b>	
	<b>ARREGLOS</b>	<b>17.87 PA</b>	<b>-2413.74 PA</b>	<b>-2381.82 PA</b>
<b>5</b>	<b>DUCTO</b>		<b>143.75 PA</b>	

	ARREGLOS	120.38 PA	113.15 PA	256.90 PA
6	DUCTO		33.53 PA	
	ARREGLOS	48.25 PA	38.12 PA	71.65 PA
7	DUCTO		84.26 PA	
	ARREGLOS	171.57 PA	73.77 PA	158.04 PA
8	DUCTO		171.25 PA	
	ARREGLOS	245.89 PA	0.00 PA	171.25 PA
9	DUCTO		19.93 PA	
	ARREGLOS	32.51 PA	12.03 PA	31.95 PA
10	DUCTO		39.02 PA	
	ARREGLOS	61.99 PA	39.68 PA	78.69 PA
11	DUCTO		16.54 PA	
	ARREGLOS	56.57 PA	-14.71 PA	1.83 PA
12	DUCTO		9.12 PA	
	ARREGLOS	88.65 PA	8.86 PA	17.99 PA
13	DUCTO		33.07 PA	
	ARREGLOS	56.57 PA	27.72 PA	60.79 PA
14	DUCTO		107.74 PA	
	ARREGLOS	194.94 PA	0.00 PA	107.74 PA
15	DUCTO		123.85 PA	
	ARREGLOS	219.21 PA	94.26 PA	218.11 PA
16	DUCTO		33.47 PA	
	ARREGLOS	123.67 PA	0.00 PA	33.47 PA
X	COLECTOR (4" A 8" COLUMNA H2O)			1744.00 PA
17	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	1075.66 PA	1075.66 PA	1075.66 PA
18	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	1075.66 PA	1075.66 PA	1075.66 PA

TABLA 37  
COLECTOR DE POLVO (FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS TRITURADORAS  
SECUNDARIAS)

ENTRADA Y DISTRIBUCIÓN DE FLUJO	
<b>TRES ENTRADAS SOBRE EL MISMO LADO</b>	
<b>AUSENCIA DE DEFLECTORES</b>	
<b>VELOCIDADES DE ENTRADA ALTAS (2 DE 3)</b>	
RELACIÓN AIRE-TELA	
ÁREA TOTAL FILTRANTE	RELACIÓN AIRE-TELA
<b>321.05 M2</b>	<b>1.34 M3/M2/MIN</b>
VELOCIDAD ASCENDENTE	
ÁREA ENTRE MANGAS	VELOCIDAD ASCENDENTE
<b>6.16 M2</b>	<b>1.17 M/S</b>
DIMENSIONAMIENTO DE MANGAS	
RELACIÓN L/D<=25	<b>16.67</b>
<b>POSICIÓN DE LAS COSTURAS</b>	<b>NO UNIFORME</b>
DISTANCIA ENTRE MANGAS	
<b>A LO ANCHO</b>	<b>33.70 MM</b>
<b>A LO LARGO</b>	<b>63.63 MM</b>
NÚMERO DE MANGAS POR COLUMNA	
<b>A LO ANCHO</b>	<b>24 MANGAS</b>
<b>A LO LARGO</b>	<b>11 MANGAS</b>
CANASTILLAS	
<b>12 VARILLAS VERTICALES</b>	
FIJACIÓN DE LAS MANGAS	
<b>FLEJE METÁLICO</b>	
CRITERIO DE SELECCIÓN PARA LA TELA DE FILTRADO	
ASPECTO	NECESIDAD
<b>TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN</b>	<b>70°C</b>
<b>ABRASIÓN</b>	<b>BUENO</b>
<b>ABSORCIÓN DE ENERGÍA</b>	<b>BUENO</b>
<b>PROPIEDADES DE FILTRACIÓN</b>	<b>EXCELENTE</b>
<b>CALOR HÚMEDO</b>	<b>SIN PRESENCIA</b>
<b>ALCALINOS</b>	<b>SIN PRESENCIA</b>
<b>ÁCIDOS REGULARES</b>	<b>SIN PRESENCIA</b>
<b>COSTO RELATIVO</b>	<b>BAJO</b>

VENTURIS
<b>UBICACIÓN VERSUS FLAUTA TAN 7°=D/X</b>
TOLVA DE DESCARGA
<b>INCLINACIÓN MAYOR A 55°</b>
VÁLVULAS A LA SALIDA
<b>TORNILLO SIN FIN</b>
CÁMARA LIMPIA
<b>WALK IN PLENUM</b>

**TABLA 38**  
**SELECCIÓN DEL VENTILADOR (FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS**  
**TRITURADORAS SECUNDARIAS)**

<b>AUSENCIA DE DAMPERS</b>		
<b>ALETAS CURVAS HACIA DELANTE</b>		
<b>DIMENSIONES DEL DIFUSOR A LA SALIDA</b>	<b>ANCHO</b> 500 MM	<b>LARGO</b> 500 MM
<b>PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR</b>	<b>PRESIÓN TOTAL DEL VENTILADOR</b>	<b>PRESIÓN DE VELOCIDAD A LA SALIDA DEL VENTILADOR</b>
4680.95 PA	5177.30 PA	496.35 PA

**TABLA 39**  
**CONTROL DE LIMPIEZA (FILTRO DEL EDIFICIO DE LAS TRITURADORAS**  
**SECUNDARIAS)**

<b>POR TIEMPO</b>	<b>30 SEG</b>
<b>FILAS SECUENCIALES DE LIMPIEZA, SIN MEMORIA</b>	
<b>DURACIÓN DEL DISPARO</b>	<b>0.15 SEG</b>

### **EVALUACIÓN DE LA INSTALACIÓN**

- LA CAPACIDAD EFECTIVA INSTALADA DEL FILTRO ESTÁ POR DEBAJO DEL VALOR REQUERIDO. EL

**SISTEMA EN LA ACTUALIDAD REQUIERE DE 26000 M<sup>3</sup>/H APROXIMADAMENTE VS. LOS 20600 M<sup>3</sup>/H DE LA INSTALACIÓN. EL LÍMITE DE PUNTOS A DESEMPOLVAR ES EL MÁXIMO RECOMENDADO, 8 POR SISTEMA.**

- **EXISTEN 2 PUNTOS EN DONDE LA UBICACIÓN DE LA CAMPANA, PARA OBTENER 1.4 M/S DE VELOCIDAD DE CAPTURA, TENDRÍA QUE SER AL MENOS AL NIVEL DEL MATERIAL. NINGUNO DE LOS PUNTOS DE DESEMPOLVADO ESTÁ CUBIERTO A LO ANCHO POR LA CAMPANA DE CAPTURA, Y LA VELOCIDAD CON LA GEOMETRÍA ACTUAL A 600MM ESTÁ POR DEBAJO DE 1.4 M/S.**
  
- **DE LAS 18 SECCIONES EN QUE SE HA DIVIDIDO EL SISTEMA, SÓLO 3 SECCIONES TIENEN VALORES DE VELOCIDADES CERCANOS A 18 M/S; LOS RANGOS DE VELOCIDADES SE ENCUENTRAN DESDE LOS 5.46 M/S HASTA LOS 42.34 M/S, VELOCIDADES QUE ESTÁN MUY POR FUERA DE LA RECOMENDADA. LOS PUNTOS DE MÁS BAJAS VELOCIDADES SON LOS PUNTOS 4 Y 9, QUE SI SE OBSERVAN EN EL CAMPO, SON LOS PUNTOS DE**

**MAYOR EMISIÓN DE ESTE SISTEMA. LAS PARTÍCULAS NO GANAN VELOCIDAD Y FLOTAN EN LA DESCARGA ESCAPANDO AL AMBIENTE. SEGUIDO A ELLOS, LOS PUNTOS 11 Y 13 TAMBIÉN CUENTAN CON UNA VELOCIDAD DE CAPTURA MUY BAJA, Y DEBIDO A ESTO, EN CONJUNTO LOS PUNTOS 9, 11 Y 13 QUE SE ENCUENTRAN MUY CERCA UNO DE OTRO EN EL SITIO, GENERAN UNA CANTIDAD DE POLVO TAL QUE SE FORMAN PILAS DE MATERIAL EN EL PISO.**

- **SE ENCUENTRAN PUNTOS DE ENTRADA DE AIRE FALSO EN LAS DESCARGAS Y COMPUERTAS DE INSPECCIÓN. TAMBIÉN, HAY DETALLES EN CIERTAS SOLDADURAS DE LAS SECCIONES DE LOS DUCTOS, COMO ABERTURAS O DESGASTES QUE PERMITEN IGUALMENTE LA ENTRADA DE AIRE FALSO AL SISTEMA.**
  
- **EN ESTE CASO, EL ANCHO DEL FILTRO ES DE 4.5 M, CON ESTO, PERMITE COLOCAR MÁS DE UNA ENTRADA SOBRE EL MISMO LADO DE LA TOLVA. PARA ESTE SISTEMA TENEMOS 3 ENTRADAS, 2 DE ELLAS TIENEN**

**VELOCIDADES ALTAS QUE AFECTAN LA TERCERA ENTRADA.**

- **LA DISTANCIA ENTRE MANGAS ES DE 34MM PARA EL ANCHO Y 64MM PARA EL LARGO. AUNQUE LA VELOCIDAD ASCENDENTE EN PROMEDIO SEA DE 1.17M/S, ESTAS SECCIONES DE 34MM PUEDEN GENERAR DESGASTES DEBIDO A LOS CICLOS DE LIMPIEZA QUE SE GENERAN Y EL MOVIMIENTO DE LAS MANGAS.**
- **EN ESTE COLECTOR SE TIENE 11 MANGAS POR FLAUTA, 12 VARILLAS VERTICALES PARA LAS CANASTILLAS, EL MATERIAL DE LA MANGA, POLIÉSTER SILICONIZADO ES EL CORRECTO PARA LA APLICACIÓN DE IGUAL MANERA QUE EN LOS CASOS ANTERIORES.**
- **A LA SALIDA DEL MATERIAL, NO EN ENCUENTRA VÁLVULA ALGUNA LUEGO DEL TORNILLO SIN FIN, GENERANDO ENTRADA DE AIRE FALSO.**
- **EL VENTILADOR INSTALADO TIENE UNA CAPACIDAD DE 36000 M<sup>3</sup>/H A UNA PRESIÓN ESTÁTICA DE 2992 PA. EN**

LAS CONDICIONES ACTUALES, LA PRESIÓN ESTÁTICA ES 4680.95 PA, REDUCIENDO EN GRAN NÚMERO EL MOVIMIENTO DE FLUJO EN EL SISTEMA.

#### RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN

- SE RECOMIENDA ANALIZAR UN CAMBIO EN LA GEOMETRÍA DE LAS CAMPANAS O BIEN, MODIFICAR SU POSICIÓN CON RESPECTO AL MATERIAL, PARA OBTENER LA VELOCIDAD DE CAPTURA REQUERIDA DE 1.4M/S
  
- SE RECOMIENDA BALANCEAR EL SISTEMA, CON EL OBJETIVO DE MANTENER UNA VELOCIDAD CONSTANTE A LO LARGO DE LOS DUCTOS O BIEN CERCANA AL VALOR ÓPTIMO. PARA ESTE EFECTO, SE PUEDE TRABAJAR EN LA DUCTERÍA VARIANDO LOS DIÁMETROS, O COLOCANDO PLACAS ORIFICIOS. COMO RESULTADO DE UN BALANCEO EN EL SISTEMA, SE TIENE LO SIGUIENTE:

TABLA 40  
PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR SECCIONES A 18 M/S

SECCIÓN DE DUCTO	ELEMENTOS	PRESIÓN DE VELOCIDAD	PÉRDIDA DE PRESIÓN	PÉRDIDA DE PRESIÓN DE LA SECCIÓN
1	DUCTO		78.59 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	176.90 PA	255.50 PA
2	DUCTO		69.33 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	93.31 PA	162.64 PA
3	DUCTO		158.99 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	153.58 PA	312.57 PA
4	DUCTO		347.31 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	-26263.44 PA	-25916.13 PA
5	DUCTO		253.97 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	182.74 PA	436.70 PA
6	DUCTO		235.42 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	153.58 PA	388.99 PA
7	DUCTO		97.74 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	83.59 PA	181.33 PA
8	DUCTO		129.56 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	0.00 PA	129.56 PA
9	DUCTO		217.69 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	71.93 PA	289.61 PA
10	DUCTO		223.49 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	124.42 PA	347.91 PA
11	DUCTO		105.65 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	-50.54 PA	55.11 PA
12	DUCTO		23.17 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	19.44 PA	42.61 PA
13	DUCTO		211.31 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	95.26 PA	306.56 PA
14	DUCTO		107.39 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	0.00 PA	107.39 PA
15	DUCTO		107.39 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	83.59 PA	190.98 PA
16	DUCTO		57.27 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	0.00 PA	57.27 PA
X	COLECTOR (4" A 8" COLUMNA H2O)			1744.00 PA
17	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	194.40 PA	194.40 PA
18	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	194.40 PA	194.40 PA

TABLA 41  
SELECCIÓN DEL VENTILADOR CON  
VELOCIDADES BALANCEADAS

<u>AUSENCIA DE DAMPERS</u>		
<u>ALETAS CURVAS HACIA DELANTE</u>		
<u>DIMENSIONES</u> <u>DEL DIFUSOR</u> <u>A LA SALIDA</u>	<u>ANCHO</u>	<u>LARGO</u>
	<b>500 MM</b>	<b>500 MM</b>
 <u>PRESIÓN</u> <u>ESTÁTICA</u> <u>DEL</u> <u>VENTILADOR</u>	 <u>PRESIÓN</u> <u>TOTAL DEL</u> <u>VENTILADOR</u>	 <u>PRESIÓN DE</u> <u>VELOCIDAD</u> <u>A LA SALIDA</u> <u>DEL</u> <u>VENTILADOR</u>
<b>2395.80 PA</b>	<b>2892.15 PA</b>	<b>496.35 PA</b>

- **CORREGIR LAS ENTRADAS DE AIRE FALSO EN UNIONES DE DUCTOS CON FALLAS EN LA SOLDADURA.**



**FIGURA 4.6. ENTRADA DE AIRE FALSO**

- **COLOCAR UNA VÁLVULA DOBLE PÉNDULO A LA SALIDA DEL TRANSPORTADOR SIN FIN PARA EVITAR LA ENTRADA DE AIRE FALSO EN LA DESCARGA DEL SISTEMA.**

- SE RECOMIENDA CAMBIAR EL SISTEMA DE CONTROL DE LIMPIEZA A UN SISTEMA DE CONTROL POR DEMANDA.

### 3.4. FILTRO DEL EDIFICIO DE TRANSFERENCIA

#### CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

<u>TABLA 42</u> <u>CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DEL FILTRO DEL EDIFICIO DE TRANSFERENCIA</u>	
FILTRO DE MANGAS	
<b>TIPO</b> <b>CANTIDAD DE MANGAS</b> <b>DIÁMETRO DE MANGAS</b> <b>LONGITUD DE MANGAS</b> <b>NÚMERO DE CÁMARA</b> <b>ANCHO DE CÁMARA</b> <b>LARGO DE CÁMARA</b> <b>MATERIAL DE LAS MANGAS</b> <b>CAPACIDAD EFECTIVA DEL FILTRO</b> <b>CAPACIDAD DEL VENTILADOR</b> <b>PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR</b> <b>VELOCIDAD DEL VENTILADOR</b> <b>TEMPERATURA DE OPERACIÓN MÁXIMA ADMISIBLE</b>	<b>PULSE JET</b> <b>72 UN</b> <b>6.00 PULG</b> <b>100.00 PULG</b> <b>1 UN</b> <b>1.22 M</b>   <b>6 MANGAS</b> <b>2.44 M</b>   <b>12 MANGAS</b> <b>POLIÉSTER SILICONIZADO</b> <b>8500.00 M3/H</b> <b>8500.00 M3/H</b> <b>300.00 MMCDA</b> <b>2943.00 PA</b> <b>1495.00 RPM</b> <b>70 °C</b>
PUNTOS A DESEMPOLVAR	ANCHO DE LA BANDA
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT9</b> <b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT4</b> <b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT5</b> <b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT8</b>	<b>48 "</b> <b>42 "</b> <b>48 "</b> <b>42 "</b>

DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA  
CB.211-BT7

42 "

### ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN

TABLA 43  
CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO DE ACUERDO AL EQUIPO A  
DESEMPOLVAR (FILTRO DEL EDIFICIO DE TRANSFERENCIA)

(EN BASE A LA TABLA 4)

SECCIÓN A	40.00%
SECCIÓN B	42.50%
SECCIÓN C	17.50%
ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT9	3238.50 M3/H
DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT4	2667.00 M3/H
ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT5	3238.50 M3/H
ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT8	2833.69 M3/H
DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7	2667.00 M3/H
TOTAL CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO	14644.69 M3/H

TABLA 44  
CAMPANA DE CAPTURA (FILTRO DEL EDIFICIO DE TRANSFERENCIA)

UBICACIÓN DE LA CAMPANA

	ANCHO DE LA CAMPAN A	LARGO DE LA CAMPAN A	VELOCIDA D DE CAPTURA	DISTANCI A MÁXIMA
DISTANCIA ACTUAL X= 600 MM				
ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT9	0.60 M	0.60 M	1.40 M/S	0.53 M
DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT4	0.64 M	0.64 M	1.40 M/S	0.35 M
ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA	0.55 M	0.50 M	1.40 M/S	0.61 M

<b>CB.211-BT5 ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT8 DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT7</b>	<b>0.44 M</b>	<b>0.99 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0.36 M</b>
	<b>1.20 M</b>	<b>0.44 M</b>	<b>1.40 M/S</b>	<b>0.03 M</b>

---

VELOCIDAD DE CAPTURA A 600MM

---

<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT9</b>	<b>1.25 M/S</b>
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211- BT4</b>	<b>0.96 M/S</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT5</b>	<b>1.42 M/S</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT8</b>	<b>0.99 M/S</b>
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211- BT7</b>	<b>0.83 M/S</b>

---

ANCHO DE LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN

---

<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT9</b>	<b>1.67 M</b>
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211- BT4</b>	<b>1.07 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT5</b>	<b>1.67 M</b>
<b>ALIMENTACIÓN BANDA TRANSPORTADORA CB.211-BT8</b>	<b>1.07 M</b>
<b>DESCARGA BANDA TRANSPORTADORA CB.211- BT7</b>	<b>1.07 M</b>

---

TABLA 45  
DISEÑO DE DUCTOS (FILTRO DEL EDIFICIO DE TRANSFERENCIA)

ANÁLISIS DE PRESIONES EN DUCTOS								
DENSIDAD AIRE	VISCOSIDAD CINEMÁTICA							
<b>1.20 KG/M3</b>	<b>0.0016 M2/S</b>							
VELOCIDADES								
SECCIÓN DE DUCTO	FLUJO REQUERIDO	LONGITUD DE LA SECCIÓN	VELOCIDAD REQUERIDA DE TRANSPORTE	DIÁMETRO REQUERIDO DE DUCTO	DIÁMETRO ACTUAL	VELOCIDAD ACTUAL	REYNOLDS	FACTOR DE FRICCIÓN
1	3238.50 M3/H	9000 MM	18 M/S	252.25 MM	258.00 MM	17.21 M/S	2774.67	0.0436
2	3238.50 M3/H	8000 MM	18 M/S	252.25 MM	260.00 MM	16.94 M/S	2753.32	0.0436
3	2667.00 M3/H	4000 MM	18 M/S	228.92 MM	260.00 MM	13.95 M/S	2267.44	0.0282
4	2667.00 M3/H	4000 MM	18 M/S	228.92 MM	347.00 MM	7.83 M/S	1698.95	0.0377
5	2833.69 M3/H	4500 MM	18 M/S	235.96 MM	260.00 MM	14.83 M/S	2409.16	0.0451
6	5905.50 M3/H	4000 MM	18 M/S	340.64 MM	260.00 MM	30.90 M/S	5020.77	0.0376
7	11406.19 M3/H	3000 MM	18 M/S	473.41 MM	424.00 MM	22.44 M/S	5946.50	0.0360
8	14644.69 M3/H	4000 MM	18 M/S	536.42 MM	414.00 MM	30.22 M/S	7819.27	0.0336
9	14644.69 M3/H	0 MM	18 M/S	536.42 MM	460.00 MM	24.48 M/S	7037.35	0.0345
10	14644.69 M3/H	0 MM	18 M/S	536.42 MM	460.00 MM	24.48 M/S	7037.35	0.0345

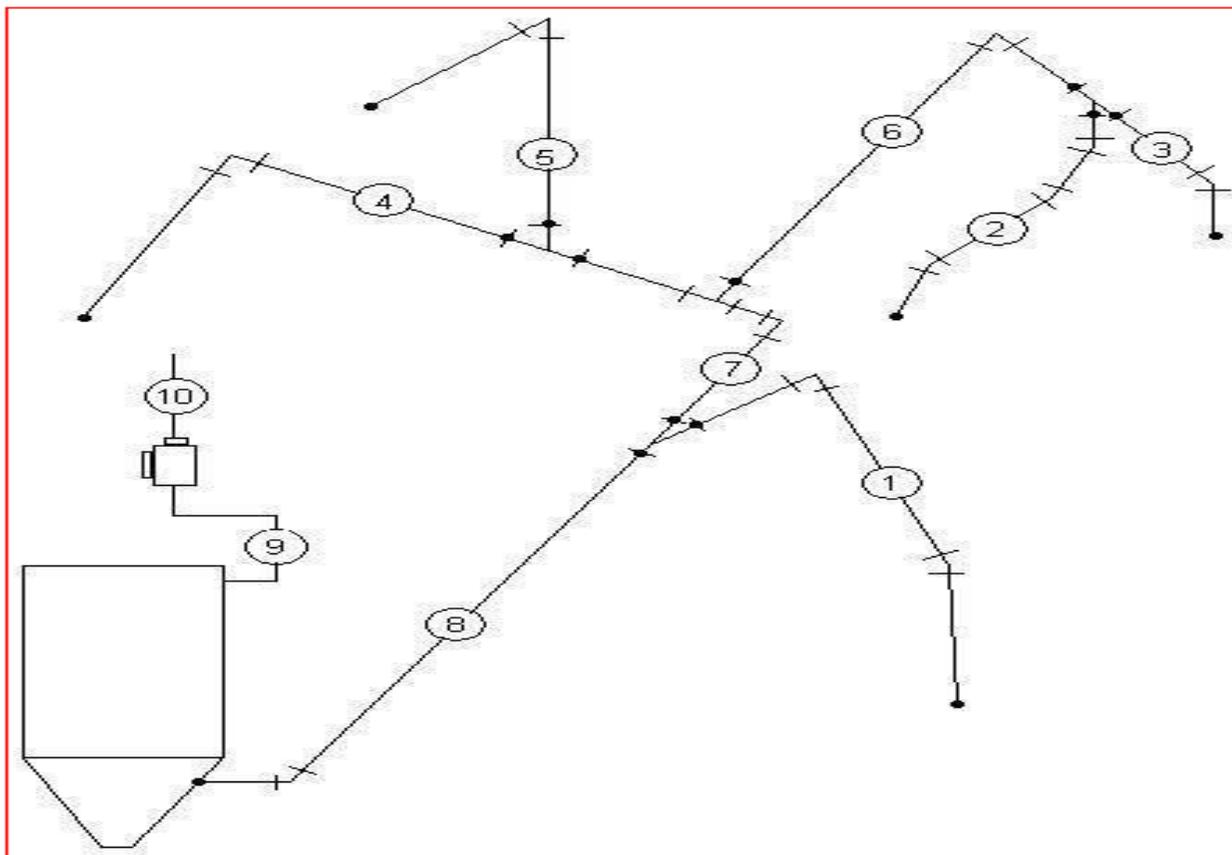


FIGURA 4.7. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL FILTRO DEL EDIFICIO DE TRANSFERENCIA

TABLA 46  
COEFICIENTES DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS POR SECCIONES (FILTRO DEL EDIFICIO DE TRANSFERENCIA)

SECCIÓN DE DUCTO	ACCESORIOS	PARÁMETROS	COEFICIENTE DE PÉRDIDAS
<b>1</b>	<b>CAMPANA 600X600, 60°</b>	<b>60°</b>	<b>0.08</b>
	<b>CODO 45°, 3 SECCIONES</b>	<b>CD3-14</b>	<b>0.13</b>
	<b>CODO 90°, 3 SECCIONES</b>	<b>CD3-12</b>	<b>0.34</b>
	<b>UNIÓN 30°, SECUNDARIA</b>	<b>ED5-2</b>	
	<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>		<b>0.55</b>
<b>2</b>	<b>CAMPANA 550X500, 60°</b>	<b>60°</b>	<b>0.08</b>
	<b>CODO 45°, 3 SECCIONES</b>	<b>CD3-14</b>	<b>0.12</b>
	<b>CODO 45°, 2 SECCIONES</b>	<b>CD3-17</b>	<b>0.34</b>
	<b>CODO 45°, 2 SECCIONES</b>	<b>CD3-17</b>	<b>0.34</b>
	<b>UNIÓN 45°, SECUNDARIA</b>	<b>ED5-2</b>	
	<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>		<b>0.88</b>
<b>3</b>	<b>CAMPANA 640X640, 60°</b>	<b>60°</b>	<b>0.18</b>
	<b>CODO 45°, 2 SECCIONES</b>	<b>CD3-17</b>	<b>0.34</b>
	<b>UNIÓN 45°, PRINCIPAL</b>	<b>ED5-2</b>	
	<b>SUMA DE COEFICIENTES</b>		<b>0.52</b>

4	CAMPANA 1200X440, 60°	60°	0.08
	CODO 90°, 3 SECCIONES	CD3-12	0.34
	UNIÓN 45°, PRINCIPAL	ED5-2	
SUMA DE COEFICIENTES			0.42
5	CODO 90°, 3 SECCIONES	CD3-12	0.34
	UNIÓN 45°, SECUNDARIA	ED5-2	
	CAMPANA 440X990, 60°	60°	0.08
SUMA DE COEFICIENTES			0.42
6	CODO 90°, 3 SECCIONES	CD3-12	0.34
	UNIÓN 90°, SECUNDARIA	ED5-3	
SUMA DE COEFICIENTES			0.34
7	CODO 90°, 3 SECCIONES	CD3-12	0.34
	UNIÓN 30°, PRINCIPAL	ED5-2	
	UNIÓN 90°, PRINCIPAL	ED5-3	
SUMA DE COEFICIENTES			0.34
8	CODO 60°, 3 SECCIONES	CD3-13	0.12
SUMA DE COEFICIENTES			0.12
9	CODO 90°, 5 SECCIONES	CD3-9	0.15

	CODO 90°, 5 SECCIONES	CD3-9	0.15
	CODO 90°, 5 SECCIONES	CD3-9	0.15
	SUMA DE COEFICIENTES		0.45
10	DIFUSOR SALIDA 500X500	SR7-1	1
	SUMA DE COEFICIENTES		1

TABLA 47  
PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR SECCIONES (FILTRO DEL EDIFICIO DE TRANSFERENCIA)

SECCIÓN DE DUCTO	ELEMENTOS	PRESIÓN DE VELOCIDAD	PÉRDIDA DE PRESIÓN	PÉRDIDA DE PRESIÓN DE LA SECCIÓN
1	DUCTO		269.91 PA	
	ARREGLOS	177.65 PA	97.71 PA	367.62 PA
2	DUCTO		231.28 PA	
	ARREGLOS	172.25 PA	151.58 PA	382.86 PA
3	DUCTO		50.73 PA	
	ARREGLOS	116.82 PA	60.75 PA	111.47 PA
4	DUCTO		15.99 PA	
	ARREGLOS	36.82 PA	15.46 PA	31.45 PA
5	DUCTO		102.98 PA	
	ARREGLOS	131.88 PA	55.39 PA	158.37 PA
6	DUCTO		330.90 PA	
	ARREGLOS	572.78 PA	194.74 PA	525.65 PA
7	DUCTO		76.95 PA	
	ARREGLOS	302.12 PA	102.72 PA	179.67 PA
8	DUCTO		177.96 PA	
	ARREGLOS	547.93 PA	65.75 PA	243.71 PA
X	COLECTOR (4" A 8" COLUMNA H2O)			1744.00 PA
9	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	359.50 PA	161.77 PA	161.77 PA
10	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	359.50 PA	359.50 PA	359.50 PA

TABLA 48  
**COLECTOR DE POLVO (FILTRO DEL EDIFICIO DE TRANSFERENCIA)**

ENTRADA Y DISTRIBUCIÓN DE FLUJO	
<b>UNA SOLA ENTRADA</b>	
<b>AUSENCIA DE DEFLECTORES</b>	
<b>VELOCIDAD DE ENTRADA ALTA</b>	
RELACIÓN AIRE-TELA	
ÁREA TOTAL FILTRANTE	RELACIÓN AIRE-TELA
<b>87.56 M<sup>2</sup></b>	<b>2.79 M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>/MIN</b>
VELOCIDAD ASCENDENTE	
ÁREA ENTRE MANGAS	VELOCIDAD ASCENDENTE
<b>1.66 M<sup>2</sup></b>	<b>2.45 M/S</b>
DIMENSIONAMIENTO DE MANGAS	
RELACIÓN L/D ≤ 25	16.67
<b>POSICIÓN DE LAS COSTURAS</b>	<b>NO UNIFORME</b>
DISTANCIA ENTRE MANGAS	
A LO ANCHO	43.66 MM
A LO LARGO	47.02 MM
NÚMERO DE MANGAS POR COLUMNA	
A LO ANCHO	6 MANGAS
A LO LARGO	12 MANGAS
CANASTILLAS	
<b>12 VARILLAS VERTICALES</b>	
FIJACIÓN DE LAS MANGAS	
<b>FLEJE METÁLICO</b>	
CRITERIO DE SELECCIÓN PARA LA TELA DE FILTRADO	
ASPECTO	NECESIDAD
<b>TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN</b>	<b>70°C</b>
<b>ABRASIÓN</b>	<b>BUENO</b>
<b>ABSORCIÓN DE ENERGÍA</b>	<b>BUENO</b>
<b>PROPIEDADES DE FILTRACIÓN</b>	<b>EXCELENTE</b>
<b>CALOR HÚMEDO</b>	<b>SIN PRESENCIA</b>
<b>ALCALINOS</b>	<b>SIN PRESENCIA</b>
<b>ÁCIDOS REGULARES</b>	<b>SIN PRESENCIA</b>
<b>COSTO RELATIVO</b>	<b>BAJO</b>

VENTURIS
<b>UBICACIÓN VERSUS FLAUTA TAN 7°=D/X</b>
TOLVA DE DESCARGA
<b>INCLINACIÓN MAYOR A 55°</b>
VÁLVULAS A LA SALIDA
<b>TORNILLO SIN FIN</b>
CÁMARA LIMPIA
<b>WALK IN PLENUM</b>

TABLA 49  
SELECCIÓN DEL VENTILADOR (FILTRO DEL EDIFICIO DE  
TRANSFERENCIA)

<b>AUSENCIA DE DAMPERS</b>		
<b>ALETAS CURVAS HACIA DELANTE</b>		
<b>DIMENSIONES DEL DIFUSOR A LA SALIDA</b>	<b>ANCHO</b>	<b>LARGO</b>
	<b>500 MM</b>	<b>500 MM</b>
<b>PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR</b>	<b>PRESIÓN TOTAL DEL VENTILADOR</b>	<b>PRESIÓN DE VELOCIDAD A LA SALIDA DEL VENTILADOR</b>
<b>3258.62 PA</b>	<b>3417.48 PA</b>	<b>158.86 PA</b>

TABLA 50  
CONTROL DE LIMPIEZA (FILTRO DEL EDIFICIO DE TRANSFERENCIA)

<b>POR TIEMPO</b>	<b>30 SEG</b>
<b>FILAS SECUENCIALES DE LIMPIEZA, SIN MEMORIA</b>	
<b>DURACIÓN DEL DISPARO</b>	<b>0.15 SEG</b>

### EVALUACIÓN DE LA INSTALACIÓN

- ESTE SISTEMA DE DESEMPOLVADO PRESENTA LA MAYOR INEFICIENCIA DE LOS CUATRO ANALIZADOS.

SU CAPACIDAD INSTALADA ES 8500 M<sup>3</sup>/H, CUANDO SE REQUIEREN 15000 M<sup>3</sup>/H. ESTA SITUACIÓN VA DE LA MANO CON LA REALIDAD EN EL SITIO; CONSTANTE MATERIAL FUGITIVO Y DERRAMADO SE ENCUENTRAN EN LAS INSTALACIONES, HACIENDO DE LA LIMPIEZA UNA FRECUENTE PRÁCTICA, MAYOR AÚN QUE LOS DEMÁS OFICIOS.

- NINGUNA DE LAS CAMPANAS TIENE EL ANCHO DE LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN, Y SUS VELOCIDADES ESTÁN EN SU MAYORÍA POR DEBAJO DE 1M/S HACIENDO MÁS DIFÍCIL LA CAPTURA DEL MATERIAL FLOTANTE.
  
- LAS VELOCIDADES DE TRANSPORTE EN LOS DUCTOS INMEDIATOS A LOS PUNTOS DE SUCCIÓN, ESTÁN POR DEBAJO DE LOS 18 M/S. EN LAS DEMÁS SECCIONES LAS VELOCIDADES SE ENCUENTRAN ENTRE LOS 22 M/S Y LOS 31 M/S.
  
- ENTRADAS DE AIRE FALSO SE ENCUENTRAN EN EL SISTEMA, EVITANDO QUE EL VENTILADOR TRABAJE EN

**EL PUNTO DE DISEÑO, INCLUSO CONSIDERANDO QUE ÉSTE VENTILADOR INSTALADO TIENE MUY POCA CAPACIDAD.**

- **EL SISTEMA ESTÁ DESBALANCEADO.**
- **EN LA ENTRADA AL COLECTOR, NO SE ENCUENTRAN DEFLECTORES, CAUSANDO MAYOR IMPACTO DEL FLUJO HACIA LAS PAREDES DEL FILTRO DIRECTAMENTE Y SIN REDUCCIÓN DE LA VELOCIDAD.**
- **LA CANTIDAD DE MANGAS ES INSUFICIENTE PARA EL SISTEMA; LA RELACIÓN AIRE TELA ESTÁ POR ENCIMA DEL VALOR RECOMENDADO, PRÁCTICAMENTE DUPLICÁNDOLO. ESTO QUIERE DECIR QUE POR CADA UNIDAD DE TELA FILTRANTE, ESTAMOS INTENTANDO FILTRAR EL DOBLE DEL VOLUMEN DE AIRE, PROVOCANDO AUMENTOS CONSTANTES DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL, TENIENDO QUE DISMINUIR LOS INTERVALOS DE LOS CICLOS DE LIMPIEZA (AUNQUE ESTO NO SE ENCUENTRA EN PRÁCTICA, LOS TIEMPOS SON LOS MISMOS QUE EN LOS CASOS ANTERIORES), PROVOCANDO MÁS DESGASTE EN LAS MANGAS Y**

**MAYOR CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO. EL SISTEMA NO ESTÁ TRABAJANDO EFICIENTEMENTE.**

- **ADEMÁS, LA VELOCIDAD ASCENDENTE ES EL DOBLE DE LA RECOMENDADA; CON ESTO, NO SE PERMITE LA CAÍDA DEL MATERIAL AL MOMENTO DE SACUDIR LA MANGA, TAPÁNDOLA NUEVAMENTE CASI DE INMEDIATO, PROVOCANDO QUE LA PRESIÓN DIFERENCIAL DEL SISTEMA SE ENCUENTRE EN PUNTOS ALTOS CONSTANTEMENTE.**
  
- **CON LA CONFIGURACIÓN ACTUAL, LA PRESIÓN ESTÁTICA NECESARIA DEL VENTILADOR ES MAYOR QUE LA INSTALADA. ESTO PROVOCA QUE APENAS SE LLEGUEN A LOS 8500 M<sup>3</sup>/H DE CAPACIDAD INSTALADA, RECORDANDO QUE LA NECESIDAD ES DE 15000 M<sup>3</sup>/H.**

### **RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN**

- MODIFICAR LOS PUNTOS DE SUCCIÓN PARA QUE LAS VELOCIDADES DE CAPTURA POR LO MENOS SEAN 1.4 M/S
  
- BALANCEAR EL SISTEMA PARA TENER MENOR CANTIDAD DE PÉRDIDAS Y VOLVERLO DENTRO DE LO POSIBLE MÁS EFICIENTE; A 18 M/S LAS PÉRDIDAS Y LA PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR SON LAS SIGUIENTES:

TABLA 51  
PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR SECCIONES A 18 M/S

SECCIÓN DE DUCTO	ELEMENTOS	PRESIÓN DE VELOCIDAD	PÉRDIDA DE PRESIÓN	PÉRDIDA DE PRESIÓN DE LA SECCIÓN
1	DUCTO		300.38 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	106.92 PA	407.30 PA
2	DUCTO		267.01 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	171.07 PA	438.08 PA
3	DUCTO		150.73 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	101.09 PA	251.82 PA
4	DUCTO		150.73 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	81.65 PA	232.38 PA
5	DUCTO		163.26 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	81.65 PA	244.91 PA
6	DUCTO		91.71 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	66.10 PA	157.81 PA
7	DUCTO		45.58 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	66.10 PA	111.68 PA
8	DUCTO		51.99 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	23.33 PA	75.32 PA

X	COLECTOR (4" A 8" COLUMNA H2O)	1744.00 PA		
9	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	87.48 PA	87.48 PA
10	DUCTO		0.00 PA	
	ARREGLOS	194.40 PA	194.40 PA	194.40 PA

TABLA 52  
SELECCIÓN DEL VENTILADOR CON  
VELOCIDADES BALANCEADAS

DIMENSIONES DEL DIFUSOR A LA SALIDA	ANCHO 500 MM	LARGO 500 MM
PRESIÓN ESTÁTICA DEL VENTILADOR	PRESIÓN TOTAL DEL VENTILADOR	PRESIÓN DE VELOCIDAD A LA SALIDA DEL VENTILADOR
2538.22 PA	2697.08 PA	158.86 PA

- SE RECOMIENDA COLOCAR DEFLECTORES A LA ENTRADA DEL FILTRO PARA LOGRAR UNA MEJOR DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO Y MENOR TURBULENCIA.
- ES NECESARIO SEPARAR MÁS LAS MANGAS, Y COLOCAR LA COSTURA A 45° DEL PASILLO; NO HAY PROBLEMA CON LA FIJACIÓN DE LAS MANGAS NI LAS CANASTILLAS, ASÍ COMO TAMPOCO CON EL MATERIAL

**DE LAS MANGAS SELECCIONADO. HACE FALTA UN SELLO A LA SALIDA DEL FILTRO, PUEDE SER UNA VÁLVULA DOBLE PÉNDULO PARA EVITAR MÁS ENTRADA DE AIRE FALSO AL SISTEMA.**

- **COLOCAR SISTEMA DE CONTROL DE LIMPIEZA POR DEMANDA.**

3.5. EQUIPOS ADICIONALES PARA MEJORAS EN LOS SISTEMAS DE DESEMPOLVADO

**COMO APORTE AL SISTEMA PARA MEJORAR Y GARANTIZAR SU EFICIENCIA, EXISTEN EN EL MERCADO CIERTOS MÉTODOS BÁSICOS PARA LA LIMPIEZA, PRINCIPALMENTE DE BANDAS TRANSPORTADORAS.**

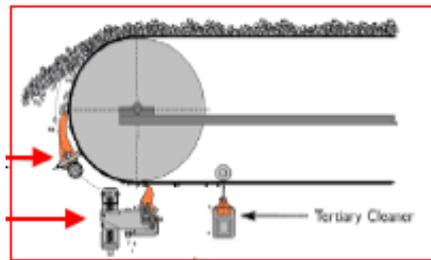
**CONSIDERANDO QUE EL MATERIAL SE ADHIERE A LAS BANDAS ENTRE LAS HENDIDURAS Y PEQUEÑOS CORTES QUE SE GENERAN POR SU USO, NO TODO EL MATERIAL FINO ES HALADO POR EL FILTRO, SINO QUE CIERTA PARTE SE QUEDA EN LA BANDA Y CAE AL PISO CUANDO INICIA EL RETORNO. PARA EVITAR O DISMINUIR ESTE**

**TIPO DE DERRAMES, SE CUENTA CON LOS CEPILLOS DE LIMPIEZA, COLOCADOS A LA ALTURA DE LOS TAMBORES DE LAS BANDAS.**



**FIGURA 4.8. CEPILLOS DE LIMPIEZA EN BANDAS TRANSPORTADORAS**

**SE RECOMIENDA COLOCAR 3 CEPILLOS EN LOS TAMBORES DE DESCARGA DE LAS BANDAS, EL PRIMARIO, SECUNDARIO Y TERCIARIO. LOS TRES TIENEN LA MISMA FUNCIÓN, EVITAR QUE EL MATERIAL ADHERIDO EN LA BANDA CAIGA FUERA DEL CHUTE DE DESCARGA. CADA UNO TIENE MAYOR PRECISIÓN DE LIMPIEZA DESPRENDIENDO LAS PARTÍCULAS DE MAYOR TAMAÑO HASTA LAS MÁS PEQUEÑAS.**



**FIGURA 4.9. CEPILLOS DE LIMPIEZA PRIMARIO,  
SECUNDARIO Y TERCARIO**

# CAPÍTULO 5

## 2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En cuanto al aspecto técnico de la auditoria se refiere, poner en práctica este tipo de ejercicios da buenos resultados. Permite resaltar los puntos comunes que más afectan al sistema, así como también los detalles aplicados correctamente. Para realizar una auditoria de este tipo, no ha sido necesario invertir gran cantidad de dinero sino simplemente una correcta identificación de los problemas a través del conocimiento aplicado. Se recomienda auditar estos sistemas frecuentemente, para establecer procesos de mejoras continuas que evitarán encontrarnos con los mismos inconvenientes en el futuro. Además, incluir en los planes de mantenimiento, las actualizaciones como resultado de las consideraciones en las inspecciones realizadas.

2. Básicamente, podemos concluir que los sistemas de desempolvado analizados tienen un principal problema, el desbalance. Aspectos relacionados al desbalance son las diferentes presiones en las uniones de los ductos, y con esto sus diferentes velocidades de transporte generadas por las dimensiones actuales de la ductería. Las entradas de aire falso también tienen que ver con el desbalance y las campanas de captura, su ubicación y geometría. El desbalance se puede corregir con el uso de placas orificios permanentes colocadas en los ductos en diferentes puntos a lo largo del sistema. Estas pérdidas de presión adicionales por causa del desbalance dejan al ventilador instalado con una alta ineficiencia, pero si se corrigen estos problemas, probablemente no haga falta cambiar mayormente el sistema; detalles como mejorar la uniformidad del flujo, no permitir aire falso, mejorar el sistema de control de la limpieza, etc., garantizarán una mejor eficiencia del sistema.

3. En la actualidad, es posible obtener la información necesaria con mayor facilidad. Los recursos tecnológicos de nuestra época nos permiten una mejor comunicación y una mejor labor investigativa en menor tiempo y de manera más precisa. Es así como se ha podido consultar diversas fuentes escritas para la elaboración de este trabajo y poder dar un criterio más certero de la situación. Sin embargo, esta

no es la última palabra, ya que constantemente los avances tecnológicos nos permiten realizar mejoras en la industria para resolver los problemas, por lo tanto, siendo parte de la industria el proceso de fabricación del cemento, eventualmente se desarrollarán otro tipo de soluciones que serán implementadas. Pero actualmente, las recomendaciones indicadas en este documento son de gran ayuda para mejorar los sistemas de desempolvado.

4. El desarrollo académico que se obtiene al ingresar a la ESPOL es sin duda invaluable. Como personas nos permite ser más capaces para resolver problemas que se presentan día a día a todo nivel, dado que nos amplía la capacidad de razonamiento y esto ofrece más alternativas de soluciones. Además los fundamentos teóricos impartidos sobre la ingeniería, han sido el soporte para el desarrollo de este tema y de muchos otros, tomando en cuenta que son la base en la toma de decisiones en la vida profesional.
  
5. Es importante indicar que el tiempo que llevo laborando en la industria de la fabricación del cemento es, junto con el conocimiento, los principales soportes para el desarrollo de este tema. Si bien es cierto, obtenemos la preparación teórica en las aulas, la necesidad de poner en práctica los conocimientos se vuelve necesaria. Es un hecho que la

práctica en la industria ha facilitado la elaboración de este trabajo, por estar en el día a día con situaciones semejantes que se presentan. Con este ejemplo, considero necesario involucrar más al estudiante en la vida práctica para que al momento de tener la primera experiencia profesional, podamos seguir el ritmo e ir mejorándolo constantemente y de manera más rápida junto a las personas con mayor experiencia laboral.

# APÉNDICES

**APÉNDICE A**  
**COEFICIENTES DE PÉRDIDAS POR ARREGLOS EN**  
**TUBERÍAS**

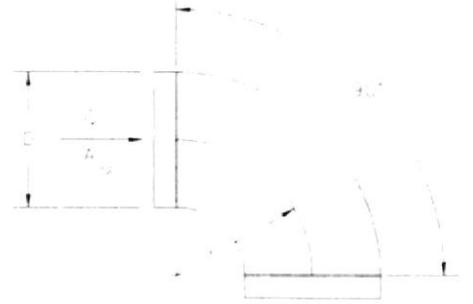
### FITTING LOSS COEFFICIENTS

Fittings to support Examples 8 and 9 and some of the more common fittings are reprinted here. For the complete fitting database see the *Duct Fitting Database* (ASHRAE 1994).

#### ROUND FITTINGS

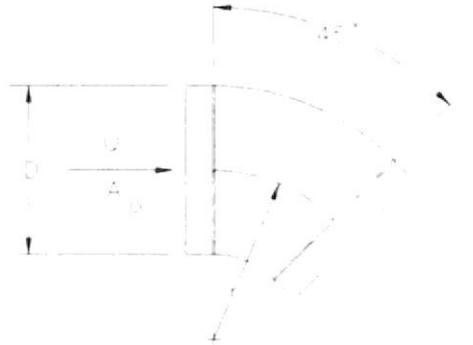
CD3-1 Elbow, Die Stamped, 90 Degree,  $r/D = 1.5$

D, mm	75	100	125	150	180	200	230	250
$C_o$	0.30	0.21	0.16	0.14	0.12	0.11	0.11	0.11



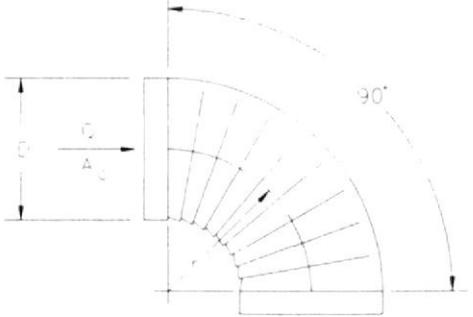
CD3-3 Elbow, Die Stamped, 45 Degree,  $r/D = 1.5$

D, mm	75	100	125	150	180	200	230	250
$C_o$	0.18	0.13	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07



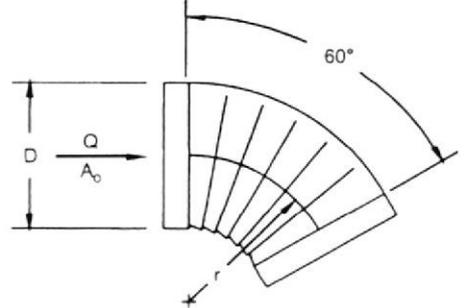
CD3-5 Elbow, Pleated, 90 Degree,  $r/D = 1.5$

D, mm	100	150	200	250	300	350	400
$C_o$	0.57	0.43	0.34	0.28	0.26	0.25	0.25



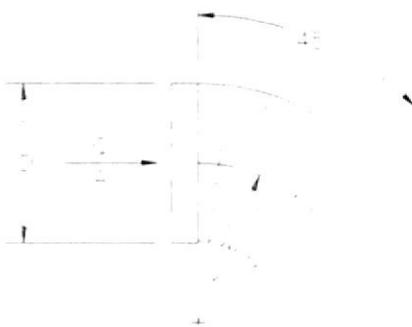
CD3-6 Elbow, Pleated, 60 Degree,  $r/D = 1.5$

D, mm	100	150	200	250	300	350	400
$C_o$	0.45	0.34	0.27	0.23	0.20	0.19	0.19



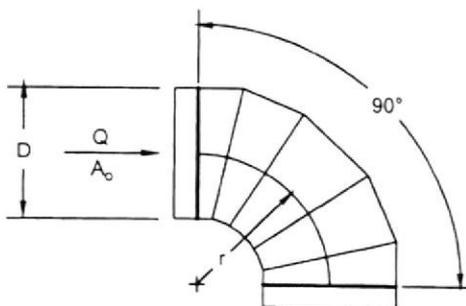
CD3-7 Elbow, Pleated, 45 Degree,  $r/D = 1.5$

D, mm	100	150	200	250	300	350	400
$C_o$	0.34	0.26	0.21	0.17	0.16	0.15	0.15



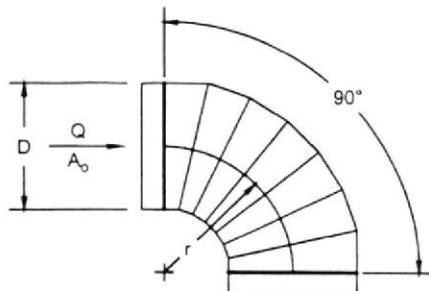
CD3-9 Elbow, 5 Gore, 90 Degree,  $r/D = 1.5$

D, mm	75	150	230	300	380	450	530	600	690	750	1500
$C_o$	0.51	0.28	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12



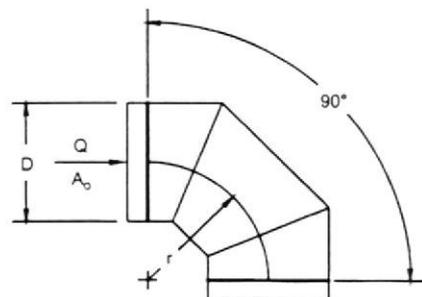
CD3-10 Elbow, 7 Gore, 90 Degree,  $r/D = 2.5$

D, mm	75	150	230	300	380	450	690	1500
$C_o$	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03



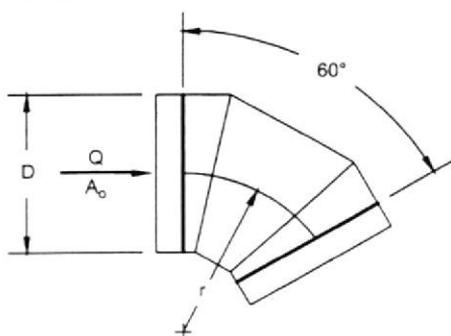
CD3-12 Elbow, 3 Gore, 90 Degree,  $r/D = 0.75$  to  $2.0$

$r/D$	0.75	1.00	1.50	2.00
$C_o$	0.54	0.42	0.34	0.33



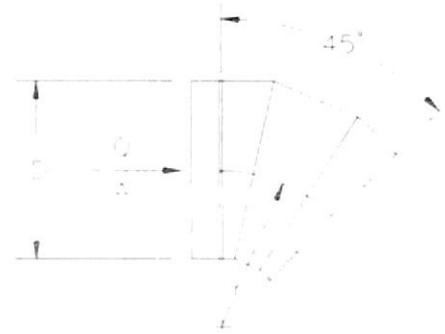
CD3-13 Elbow, 3 Gore, 60 Degree,  $r/D = 1.5$

D, mm	75	150	230	300	380	450	530	600	690	750	1500
$C_o$	0.40	0.21	0.16	0.14	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09



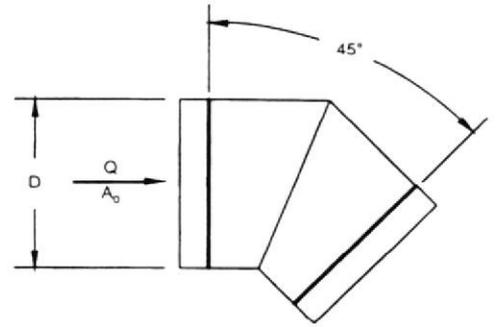
**CD3-14 Elbow, 3 Gore, 45 Degree,  $r/D = 1.5$**

D, mm	75	150	230	300	380	450	530	600	690	750	1500
$C_o$	0.31	0.17	0.13	0.11	0.11	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07



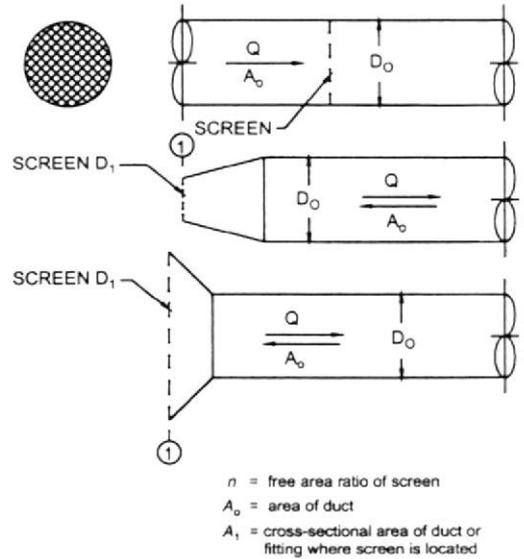
**CD3-17 Elbow, Mitered, 45 Degree**

D, mm	75	150	230	300	380	450	530	600	690	1500
$C_o$	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34



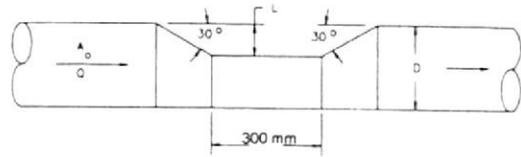
**CD6-1 Screen (Only)**

$A_1/A_o$	$C_o$ Values												
	n												
	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.90	1.00
0.2	155.00	102.50	75.00	55.00	41.25	31.50	24.25	18.75	14.50	11.00	8.00	3.50	0.00
0.3	68.89	45.56	33.33	24.44	18.33	14.00	10.78	8.33	6.44	4.89	3.56	1.56	0.00
0.4	38.75	25.63	18.75	13.75	10.31	7.88	6.06	4.69	3.63	2.75	2.00	0.88	0.00
0.5	24.80	16.40	12.00	8.80	6.60	5.04	3.88	3.00	2.32	1.76	1.28	0.56	0.00
0.6	17.22	11.39	8.33	6.11	4.58	3.50	2.69	2.08	1.61	1.22	0.89	0.39	0.00
0.7	12.65	8.37	6.12	4.49	3.37	2.57	1.98	1.53	1.18	0.90	0.65	0.29	0.00
0.8	9.69	6.40	4.69	3.44	2.58	1.97	1.52	1.17	0.91	0.69	0.50	0.22	0.00
0.9	7.65	5.06	3.70	2.72	2.04	1.56	1.20	0.93	0.72	0.54	0.40	0.17	0.00
1.0	6.20	4.10	3.00	2.20	1.65	1.26	0.97	0.75	0.58	0.44	0.32	0.14	0.00
1.2	4.31	2.85	2.08	1.53	1.15	0.88	0.67	0.52	0.40	0.31	0.22	0.10	0.00
1.4	3.16	2.09	1.53	1.12	0.84	0.64	0.49	0.38	0.30	0.22	0.16	0.07	0.00
1.6	2.42	1.60	1.17	0.86	0.64	0.49	0.38	0.29	0.23	0.17	0.13	0.05	0.00
1.8	1.91	1.27	0.93	0.68	0.51	0.39	0.30	0.23	0.18	0.14	0.10	0.04	0.00
2.0	1.55	1.03	0.75	0.55	0.41	0.32	0.24	0.19	0.15	0.11	0.08	0.04	0.00
2.5	0.99	0.66	0.48	0.35	0.26	0.20	0.16	0.12	0.09	0.07	0.05	0.02	0.00
3.0	0.69	0.46	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.02	0.00
4.0	0.39	0.26	0.19	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00
6.0	0.17	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00



**CD6-4 Round Duct, Depressed to Avoid an Obstruction**

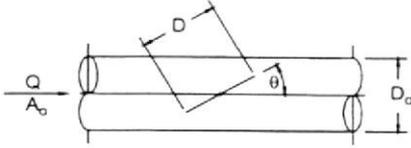
$C_o = 0.24$



**CD9-1 Damper, Butterfly**

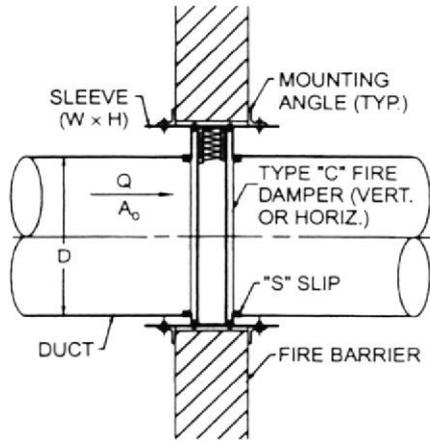
$C_o$  Values

$D/D_o$	$C_o$ Values											
	0	10	20	30	40	50	60	70	75	80	85	90
0.5	0.19	0.27	0.37	0.49	0.61	0.74	0.86	0.96	0.99	1.02	1.04	1.04
0.6	0.19	0.32	0.48	0.69	0.94	1.21	1.48	1.72	1.82	1.89	1.93	2.00
0.7	0.19	0.37	0.64	1.01	1.51	2.12	2.81	3.46	3.73	3.94	4.08	6.00
0.8	0.19	0.45	0.87	1.55	2.60	4.13	6.14	8.38	9.40	10.30	10.80	15.00
0.9	0.19	0.54	1.22	2.51	4.97	9.57	17.80	30.50	38.00	45.00	50.10	100.00
1.0	0.19	0.67	1.76	4.38	11.20	32.00	113.00	619.00	2010.00	10350.00	99999.00	99999.00



**CD9-3 Fire Damper, Curtain Type, Type C**

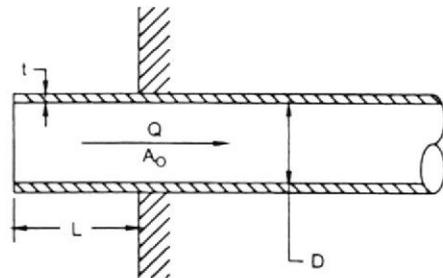
$C_o = 0.12$



**ED1-1 Duct Mounted in Wall**

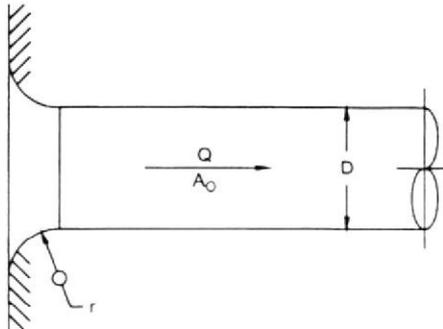
$C_o$  Values

$t/D$	$C_o$ Values									
	$L/D$									
	0.00	0.002	0.01	0.05	0.10	0.20	0.30	0.50	1.00	10.00
0.00	0.50	0.57	0.68	0.80	0.86	0.92	0.97	1.00	1.00	1.00
0.02	0.50	0.51	0.52	0.55	0.60	0.66	0.69	0.72	0.72	0.72
0.05	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
10.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50



**ED1-3 Bellmouth, with Wall**

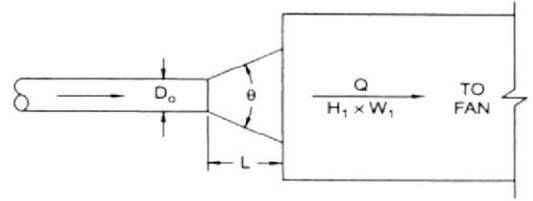
$r/D$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20	10.00
$C_o$	0.50	0.44	0.37	0.31	0.26	0.22	0.20	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03	0.03



**ED2-1 Conical Diffuser, Round to Plenum, Exhaust/Return Systems**

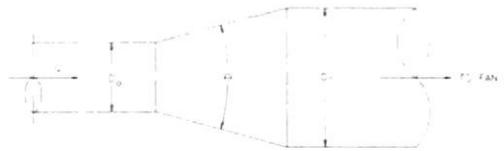
$A_1/A_0$	$C_o$ Values												
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0		
1.5	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13		
2.0	0.08	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10		
2.5	0.13	0.09	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09		
3.0	0.17	0.12	0.09	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08		
4.0	0.23	0.17	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08		
6.0	0.30	0.22	0.16	0.13	0.12	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08		
8.0	0.34	0.26	0.18	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09		
10.0	0.36	0.28	0.20	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09		
14.0	0.39	0.30	0.22	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.10	0.10		
20.0	0.41	0.32	0.24	0.20	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.11	0.10		

$A_1/A_0$	Optimum Angle $\theta$											
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	
1.5	34	20	13	9	7	6	4	3	2	2	2	
2.0	42	28	17	12	10	9	8	6	5	4	3	
2.5	50	32	20	15	12	11	10	8	7	6	5	
3.0	54	34	22	17	14	12	11	10	8	8	6	
4.0	58	40	26	20	16	14	13	12	10	10	9	
6.0	62	42	28	22	19	16	15	12	11	10	9	
8.0	64	44	30	24	20	18	16	13	12	11	10	
10.0	66	46	30	24	22	19	17	14	12	11	10	
14.0	66	48	32	26	22	19	17	14	13	11	11	
20.0	68	48	32	26	22	20	18	15	13	12	11	



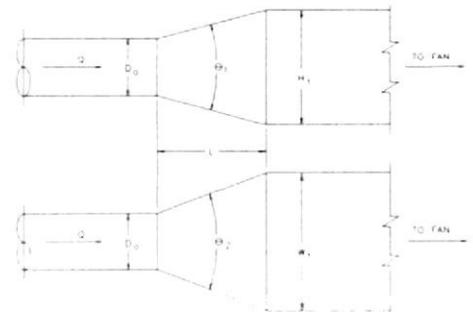
**ED4-1 Transition, Round to Round, Exhaust/Return Systems**

$A_0/A_1$	$C_o$ Values									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.06	0.21	0.29	0.38	0.60	0.84	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
0.10	0.21	0.28	0.38	0.59	0.76	0.80	0.83	0.84	0.83	0.83
0.25	0.16	0.22	0.30	0.46	0.61	0.68	0.64	0.63	0.62	0.62
0.50	0.11	0.13	0.19	0.32	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.22	0.24	0.48	0.72	0.96	1.04
4.00	0.80	0.64	0.64	0.64	0.88	1.12	2.72	4.32	5.60	6.56
6.00	1.80	1.44	1.44	1.44	1.98	2.52	6.48	10.10	13.00	15.10
10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.50	8.00	19.00	29.00	37.00	43.00

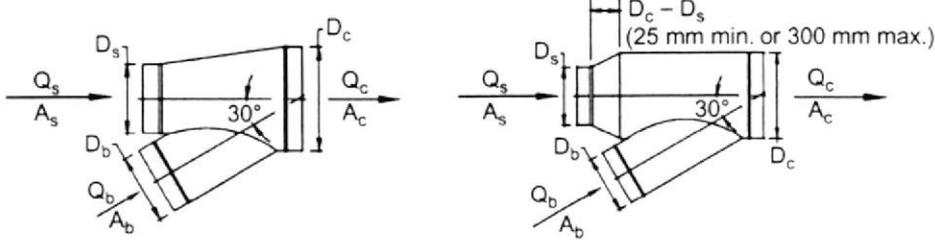


**ED4-2 Transition, Round to Rectangular, Exhaust/Return Systems**

$A_0/A_1$	$C_o$ Values									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.06	0.30	0.54	0.53	0.65	0.77	0.88	0.95	0.98	0.98	0.93
0.10	0.30	0.50	0.53	0.64	0.75	0.84	0.89	0.91	0.91	0.88
0.25	0.25	0.36	0.45	0.52	0.58	0.62	0.64	0.64	0.64	0.64
0.50	0.15	0.21	0.25	0.30	0.33	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.24	0.28	0.26	0.20	0.22	0.24	0.49	0.73	0.97	1.04
4.00	0.89	0.78	0.79	0.70	0.88	1.12	2.72	4.33	5.62	6.58
6.00	1.89	1.67	1.59	1.49	1.98	2.52	6.51	10.14	13.05	15.14
10.00	5.09	5.32	5.15	5.05	6.50	8.05	19.06	29.07	37.08	43.05



ED5-1 Wye, 30 Degree, Converging



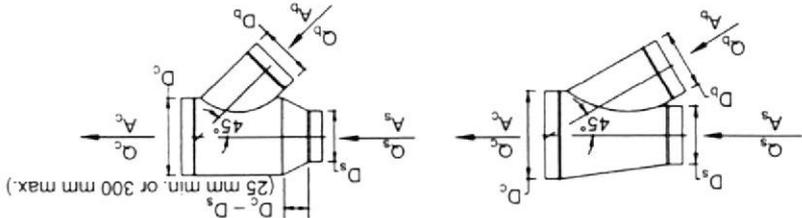
C<sub>b</sub> Values

A <sub>s</sub> /A <sub>c</sub>	A <sub>b</sub> /A <sub>c</sub>	C <sub>b</sub> Values								
		Q <sub>b</sub> /Q <sub>c</sub>								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	0.2	-24.17	-3.78	-0.60	0.30	0.64	0.77	0.83	0.88	0.98
	0.3	-55.88	-9.77	-2.57	-0.50	0.25	0.55	0.67	0.70	0.71
	0.4	-99.93	-17.94	-5.13	-1.45	-0.11	0.42	0.62	0.68	0.68
	0.5	-156.51	-28.40	-8.37	-2.62	-0.52	0.30	0.62	0.71	0.69
	0.6	-225.62	-41.13	-12.30	-4.01	-0.99	0.20	0.66	0.78	0.75
	0.7	-307.26	-56.14	-16.90	-5.61	-1.51	0.11	0.73	0.90	0.86
	0.8	-401.44	-73.44	-22.18	-7.44	-2.08	0.04	0.84	1.06	1.01
	0.9	-508.15	-93.02	-28.15	-9.49	-2.71	-0.03	0.99	1.27	1.20
	1.0	-627.39	-114.89	-34.80	-11.77	-3.39	-0.08	1.18	1.52	1.43
	0.3	0.2	-13.97	-1.77	0.08	0.59	0.77	0.84	0.88	0.92
0.3		-33.06	-5.33	-1.09	0.10	0.51	0.66	0.71	0.72	0.74
0.4		-59.43	-10.08	-2.52	-0.41	0.32	0.59	0.67	0.68	0.66
0.5		-93.24	-16.11	-4.30	-1.00	0.14	0.56	0.69	0.70	0.66
0.6		-134.51	-23.45	-6.44	-1.68	-0.03	0.57	0.76	0.77	0.70
0.7		-183.25	-32.08	-8.93	-2.45	-0.21	0.61	0.87	0.88	0.79
0.8		-239.47	-42.01	-11.77	-3.32	-0.38	0.69	1.02	1.03	0.91
0.9		-303.16	-53.25	-14.97	-4.27	-0.56	0.80	1.21	1.23	1.07
1.0		-374.32	-65.79	-18.53	-5.32	-0.73	0.94	1.45	1.47	1.27
0.4		0.2	-9.20	-0.85	0.39	0.71	0.82	0.87	0.90	0.94
	0.3	-22.31	-3.24	-0.38	0.39	0.64	0.73	0.76	0.78	0.85
	0.4	-40.52	-6.48	-1.37	0.02	0.48	0.64	0.67	0.66	0.65
	0.5	-63.71	-10.50	-2.50	-0.33	0.40	0.63	0.69	0.67	0.63
	0.6	-92.00	-15.37	-3.84	-0.71	0.33	0.67	0.75	0.71	0.65
	0.7	-125.40	-21.08	-5.40	-1.13	0.28	0.75	0.85	0.80	0.70
	0.8	-163.90	-27.65	-7.16	-1.59	0.25	0.86	1.00	0.93	0.80
	0.9	-207.52	-35.07	-9.14	-2.09	0.25	1.02	1.18	1.10	0.93
	1.0	-256.25	-43.35	-11.33	-2.63	0.26	1.21	1.42	1.31	1.09
	0.5	0.2	-6.62	-0.36	0.54	0.77	0.85	0.88	0.90	0.95
0.3		-16.42	-2.11	-0.01	0.54	0.72	0.78	0.80	0.83	0.96
0.4		-30.26	-4.59	-0.79	0.22	0.54	0.64	0.66	0.64	0.64
0.5		-47.68	-7.55	-1.61	-0.02	0.48	0.63	0.65	0.62	0.59
0.6		-68.93	-11.13	-2.56	-0.28	0.45	0.67	0.69	0.65	0.58
0.7		-94.00	-15.31	-3.65	-0.55	0.44	0.74	0.77	0.71	0.61
0.8		-122.90	-20.12	-4.88	-0.83	0.46	0.85	0.90	0.81	0.68
0.9		-155.63	-25.54	-6.25	-1.12	0.51	1.00	1.06	0.94	0.77
1.0		-192.18	-31.58	-7.77	-1.43	0.59	1.19	1.26	1.12	0.90
0.6		0.2	-5.12	-0.10	0.62	0.79	0.85	0.87	0.90	0.95
	0.3	-13.00	-1.49	0.18	0.61	0.75	0.79	0.82	0.86	1.02
	0.4	-24.31	-3.55	-0.50	0.30	0.55	0.62	0.63	0.62	0.63
	0.5	-38.41	-5.94	-1.16	0.09	0.48	0.59	0.60	0.57	0.55
	0.6	-55.58	-8.80	-1.92	-0.12	0.45	0.61	0.62	0.57	0.52
	0.7	-75.83	-12.16	-2.79	-0.33	0.44	0.66	0.67	0.60	0.52
	0.8	-99.17	-16.00	-3.76	-0.54	0.46	0.74	0.76	0.67	0.56
	0.9	-125.60	-20.33	-4.83	-0.76	0.51	0.86	0.88	0.77	0.62
	1.0	-155.12	-25.14	-6.02	-0.99	0.58	1.02	1.04	0.90	0.71
	0.7	0.2	-4.24	0.05	0.65	0.80	0.85	0.87	0.89	0.94
0.3		-11.00	-1.15	0.27	0.63	0.75	0.79	0.82	0.87	1.06
0.4		-20.82	-3.00	-0.38	0.31	0.52	0.59	0.60	0.59	0.61
0.5		-32.99	-5.09	-0.98	0.10	0.43	0.53	0.54	0.52	0.51
0.6		-47.78	-7.58	-1.67	-0.11	0.38	0.52	0.53	0.49	0.45
0.7		-65.22	-10.50	-2.44	-0.32	0.34	0.53	0.54	0.49	0.43
0.8		-85.32	-13.83	-3.30	-0.53	0.33	0.58	0.59	0.52	0.43
0.9		-108.07	-17.58	-4.26	-0.75	0.34	0.66	0.67	0.58	0.46
1.0		-133.48	-21.76	-5.30	-0.97	0.38	0.76	0.78	0.67	0.51

		C <sub>p</sub> Values (Continued)									
A <sub>2</sub> /A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub> /A <sub>1</sub>	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1.0	0.8	-3.75	0.11	0.65	0.79	0.84	0.86	0.88	0.94	1.12	1.12
0.9	0.7	-9.88	-0.99	0.29	0.63	0.74	0.78	0.81	0.87	1.09	1.12
0.8	0.6	-18.88	-2.75	-0.36	0.28	0.48	0.55	0.56	0.57	0.61	0.61
0.7	0.5	-29.98	-4.71	-0.96	0.04	0.36	0.46	0.47	0.46	0.47	0.47
0.6	0.4	-43.46	-7.05	-1.64	-0.20	0.26	0.41	0.43	0.43	0.41	0.41
0.5	0.3	-59.34	-9.77	-2.40	-0.44	0.19	0.38	0.43	0.38	0.34	0.34
0.4	0.2	-77.64	-12.88	-3.26	-0.69	0.13	0.38	0.42	0.37	0.31	0.31
0.3	0.1	-98.35	-16.38	-4.20	-0.95	0.09	0.40	0.45	0.39	0.30	0.30
0.2	0.0	-121.48	-20.27	-5.24	-1.23	0.06	0.45	0.51	0.43	0.31	0.31
1.0	0.9	-3.48	0.10	0.62	0.76	0.81	0.84	0.87	0.92	1.11	1.11
0.9	0.8	-9.22	-1.00	0.23	0.56	0.68	0.74	0.78	0.86	1.11	1.11
0.8	0.7	-17.76	-2.79	-0.50	0.14	0.37	0.45	0.49	0.52	0.60	0.60
0.7	0.6	-28.31	-4.82	-1.21	-0.20	0.28	0.28	0.28	0.23	0.38	0.38
0.6	0.5	-41.06	-7.21	-2.01	-0.55	-0.04	0.15	0.22	0.23	0.25	0.25
0.5	0.4	-56.09	-9.99	-2.91	-0.92	-0.23	0.03	0.04	0.14	0.15	0.15
0.4	0.3	-73.39	-13.17	-3.92	-1.32	-0.41	-0.07	0.04	0.06	0.06	0.06
0.3	0.2	-92.98	-16.75	-5.04	-1.75	-0.60	-0.17	-0.03	-0.01	-0.02	-0.02
0.2	0.1	-114.85	-20.74	-6.28	-2.21	-0.79	-0.26	-0.09	-0.07	-0.09	-0.09
1.0	0.9	-16.02	-3.15	-0.80	0.04	0.45	0.69	0.86	0.99	1.10	1.10
0.9	0.8	-11.65	-1.94	-0.26	0.32	0.60	0.77	0.90	1.01	1.10	1.10
0.8	0.7	-8.56	-1.20	0.05	0.47	0.68	0.82	0.92	1.02	1.11	1.11
0.7	0.6	-6.41	-0.71	0.25	0.57	0.73	0.84	0.93	1.02	1.11	1.11
0.6	0.5	-4.85	-0.36	0.38	0.63	0.76	0.86	0.94	1.02	1.11	1.11
0.5	0.4	-3.68	-0.10	0.48	0.68	0.79	0.87	0.95	1.03	1.11	1.11
0.4	0.3	-2.77	0.10	0.56	0.71	0.81	0.88	0.95	1.03	1.11	1.11
0.3	0.2	-2.04	0.26	0.62	0.74	0.82	0.89	0.95	1.03	1.11	1.11
0.2	0.1	-1.45	0.38	0.66	0.76	0.83	0.89	0.96	1.03	1.11	1.11
1.0	0.9	-4.17	-0.11	0.45	0.58	0.61	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.9	0.8	-5.49	-0.38	0.35	0.53	0.59	0.61	0.62	0.62	0.62	0.62
0.8	0.7	-7.11	-0.72	0.23	0.48	0.57	0.60	0.61	0.62	0.62	0.62
0.7	0.6	-9.13	-1.14	0.07	0.41	0.53	0.58	0.60	0.61	0.62	0.62
0.6	0.5	-11.73	-1.70	-0.13	0.32	0.49	0.56	0.60	0.61	0.62	0.62
0.5	0.4	-15.18	-2.44	-0.41	0.20	0.43	0.54	0.58	0.61	0.62	0.62
0.4	0.3	-19.94	-3.49	-0.80	0.02	0.35	0.49	0.56	0.60	0.62	0.62
0.3	0.2	-26.79	-5.07	-1.42	-0.27	0.21	0.42	0.53	0.59	0.61	0.61
0.2	0.1	-36.37	-7.59	-2.48	-0.79	-0.06	0.29	0.47	0.57	0.61	0.61
1.0	0.9	-64.82	-13.76	-4.74	-1.81	-0.59	-0.02	0.24	0.36	0.39	0.39
0.9	0.8	-64.82	-13.76	-4.74	-1.81	-0.59	-0.02	0.24	0.36	0.39	0.39
0.8	0.7	-64.82	-13.76	-4.74	-1.81	-0.59	-0.02	0.24	0.36	0.39	0.39
0.7	0.6	-64.82	-13.76	-4.74	-1.81	-0.59	-0.02	0.24	0.36	0.39	0.39
0.6	0.5	-64.82	-13.76	-4.74	-1.81	-0.59	-0.02	0.24	0.36	0.39	0.39
0.5	0.4	-64.82	-13.76	-4.74	-1.81	-0.59	-0.02	0.24	0.36	0.39	0.39
0.4	0.3	-64.82	-13.76	-4.74	-1.81	-0.59	-0.02	0.24	0.36	0.39	0.39
0.3	0.2	-64.82	-13.76	-4.74	-1.81	-0.59	-0.02	0.24	0.36	0.39	0.39
0.2	0.1	-64.82	-13.76	-4.74	-1.81	-0.59	-0.02	0.24	0.36	0.39	0.39
1.0	0.9	-10.24	-1.18	0.09	0.40	0.48	0.48	0.46	0.44	0.41	0.41
0.9	0.8	-13.10	-1.77	-0.12	0.31	0.44	0.46	0.46	0.44	0.41	0.41
0.8	0.7	-16.68	-2.51	-0.38	0.20	0.38	0.44	0.46	0.44	0.41	0.41
0.7	0.6	-21.28	-3.48	-0.73	0.04	0.31	0.41	0.45	0.43	0.41	0.41
0.6	0.5	-27.39	-4.78	-1.20	-0.16	0.22	0.36	0.41	0.42	0.41	0.41
0.5	0.4	-35.81	-6.62	-1.88	-0.46	0.07	0.30	0.38	0.41	0.40	0.40
0.4	0.3	-47.92	-9.38	-2.93	-0.94	-0.16	0.19	0.34	0.39	0.40	0.40
0.3	0.2	-64.82	-13.76	-4.74	-1.81	-0.59	-0.02	0.24	0.36	0.39	0.39
0.2	0.1	-79.90	-17.90	-6.69	-2.26	-0.84	0.06	0.24	0.36	0.39	0.39



EDS-2 Wye, 45 Degree, Converging



Cp Values

$A_1/A_2$	$A_3/A_4$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1.0	1.0	-25.19	-3.97	-0.64	0.32	0.67	0.82	0.90	0.96	1.08
0.9	0.9	-58.03	-10.14	-2.63	-0.45	0.36	0.69	0.84	0.93	1.08
0.8	0.8	-104.08	-18.80	-5.40	-1.51	-0.07	0.52	0.77	0.88	1.01
0.7	0.7	-163.36	-29.97	-8.97	-2.87	-0.62	0.29	0.67	0.80	0.93
0.6	0.6	-235.59	-43.47	-13.22	-4.44	-1.20	0.12	0.65	0.83	0.85
0.5	0.5	-320.90	-59.38	-18.21	-6.25	-1.84	-0.04	0.68	0.91	0.93
0.4	0.4	-419.32	-77.73	-23.95	-8.33	-2.56	-0.22	0.72	1.02	1.02
0.3	0.3	-530.86	-98.50	-30.44	-10.66	-3.36	-0.40	0.79	1.16	1.14
0.2	0.2	-655.51	-121.72	-37.68	-13.26	-4.25	-0.59	0.87	1.33	1.28
0.1	0.1	-814.27	-154.13	-45.13	-16.66	-5.44	-0.77	0.97	1.50	1.41
1.0	1.0	-955.59	-195.43	-61.56	-21.56	-7.44	-1.04	1.07	1.64	1.51
0.9	0.9	-1121.21	-253.33	-81.76	-28.76	-9.84	-1.41	1.19	1.81	1.64
0.8	0.8	-1388.60	-332.25	-108.34	-38.34	-13.44	-1.88	1.31	2.00	1.77
0.7	0.7	-1722.46	-444.26	-148.68	-51.68	-18.84	-2.56	1.44	2.21	1.88
0.6	0.6	-2222.46	-604.44	-208.88	-71.88	-26.44	-3.56	1.59	2.44	2.00
0.5	0.5	-2922.46	-828.80	-288.80	-98.80	-36.44	-4.88	1.77	2.66	2.11
0.4	0.4	-3822.46	-1121.72	-398.80	-134.44	-51.44	-6.66	1.99	2.88	2.22
0.3	0.3	-5022.46	-1541.33	-528.80	-184.44	-71.44	-9.11	2.21	3.11	2.33
0.2	0.2	-6722.46	-2081.72	-728.80	-254.44	-98.44	-12.44	2.44	3.33	2.44
0.1	0.1	-9122.46	-2881.72	-998.80	-344.44	-134.44	-16.88	2.66	3.55	2.55
1.0	1.0	-12122.46	-3981.72	-1344.44	-464.44	-188.44	-23.44	2.88	3.77	2.66
0.9	0.9	-15822.46	-5441.72	-1844.44	-624.44	-264.44	-31.44	3.11	4.00	2.77
0.8	0.8	-20822.46	-7441.72	-2484.44	-844.44	-364.44	-42.44	3.33	4.22	2.88
0.7	0.7	-27822.46	-10141.72	-3344.44	-1144.44	-494.44	-57.44	3.55	4.44	2.99
0.6	0.6	-37222.46	-13841.72	-4544.44	-1544.44	-674.44	-77.44	3.77	4.66	3.11
0.5	0.5	-49222.46	-18841.72	-6244.44	-2084.44	-894.44	-104.44	4.00	4.88	3.22
0.4	0.4	-64222.46	-25841.72	-8544.44	-2844.44	-1214.44	-141.44	4.22	5.11	3.33
0.3	0.3	-84222.46	-35441.72	-11444.44	-3844.44	-1544.44	-188.44	4.44	5.33	3.44
0.2	0.2	-110222.46	-48441.72	-15844.44	-5244.44	-2084.44	-254.44	4.66	5.55	3.55
0.1	0.1	-145222.46	-65441.72	-21444.44	-7244.44	-2544.44	-344.44	4.88	5.77	3.66
1.0	1.0	-195222.46	-88441.72	-29444.44	-9844.44	-3344.44	-464.44	5.11	6.00	3.77
0.9	0.9	-258222.46	-121441.72	-39844.44	-13444.44	-4444.44	-624.44	5.33	6.22	3.88
0.8	0.8	-348222.46	-164441.72	-52844.44	-18444.44	-5844.44	-844.44	5.55	6.44	3.99
0.7	0.7	-468222.46	-224441.72	-72444.44	-24844.44	-7844.44	-1144.44	5.77	6.66	4.11
0.6	0.6	-628222.46	-304441.72	-99444.44	-33844.44	-10444.44	-1544.44	6.00	6.88	4.22
0.5	0.5	-848222.46	-408441.72	-134444.44	-46444.44	-14144.44	-2084.44	6.22	7.11	4.33
0.4	0.4	-1128222.46	-544441.72	-184444.44	-62444.44	-19444.44	-2744.44	6.44	7.33	4.44
0.3	0.3	-1528222.46	-744441.72	-248444.44	-84444.44	-26444.44	-3644.44	6.66	7.55	4.55
0.2	0.2	-2028222.46	-1014441.72	-334444.44	-114444.44	-35444.44	-4944.44	6.88	7.77	4.66
0.1	0.1	-2728222.46	-1384441.72	-454444.44	-154444.44	-47444.44	-6744.44	7.11	8.00	4.77
1.0	1.0	-3628222.46	-1884441.72	-624444.44	-208444.44	-63444.44	-9144.44	7.33	8.22	4.88
0.9	0.9	-4782222.46	-2584441.72	-854444.44	-284444.44	-84444.44	-12444.44	7.55	8.44	4.99
0.8	0.8	-6382222.46	-3544441.72	-1144444.44	-384444.44	-111444.44	-16844.44	7.77	8.66	5.11
0.7	0.7	-8682222.46	-4844441.72	-1584444.44	-524444.44	-151444.44	-23444.44	8.00	8.88	5.22
0.6	0.6	-11682222.46	-6544441.72	-2144444.44	-724444.44	-201444.44	-31444.44	8.22	9.11	5.33
0.5	0.5	-15682222.46	-8844441.72	-2944444.44	-984444.44	-264444.44	-42444.44	8.44	9.33	5.44
0.4	0.4	-20682222.46	-12144441.72	-3984444.44	-1344444.44	-344444.44	-57444.44	8.66	9.55	5.55
0.3	0.3	-27682222.46	-16444441.72	-5284444.44	-1844444.44	-454444.44	-77444.44	8.88	9.77	5.66
0.2	0.2	-37682222.46	-22444441.72	-7244444.44	-2484444.44	-604444.44	-10444.44	9.11	10.00	5.77
0.1	0.1	-50682222.46	-30444441.72	-9944444.44	-3384444.44	-804444.44	-14444.44	9.33	10.22	5.88
1.0	1.0	-67682222.46	-40844441.72	-13444444.44	-4644444.44	-1074444.44	-19444.44	9.55	10.44	5.99
0.9	0.9	-90682222.46	-54444441.72	-18444444.44	-6244444.44	-1414444.44	-26444.44	9.77	10.66	6.11
0.8	0.8	-120682222.46	-74444441.72	-24844444.44	-8444444.44	-1914444.44	-35444.44	10.00	10.88	6.22
0.7	0.7	-160682222.46	-101444441.72	-33444444.44	-11444444.44	-2544444.44	-47444.44	10.22	11.11	6.33
0.6	0.6	-210682222.46	-138444441.72	-45444444.44	-15444444.44	-3344444.44	-63444.44	10.44	11.33	6.44
0.5	0.5	-280682222.46	-188444441.72	-62444444.44	-20844444.44	-4444444.44	-87444.44	10.66	11.55	6.55
0.4	0.4	-370682222.46	-258444441.72	-85444444.44	-28444444.44	-5944444.44	-117444.44	10.88	11.77	6.66
0.3	0.3	-490682222.46	-354444441.72	-114444444.44	-38444444.44	-7944444.44	-161444.44	11.11	12.00	6.77
0.2	0.2	-650682222.46	-484444441.72	-158444444.44	-52444444.44	-10744444.44	-214444.44	11.33	12.22	6.88
0.1	0.1	-870682222.46	-654444441.72	-214444444.44	-72444444.44	-14144444.44	-284444.44	11.55	12.44	6.99
1.0	1.0	-1160682222.46	-884444441.72	-294444444.44	-98444444.44	-19144444.44	-384444.44	11.77	12.66	7.11
0.9	0.9	-1560682222.46	-1214444441.72	-398444444.44	-134444444.44	-25444444.44	-514444.44	12.00	12.88	7.22
0.8	0.8	-2060682222.46	-1644444441.72	-528444444.44	-184444444.44	-33444444.44	-694444.44	12.22	13.11	7.33
0.7	0.7	-2760682222.46	-2244444441.72	-724444444.44	-248444444.44	-44444444.44	-934444.44	12.44	13.33	7.44
0.6	0.6	-3760682222.46	-3044444441.72	-994444444.44	-338444444.44	-59444444.44	-1274444.44	12.66	13.55	7.55
0.5	0.5	-5060682222.46	-4084444441.72	-1344444444.44	-464444444.44	-79444444.44	-1714444.44	12.88	13.77	7.66
0.4	0.4	-6760682222.46	-5444444441.72	-1844444444.44	-624444444.44	-107444444.44	-2244444.44	13.11	14.00	7.77
0.3	0.3	-9060682222.46	-7444444441.72	-2484444444.44	-844444444.44	-141444444.44	-2944444.44	13.33	14.22	7.88
0.2	0.2	-12060682222.46	-10144444441.72	-3344444444.44	-1144444444.44	-191444444.44	-3944444.44	13.55	14.44	7.99
0.1	0.1	-16060682222.46	-13844444441.72	-4544444444.44	-1544444444.44	-254444444.44	-5144444.44	13.77	14.66	8.11
1.0	1.0	-21060682222.46	-18844444441.72	-6244444444.44	-2084444444.44	-334444444.44	-6944444.44	14.00	14.88	8.22
0.9	0.9	-28060682222.46	-25844444441.72	-8544444444.44	-2844444444.44	-444444444.44	-9344444.44	14.22	15.11	8.33
0.8	0.8	-37060682222.46	-35444444441.72	-11444444444.44	-3844444444.44	-594444444.44	-12744444.44	14.44	15.33	8.44
0.7	0.7	-49060682222.46	-48444444441.72	-15844444444.44	-5244444444.44	-794444444.44	-17144444.44	14.66	15.55	8.55
0.6	0.6	-65060682222.46	-65444444441.72	-21444444444.44	-7244444444.44	-1074444444.44	-22444444.44	14.88	15.77	8.66
0.5	0.5	-87060682222.46	-88444444441.72	-29444444444.44	-9844444444.44	-1414444444.44	-29444444.44	15.11	16.00	8.77
0.4	0.4	-116060682222.46	-121444444441.72	-39844444444.44	-13444444444.44	-1914444444.44	-39444444.44	15.33	16.22	8.88
0.3	0.3	-156060682222.46	-164444444441.72	-52844444444.44	-18444444444.44	-2544444444.44	-51444444.44	15.55	16.44	8.99
0.2	0.2	-206060682222.46	-224444444441.72	-72444444444.44	-24844444444.44	-3344444444.44	-69444444.44	15.77	16.66	9.11
0.1	0.1	-276060682222.46	-304444444441.72	-99444444444.44	-33844444444.44	-4444444444.44	-93444444.44	16.00	16.88	9.22
1.0	1.0	-376060682222.46	-408444444441.72	-134444444444.44	-46444444444.44	-5944444444.44	-127444444.44	16.22	17.11	9.33
0.9	0.9	-506060682222.46	-544444444441.72	-184444444444.44	-62444444444.44	-7944444444.44	-171444444.44	16.44	17	

ED5-2 Wye, 45 Degree, Converging (Continued)

$C_b$  Values (Concluded)

$A_1/A_c$	$A_b/A_c$	$Q_b/Q_c$								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.8	0.2	-2.78	0.50	0.91	1.01	1.03	1.05	1.09	1.18	1.49
	0.3	-8.58	-0.65	0.47	0.74	0.82	0.85	0.86	0.89	1.02
	0.4	-16.29	-2.00	0.05	0.56	0.71	0.75	0.74	0.74	0.78
	0.5	-25.98	-3.59	-0.37	0.44	0.68	0.73	0.72	0.69	0.69
	0.6	-37.82	-5.52	-0.87	0.31	0.65	0.72	0.70	0.64	0.58
	0.7	-51.83	-7.79	-1.44	0.17	0.63	0.73	0.69	0.59	0.43
	0.8	-68.01	-10.42	-2.10	0.01	0.62	0.75	0.69	0.53	0.25
	0.9	-86.37	-13.39	-2.84	-0.16	0.61	0.77	0.68	0.47	0.03
	1.0	-106.91	-16.73	-3.68	-0.35	0.61	0.79	0.68	0.38	-0.25
	0.9	0.2	-1.87	0.68	0.98	1.03	1.05	1.06	1.09	1.18
0.3		-6.70	-0.33	0.54	0.74	0.79	0.80	0.80	0.81	0.87
0.4		-12.69	-1.29	0.29	0.66	0.76	0.77	0.75	0.74	0.78
0.5		-20.37	-2.48	0.00	0.59	0.74	0.75	0.72	0.69	0.67
0.6		-29.77	-3.94	-0.34	0.52	0.73	0.75	0.70	0.63	0.54
0.7		-40.89	-5.66	-0.73	0.45	0.74	0.76	0.68	0.56	0.36
0.8		-53.74	-7.64	-1.18	0.37	0.76	0.78	0.67	0.48	0.13
0.9		-68.32	-9.89	-1.69	0.28	0.77	0.80	0.65	0.38	-0.15
1.0		-84.66	-12.42	-2.27	0.18	0.80	0.83	0.62	0.26	-0.49
1.0		0.2	-1.17	0.81	1.02	1.05	1.05	1.06	1.09	1.18
	0.3	-5.09	-0.02	0.64	0.78	0.81	0.81	0.80	0.80	0.86
	0.4	-9.81	-0.72	0.48	0.74	0.79	0.78	0.76	0.74	0.77
	0.5	-15.89	-1.61	0.29	0.71	0.79	0.77	0.72	0.68	0.65
	0.6	-23.34	-2.69	0.07	0.68	0.80	0.77	0.69	0.60	0.49
	0.7	-32.15	-3.96	-0.18	0.66	0.82	0.78	0.67	0.51	0.27
	0.8	-42.35	-5.44	-0.47	0.64	0.85	0.79	0.63	0.41	0.00
	0.9	-53.94	-7.12	-0.80	0.61	0.88	0.81	0.60	0.28	-0.34
	1.0	-66.93	-9.01	-1.17	0.58	0.92	0.82	0.55	0.13	-0.75

$C_t$  Values

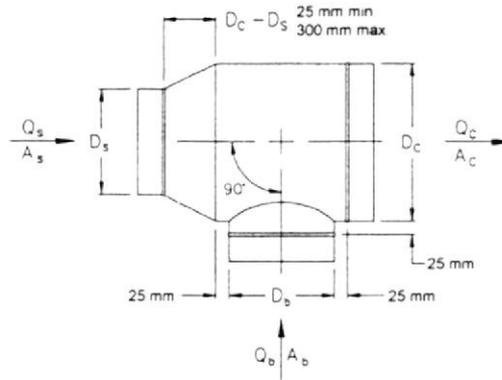
$A_1/A_c$	$A_b/A_c$	$Q_t/Q_c$								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	0.2	-10.16	-2.08	-0.43	0.24	0.62	0.88	1.10	1.29	1.46
	0.3	-7.83	-1.20	0.03	0.50	0.77	0.97	1.14	1.30	1.46
	0.4	-5.62	-0.59	0.30	0.65	0.85	1.01	1.16	1.31	1.46
	0.5	-3.96	-0.18	0.48	0.74	0.90	1.04	1.18	1.32	1.47
	0.6	-2.71	0.12	0.60	0.80	0.94	1.06	1.19	1.32	1.47
	0.7	-1.75	0.34	0.70	0.85	0.96	1.07	1.19	1.32	1.47
	0.8	-0.99	0.52	0.77	0.88	0.98	1.08	1.20	1.32	1.47
	0.9	-0.38	0.66	0.82	0.91	0.99	1.09	1.20	1.33	1.47
	1.0	0.13	0.77	0.87	0.93	1.00	1.10	1.20	1.33	1.47
	0.3	0.2	-23.33	-5.14	-1.67	-0.44	0.12	0.42	0.58	0.67
0.3		-18.44	-3.44	-0.84	0.00	0.36	0.54	0.64	0.69	0.73
0.4		-13.64	-2.22	-0.34	0.25	0.49	0.60	0.67	0.70	0.73
0.5		-10.00	-1.37	0.00	0.41	0.57	0.64	0.69	0.71	0.73
0.6		-7.26	-0.75	0.24	0.52	0.62	0.67	0.70	0.72	0.73
0.7		-5.15	-0.29	0.41	0.60	0.66	0.69	0.71	0.72	0.73
0.8		-3.48	0.07	0.55	0.66	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73
0.9		-2.14	0.36	0.65	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73
1.0		-1.03	0.60	0.74	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72	0.73
0.4		0.2	-42.17	-9.48	-3.34	-1.23	-0.31	0.12	0.33	0.42
	0.3	-33.68	-6.60	-1.98	-0.53	0.05	0.31	0.41	0.45	0.45
	0.4	-25.24	-4.51	-1.13	-0.13	0.25	0.40	0.46	0.47	0.45
	0.5	-18.83	-3.04	-0.57	0.13	0.37	0.46	0.48	0.48	0.46
	0.6	-13.99	-1.97	-0.17	0.31	0.46	0.50	0.50	0.48	0.46
	0.7	-10.27	-1.17	0.12	0.44	0.52	0.53	0.51	0.49	0.46
	0.8	-7.32	-0.54	0.35	0.54	0.57	0.55	0.52	0.49	0.46
	0.9	-4.94	-0.04	0.53	0.62	0.61	0.57	0.53	0.49	0.46
	1.0	-2.98	0.37	0.68	0.68	0.64	0.58	0.54	0.50	0.46
	0.5	0.2	-66.95	-15.18	-5.49	-2.21	-0.81	-0.16	0.14	0.26
0.3		-53.80	-10.77	-3.45	-1.17	-0.27	0.11	0.26	0.30	0.29
0.4		-40.66	-7.54	-2.16	-0.57	0.02	0.25	0.32	0.33	0.30
0.5		-30.68	-5.27	-1.30	-0.18	0.21	0.33	0.36	0.34	0.30
0.6		-23.15	-3.62	-0.69	0.09	0.33	0.39	0.38	0.35	0.30
0.7		-17.34	-2.38	-0.24	0.29	0.42	0.43	0.40	0.35	0.30
0.8		-12.75	-1.41	0.11	0.44	0.49	0.47	0.41	0.36	0.30
0.9		-9.04	-0.64	0.39	0.56	0.55	0.49	0.43	0.36	0.30
1.0		-5.99	0.00	0.61	0.65	0.59	0.51	0.43	0.36	0.30



C<sub>1</sub> Values (Concluded)

$A_1/A_2$	$A_6/A_2$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1.0	1.0	-288.39	-66.15	-24.77	-10.80	-4.88	-2.14	-0.87	-0.35	-0.22	-0.15
0.9	1.0	-33.46	-4.14	-0.34	0.42	0.50	0.39	0.24	0.08	-0.07	-0.15
0.8	0.9	-43.33	-6.18	-1.05	0.12	0.37	0.33	0.21	0.07	-0.07	-0.16
0.7	0.8	-55.33	-8.67	-1.93	-0.25	0.20	0.26	0.18	0.06	-0.07	-0.16
0.6	0.7	-70.16	-11.78	-3.04	-0.73	-0.02	0.16	0.14	0.04	-0.08	-0.16
0.5	0.6	-88.94	-15.78	-4.48	-1.35	-0.30	0.03	0.09	0.03	-0.08	-0.16
0.4	0.5	-113.27	-21.07	-6.42	-2.19	-0.69	-0.15	0.01	0.00	-0.09	-0.16
0.3	0.4	-145.53	-28.34	-9.15	-3.41	-1.26	-0.41	-0.10	-0.04	-0.09	-0.16
0.2	0.3	-187.95	-38.69	-13.24	-5.29	-2.16	-0.83	-0.28	-0.10	-0.10	-0.16
0.1	0.2	-230.27	-52.75	-19.69	-8.53	-3.81	-1.63	-0.63	-0.22	-0.13	-0.15
1.0	0.9	-23.78	-2.58	0.06	0.53	0.54	0.42	0.28	0.14	0.01	0.01
0.9	0.9	-31.59	-4.19	-0.51	0.29	0.43	0.37	0.26	0.13	0.01	0.01
0.8	0.8	-41.06	-6.16	-1.20	0.00	0.29	0.31	0.23	0.12	0.00	0.00
0.7	0.7	-52.79	-8.62	-2.08	-0.38	0.12	0.23	0.20	0.11	0.00	0.00
0.6	0.6	-67.62	-11.78	-3.22	-0.87	-0.10	0.13	0.16	0.10	0.00	0.00
0.5	0.5	-86.85	-15.96	-4.75	-1.54	-0.41	-0.01	0.10	0.08	-0.01	-0.01
0.4	0.4	-112.34	-21.71	-6.91	-2.50	-0.86	-0.22	0.01	0.05	-0.01	-0.01
0.3	0.3	-145.86	-29.89	-10.14	-3.99	-1.58	-0.55	-0.13	0.00	-0.02	-0.02
0.2	0.2	-179.32	-41.01	-15.25	-6.55	-2.88	-1.19	-0.41	-0.10	-0.04	-0.04
1.0	1.0	-16.14	-1.41	0.33	0.60	0.55	0.44	0.32	0.20	0.09	0.09
0.9	0.9	-22.12	-2.65	-0.10	0.41	0.47	0.40	0.30	0.19	0.09	0.09
0.8	0.8	-29.37	-4.16	-0.64	0.18	0.37	0.36	0.28	0.19	0.09	0.09
0.7	0.7	-38.35	-6.04	-1.31	-0.10	0.24	0.30	0.26	0.18	0.09	0.09
0.6	0.6	-49.71	-8.47	-2.19	-0.48	0.06	0.22	0.22	0.17	0.09	0.09
0.5	0.5	-64.44	-11.67	-3.36	-0.99	-0.17	0.11	0.18	0.15	0.09	0.09
0.4	0.4	-83.96	-16.08	-5.02	-1.73	-0.52	-0.05	0.11	0.13	0.08	0.08
0.3	0.3	-109.64	-22.35	-7.50	-2.88	-1.07	-0.31	0.00	0.09	0.07	0.07
0.2	0.2	-135.28	-30.88	-11.42	-4.85	-2.08	-0.80	-0.21	0.02	0.06	0.06
1.0	1.0	-10.29	-0.57	0.51	0.63	0.57	0.47	0.37	0.27	0.19	0.19
0.9	0.9	-14.68	-1.48	0.18	0.49	0.51	0.44	0.35	0.27	0.19	0.19
0.8	0.8	-20.02	-2.59	-0.21	0.33	0.43	0.41	0.34	0.26	0.19	0.19
0.7	0.7	-26.62	-3.98	-0.71	0.11	0.33	0.36	0.32	0.26	0.19	0.19
0.6	0.6	-34.97	-5.77	-1.35	-0.17	0.20	0.30	0.30	0.25	0.18	0.18
0.5	0.5	-45.80	-8.13	-2.22	-0.55	0.03	0.22	0.26	0.24	0.18	0.18
0.4	0.4	-60.15	-11.37	-3.44	-1.09	-0.23	0.10	0.21	0.22	0.18	0.18
0.3	0.3	-79.03	-15.99	-5.28	-1.94	-0.64	-0.09	0.13	0.19	0.17	0.17
0.2	0.2	-97.90	-22.29	-8.18	-3.41	-1.39	-0.46	-0.03	0.13	0.16	0.16
0.1	0.1	-97.90	-22.29	-8.18	-3.41	-1.39	-0.46	-0.03	0.13	0.16	0.16

ED5-3 Tee,  $D_c \leq 250$  mm, Converging



$C_b$  Values

$Q_b/Q_c$

$A_s/A_c$	$A_b/A_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	0.2	-24.56	-3.63	-0.36	0.59	0.93	1.08	1.14	1.19	1.27
	0.3	-56.72	-9.54	-2.15	-0.01	0.78	1.10	1.23	1.30	1.39
	0.4	-101.83	-17.86	-4.68	-0.87	0.52	1.09	1.32	1.41	1.48
	0.5	-159.91	-28.59	-7.98	-2.02	0.17	1.05	1.40	1.51	1.51
	0.6	-230.83	-41.68	-11.98	-3.39	-0.24	1.03	1.53	1.66	1.61
	0.7	-314.56	-57.10	-16.68	-4.98	-0.69	1.04	1.71	1.90	1.82
	0.8	-411.18	-74.90	-22.10	-6.82	-1.21	1.04	1.92	2.16	2.05
	0.9	-520.69	-95.08	-28.25	-8.90	-1.81	1.04	2.15	2.45	2.31
	1.0	-643.09	-117.63	-35.12	-11.24	-2.47	1.04	2.41	2.78	2.58
	0.3	0.2	-14.05	-1.55	0.36	0.89	1.08	1.16	1.19	1.23
0.3		-33.18	-4.91	-0.58	0.64	1.07	1.23	1.30	1.34	1.44
0.4		-60.09	-9.68	-1.94	0.24	1.00	1.29	1.39	1.42	1.47
0.5		-94.80	-15.89	-3.74	-0.33	0.87	1.32	1.46	1.46	1.38
0.6		-136.97	-23.33	-5.84	-0.92	0.81	1.45	1.65	1.66	1.53
0.7		-186.81	-32.14	-8.32	-1.62	0.74	1.61	1.88	1.88	1.70
0.8		-244.33	-42.30	-11.19	-2.43	0.65	1.78	2.14	2.13	1.88
0.9		-309.54	-53.82	-14.44	-3.35	0.54	1.98	2.42	2.41	2.08
1.0		-382.43	-66.70	-18.08	-4.39	0.42	2.19	2.74	2.72	2.29
0.4		0.2	-8.95	-0.54	0.71	1.04	1.15	1.20	1.22	1.26
	0.3	-21.82	-2.70	0.16	0.94	1.19	1.29	1.32	1.35	1.47
	0.4	-39.99	-5.81	-0.67	0.73	1.19	1.35	1.39	1.39	1.41
	0.5	-63.37	-9.82	-1.75	0.45	1.18	1.42	1.47	1.43	1.32
	0.6	-91.72	-14.59	-2.97	0.20	1.26	1.60	1.67	1.60	1.43
	0.7	-125.23	-20.24	-4.41	-0.10	1.34	1.81	1.90	1.81	1.56
	0.8	-163.91	-26.77	-6.09	-0.45	1.43	2.04	2.16	2.03	1.69
	0.9	-207.76	-34.17	-7.99	-0.85	1.53	2.30	2.44	2.28	1.82
	1.0	-256.79	-42.45	-10.12	-1.30	1.63	2.58	2.75	2.54	1.95
	0.5	0.2	-6.03	0.04	0.91	1.13	1.20	1.22	1.24	1.29
0.3		-15.35	-1.46	0.56	1.09	1.25	1.30	1.32	1.35	1.46
0.4		-28.59	-3.67	-0.01	0.96	1.26	1.34	1.35	1.32	1.29
0.5		-45.45	-6.42	-0.66	0.85	1.33	1.45	1.45	1.38	1.24
0.6		-65.92	-9.70	-1.41	0.78	1.46	1.64	1.63	1.53	1.32
0.7		-90.12	-13.58	-2.29	0.69	1.61	1.86	1.85	1.70	1.39
0.8		-118.07	-18.07	-3.32	0.57	1.78	2.11	2.09	1.89	1.46
0.9		-149.75	-23.18	-4.49	0.43	1.96	2.38	2.35	2.09	1.53
1.0		-185.19	-28.89	-5.81	0.27	2.16	2.67	2.63	2.31	1.57
0.6		0.2	-4.20	0.39	1.03	1.18	1.22	1.24	1.26	1.30
	0.3	-11.33	-0.72	0.79	1.16	1.27	1.30	1.31	1.33	1.43
	0.4	-21.57	-2.42	0.35	1.05	1.25	1.29	1.27	1.22	1.12
	0.5	-34.29	-4.35	-0.03	1.07	1.38	1.44	1.41	1.32	1.16
	0.6	-49.85	-6.73	-0.50	1.08	1.54	1.63	1.57	1.45	1.19
	0.7	-68.26	-9.55	-1.06	1.09	1.71	1.83	1.76	1.58	1.21
	0.8	-89.52	-12.81	-1.72	1.10	1.91	2.07	1.97	1.73	1.22
	0.9	-113.64	-16.52	-2.47	1.10	2.12	2.32	2.20	1.88	1.21
	1.0	-140.62	-20.68	-3.33	1.09	2.35	2.60	2.44	2.03	1.16

ED5-3 Tee,  $D_c < \text{or} = 250 \text{ mm}$ , Converging (Continued)

		$C_p$ Values (Concluded)								
		$Q_p/Q_c$								
$A_p/A_c$	$A_b/A_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.7	0.2	-3.00	0.62	1.10	1.21	1.23	1.24	1.26	1.31	1.49
	0.3	-8.74	-0.27	0.91	1.19	1.26	1.27	1.27	1.28	1.36
	0.4	-16.90	-1.59	0.58	1.11	1.25	1.27	1.24	1.18	1.06
	0.5	-26.99	-3.06	0.33	1.17	1.38	1.41	1.36	1.26	1.06
	0.6	-39.35	-4.86	0.02	1.22	1.54	1.57	1.50	1.35	1.05
	0.7	-53.97	-7.01	-0.35	1.29	1.72	1.76	1.65	1.45	1.02
	0.8	-70.87	-9.50	-0.79	1.35	1.91	1.97	1.82	1.54	0.96
	0.9	-90.04	-12.34	-1.31	1.41	2.12	2.19	2.00	1.64	0.86
	1.0	-111.50	-15.53	-1.89	1.46	2.34	2.43	2.19	1.73	0.72
	0.8	0.2	-2.20	0.76	1.14	1.22	1.24	1.24	1.26	1.31
0.3		-7.04	-0.01	0.95	1.18	1.23	1.23	1.23	1.22	1.27
0.4		-13.77	-1.06	0.71	1.13	1.24	1.24	1.20	1.13	1.00
0.5		-22.11	-2.24	0.54	1.20	1.36	1.36	1.30	1.19	0.97
0.6		-32.33	-3.69	0.31	1.27	1.50	1.50	1.41	1.25	0.90
0.7		-44.42	-5.41	0.04	1.34	1.66	1.65	1.53	1.30	0.81
0.8		-58.40	-7.42	-0.29	1.42	1.83	1.83	1.65	1.35	0.67
0.9		-74.28	-9.72	-0.67	1.49	2.01	2.01	1.78	1.38	0.49
1.0		-92.06	-12.30	-1.12	1.56	2.21	2.20	1.92	1.40	0.24
0.9		0.2	-1.67	0.85	1.16	1.22	1.23	1.24	1.25	1.30
	0.3	-5.95	0.12	0.95	1.14	1.18	1.18	1.16	1.15	1.14
	0.4	-11.68	-0.74	0.77	1.12	1.20	1.20	1.16	1.08	0.93
	0.5	-18.85	-1.74	0.63	1.18	1.31	1.30	1.23	1.11	0.86
	0.6	-27.63	-2.98	0.44	1.24	1.42	1.41	1.31	1.13	0.75
	0.7	-38.04	-4.45	0.21	1.30	1.55	1.53	1.39	1.14	0.58
	0.8	-50.07	-6.17	-0.07	1.36	1.69	1.66	1.47	1.13	0.37
	0.9	-63.75	-8.14	-0.40	1.42	1.83	1.79	1.54	1.11	0.09
	1.0	-79.08	-10.36	-0.79	1.46	1.98	1.92	1.61	1.06	-0.26
	1.0	0.2	-1.33	0.89	1.16	1.21	1.22	1.22	1.24	1.29
0.3		-5.30	0.15	0.90	1.08	1.11	1.11	1.09	1.06	0.99
0.4		-10.31	-0.57	0.78	1.09	1.16	1.15	1.11	1.03	0.86
0.5		-16.71	-1.47	0.64	1.13	1.24	1.22	1.15	1.03	0.74
0.6		-24.56	-2.59	0.46	1.17	1.32	1.30	1.20	1.01	0.57
0.7		-33.87	-3.93	0.23	1.20	1.41	1.38	1.24	0.97	0.34
0.8		-44.64	-5.49	-0.05	1.22	1.51	1.46	1.27	0.91	0.05
0.9		-56.89	-7.29	-0.38	1.24	1.59	1.54	1.28	0.82	-0.33
1.0		-70.62	-9.32	-0.77	1.24	1.68	1.61	1.28	0.69	-0.80

ED5-3 Tee,  $D_c < \text{or} = 250 \text{ mm}$ , Converging

		$C_s$ Values								
		$Q_s/Q_c$								
$A_p/A_c$	$A_b/A_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	0.2	18.11	3.42	1.62	1.11	0.90	0.80	0.74	0.70	0.68
	0.3	12.67	2.79	1.45	1.04	0.87	0.78	0.73	0.70	0.68
	0.4	9.98	2.47	1.36	1.01	0.85	0.77	0.72	0.69	0.67
	0.5	8.39	2.27	1.30	0.98	0.84	0.76	0.72	0.69	0.67
	0.6	7.34	2.13	1.26	0.96	0.83	0.76	0.72	0.69	0.67
	0.7	6.61	2.02	1.22	0.95	0.82	0.75	0.71	0.69	0.67
	0.8	6.08	1.94	1.19	0.93	0.81	0.75	0.71	0.68	0.67
	0.9	5.68	1.87	1.17	0.92	0.80	0.74	0.70	0.68	0.66
	1.0	4.55	1.61	1.05	0.86	0.76	0.71	0.68	0.66	0.65
	0.3	0.2	44.33	7.19	2.80	1.57	1.08	0.84	0.71	0.63
0.3		29.24	5.46	2.33	1.40	1.00	0.80	0.69	0.62	0.57
0.4		21.88	4.59	2.09	1.30	0.96	0.78	0.67	0.61	0.56
0.5		17.62	4.06	1.93	1.24	0.92	0.76	0.66	0.60	0.56
0.6		14.90	3.71	1.82	1.19	0.90	0.74	0.65	0.59	0.55
0.7		13.06	3.45	1.74	1.15	0.88	0.73	0.64	0.59	0.55
0.8		11.78	3.26	1.67	1.12	0.86	0.72	0.63	0.58	0.54
0.9		9.02	2.64	1.41	0.97	0.77	0.66	0.59	0.54	0.51
1.0		8.36	2.52	1.36	0.95	0.75	0.65	0.58	0.54	0.51

ED5-3 Tee,  $D_c < \text{or} = 250 \text{ mm}$ , Converging (Continued) $C_f$  Values (Concluded)

$A_f/A_c$	$A_p/A_c$	$Q_f/Q_c$								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.4	0.2	78.99	12.25	4.42	2.26	1.39	0.97	0.74	0.60	0.50
	0.3	50.14	8.96	3.54	1.92	1.24	0.90	0.70	0.57	0.49
	0.4	36.26	7.32	3.08	1.74	1.16	0.85	0.67	0.56	0.48
	0.5	28.38	6.35	2.80	1.63	1.10	0.82	0.65	0.54	0.47
	0.6	23.50	5.72	2.61	1.54	1.05	0.79	0.63	0.53	0.46
	0.7	20.32	5.27	2.46	1.47	1.02	0.77	0.62	0.52	0.45
	0.8	14.94	4.13	1.98	1.21	0.85	0.65	0.53	0.46	0.40
	0.9	13.55	3.88	1.89	1.16	0.82	0.63	0.52	0.45	0.39
	1.0	12.66	3.69	1.80	1.12	0.79	0.62	0.51	0.44	0.39
	0.5	0.2	114.73	17.76	6.27	3.07	1.79	1.16	0.81	0.60
0.3		70.56	12.71	4.92	2.56	1.56	1.05	0.75	0.56	0.44
0.4		49.68	10.24	4.23	2.29	1.43	0.98	0.71	0.54	0.42
0.5		38.12	8.81	3.81	2.11	1.34	0.93	0.68	0.52	0.41
0.6		31.23	7.90	3.53	1.99	1.27	0.88	0.65	0.50	0.39
0.7		21.87	6.00	2.75	1.57	1.01	0.71	0.52	0.40	0.32
0.8		19.30	5.57	2.59	1.49	0.96	0.67	0.50	0.38	0.30
0.9		17.84	5.27	2.46	1.42	0.92	0.65	0.48	0.37	0.29
1.0		17.16	5.05	2.36	1.36	0.88	0.62	0.46	0.35	0.28
0.6		0.2	142.32	22.64	8.06	3.91	2.23	1.39	0.92	0.63
	0.3	84.89	16.05	6.28	3.24	1.92	1.23	0.83	0.58	0.41
	0.4	58.43	12.90	5.39	2.88	1.75	1.14	0.78	0.55	0.39
	0.5	44.34	11.13	4.86	2.66	1.63	1.07	0.74	0.52	0.37
	0.6	29.06	8.20	3.69	2.04	1.25	0.81	0.55	0.38	0.26
	0.7	24.71	7.51	3.44	1.91	1.18	0.77	0.52	0.35	0.24
	0.8	22.56	7.06	3.26	1.81	1.11	0.72	0.48	0.33	0.22
	0.9	21.89	6.78	3.12	1.73	1.06	0.68	0.45	0.30	0.20
	1.0	22.24	6.61	3.00	1.65	1.00	0.65	0.43	0.28	0.18
	0.7	0.2	152.32	25.82	9.48	4.66	2.65	1.63	1.04	0.68
0.3		87.85	18.38	7.46	3.88	2.29	1.44	0.94	0.62	0.40
0.4		59.34	14.92	6.47	3.48	2.09	1.33	0.87	0.58	0.37
0.5		35.18	10.56	4.78	2.60	1.55	0.97	0.62	0.38	0.22
0.6		28.26	9.51	4.41	2.42	1.45	0.90	0.57	0.35	0.19
0.7		25.45	8.91	4.16	2.28	1.36	0.85	0.53	0.32	0.17
0.8		25.21	8.60	3.99	2.18	1.29	0.79	0.49	0.28	0.14
0.9		26.68	8.48	3.86	2.08	1.22	0.74	0.45	0.25	0.12
1.0		29.34	8.49	3.77	2.01	1.16	0.70	0.41	0.22	0.10
0.8		0.2	136.74	26.38	10.30	5.22	3.01	1.85	1.17	0.74
	0.3	75.52	19.20	8.32	4.45	2.64	1.66	1.06	0.67	0.41
	0.4	37.55	12.79	5.92	3.23	1.91	1.17	0.72	0.42	0.21
	0.5	27.25	11.28	5.41	2.98	1.77	1.08	0.66	0.37	0.18
	0.6	24.23	10.57	5.10	2.81	1.66	1.01	0.60	0.33	0.14
	0.7	25.36	10.32	4.91	2.69	1.57	0.94	0.55	0.29	0.11
	0.8	29.09	10.37	4.80	2.59	1.50	0.88	0.50	0.25	0.08
	0.9	34.55	10.60	4.74	2.50	1.42	0.82	0.46	0.21	0.05
	1.0	41.23	10.98	4.71	2.43	1.36	0.77	0.41	0.18	0.01
	0.9	0.2	90.70	23.73	10.34	5.54	3.28	2.05	1.30	0.81
0.3		29.93	14.20	6.95	3.86	2.30	1.41	0.85	0.48	0.22
0.4		16.27	12.21	6.28	3.55	2.12	1.29	0.77	0.42	0.18
0.5		14.80	11.58	5.96	3.35	1.99	1.20	0.70	0.37	0.14
0.6		19.43	11.62	5.81	3.23	1.89	1.13	0.64	0.32	0.10
0.7		27.55	12.06	5.77	3.14	1.81	1.06	0.59	0.27	0.06
0.8		37.84	12.73	5.79	3.07	1.74	0.99	0.53	0.23	0.02
0.9		49.59	13.57	5.85	3.01	1.67	0.93	0.48	0.18	-0.02
1.0		62.35	14.52	5.94	2.97	1.61	0.87	0.42	0.14	-0.06
1.0		0.2	-6.40	12.70	7.32	4.31	2.64	1.64	1.00	0.56
	0.3	-17.35	10.90	6.66	3.97	2.44	1.51	0.90	0.49	0.20
	0.4	-11.05	11.02	6.50	3.82	2.32	1.41	0.83	0.43	0.15
	0.5	2.15	11.91	6.54	3.74	2.23	1.33	0.76	0.38	0.10
	0.6	18.80	13.18	6.67	3.70	2.16	1.26	0.70	0.32	0.06
	0.7	37.42	14.67	6.86	3.68	2.09	1.19	0.63	0.26	0.01
	0.8	57.27	16.30	7.09	3.67	2.03	1.12	0.57	0.21	-0.04
	0.9	77.95	18.02	7.35	3.66	1.97	1.06	0.51	0.15	-0.09
	1.0	99.20	19.80	7.61	3.67	1.92	1.00	0.45	0.10	-0.14





ED5-3 Tee,  $D_c > 250$  mm, Converging (Continued)

		$C_b$ Values (Concluded)								
		$Q_b/Q_c$								
$A_p/A_c$	$A_b/A_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.9	0.2	-2.14	0.28	0.71	0.85	0.91	0.94	0.96	0.97	0.99
	0.3	-5.14	-0.21	0.57	0.80	0.88	0.92	0.95	0.97	1.02
	0.4	-9.09	-0.76	0.47	0.80	0.91	0.94	0.96	0.98	1.06
	0.5	-14.06	-1.36	0.42	0.86	0.98	1.01	1.01	1.02	1.14
	0.6	-20.08	-2.04	0.42	0.99	1.11	1.12	1.09	1.09	1.24
	0.7	-27.21	-2.79	0.47	1.17	1.30	1.27	1.21	1.19	1.38
	0.8	-35.50	-3.63	0.55	1.42	1.55	1.49	1.38	1.32	1.55
	0.9	-45.01	-4.57	0.66	1.72	1.86	1.75	1.59	1.49	1.75
	1.0	-55.79	-5.64	0.80	2.08	2.22	2.06	1.84	1.69	1.99
1.0	0.2	-1.54	0.39	0.74	0.87	0.92	0.95	0.97	0.99	1.03
	0.3	-3.75	0.03	0.64	0.83	0.90	0.94	0.97	1.00	1.08
	0.4	-6.57	-0.32	0.61	0.85	0.93	0.97	0.99	1.03	1.16
	0.5	-10.05	-0.65	0.64	0.94	1.02	1.03	1.04	1.08	1.26
	0.6	-14.24	-0.98	0.74	1.10	1.16	1.15	1.13	1.16	1.40
	0.7	-19.20	-1.32	0.91	1.33	1.37	1.31	1.26	1.27	1.57
	0.8	-24.98	-1.69	1.14	1.63	1.63	1.53	1.43	1.41	1.78
	0.9	-31.62	-2.10	1.42	2.00	1.96	1.80	1.64	1.59	2.02
	1.0	-39.19	-2.55	1.76	2.43	2.35	2.12	1.90	1.81	2.30

ED5-3 Tee,  $D_c > 250$  mm, Converging

		$C_t$ Values								
		$Q_t/Q_c$								
$A_p/A_c$	$A_b/A_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	0.2	20.43	3.28	1.45	0.98	0.81	0.73	0.69	0.66	0.64
	0.3	12.53	2.40	1.22	0.90	0.77	0.71	0.68	0.66	0.64
	0.4	8.78	1.98	1.12	0.86	0.76	0.70	0.67	0.66	0.64
	0.5	6.69	1.75	1.06	0.84	0.75	0.70	0.67	0.65	0.64
	0.6	5.43	1.61	1.02	0.83	0.74	0.70	0.67	0.65	0.64
	0.7	4.64	1.52	1.00	0.82	0.74	0.70	0.67	0.65	0.64
	0.8	4.15	1.47	0.98	0.81	0.74	0.69	0.67	0.65	0.64
	0.9	3.86	1.43	0.97	0.81	0.74	0.69	0.67	0.65	0.64
	1.0	3.71	1.42	0.97	0.81	0.73	0.69	0.67	0.65	0.64
0.3	0.2	51.24	7.11	2.49	1.33	0.90	0.70	0.60	0.54	0.50
	0.3	29.57	4.70	1.87	1.10	0.80	0.66	0.58	0.53	0.50
	0.4	19.40	3.57	1.58	1.00	0.76	0.64	0.57	0.52	0.50
	0.5	13.84	2.96	1.42	0.94	0.73	0.62	0.56	0.52	0.50
	0.6	10.58	2.59	1.32	0.90	0.72	0.62	0.56	0.52	0.49
	0.7	8.64	2.38	1.27	0.88	0.71	0.61	0.56	0.52	0.49
	0.8	7.52	2.25	1.23	0.87	0.70	0.61	0.56	0.52	0.49
	0.9	6.95	2.19	1.22	0.87	0.70	0.61	0.56	0.52	0.49
	1.0	6.76	2.17	1.21	0.86	0.70	0.61	0.55	0.52	0.49
0.4	0.2	90.30	12.10	3.91	1.85	1.08	0.74	0.55	0.45	0.38
	0.3	49.68	7.59	2.74	1.42	0.90	0.65	0.51	0.43	0.37
	0.4	30.96	5.51	2.21	1.23	0.82	0.61	0.49	0.42	0.37
	0.5	21.00	4.40	1.92	1.13	0.78	0.59	0.48	0.42	0.37
	0.6	15.43	3.78	1.76	1.07	0.75	0.58	0.48	0.41	0.37
	0.7	12.36	3.44	1.67	1.04	0.74	0.57	0.48	0.41	0.37
	0.8	10.86	3.27	1.63	1.02	0.73	0.57	0.47	0.41	0.37
	0.9	10.40	3.22	1.61	1.01	0.73	0.57	0.47	0.41	0.37
	1.0	10.67	3.25	1.62	1.02	0.73	0.57	0.47	0.41	0.37
0.5	0.2	126.36	16.99	5.39	2.42	1.32	0.81	0.54	0.38	0.28
	0.3	65.94	10.28	3.65	1.79	1.05	0.68	0.48	0.35	0.27
	0.4	38.84	7.27	2.87	1.51	0.93	0.63	0.45	0.34	0.27
	0.5	25.07	5.74	2.47	1.37	0.87	0.60	0.44	0.33	0.26
	0.6	17.98	4.95	2.27	1.29	0.84	0.58	0.43	0.33	0.26
	0.7	14.69	4.58	2.17	1.26	0.82	0.58	0.43	0.33	0.26
	0.8	13.78	4.48	2.15	1.25	0.82	0.57	0.43	0.33	0.26
	0.9	14.45	4.56	2.17	1.26	0.82	0.58	0.43	0.33	0.26
	1.0	16.24	4.76	2.22	1.28	0.83	0.58	0.43	0.33	0.26

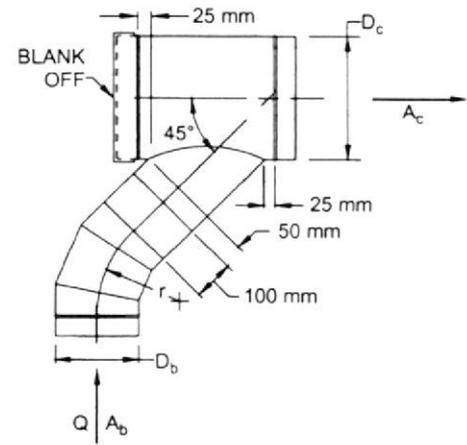


ED5-3 Tee,  $D_c > 250$  mm, Converging (Continued)

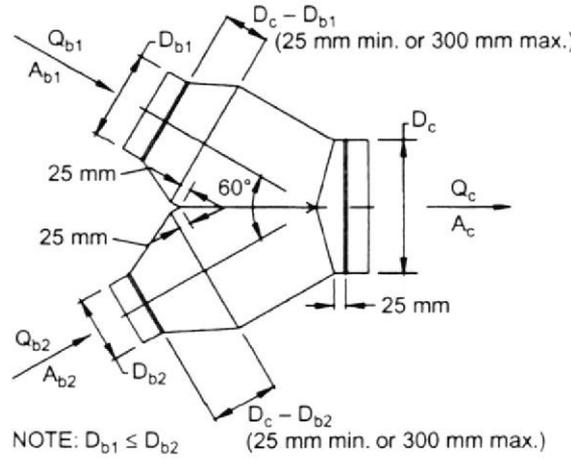
		$C_1$ Values (Concluded)									
		$Q_p/Q_c$									
$A_f/A_c$	$A_g/A_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
0.6	0.2	146.22	20.32	6.54	2.92	1.54	0.89	0.54	0.33	0.20	
	0.3	70.93	11.95	4.37	2.13	1.20	0.73	0.46	0.30	0.18	
	0.4	38.66	8.37	3.44	1.80	1.06	0.67	0.43	0.28	0.18	
	0.5	23.61	6.70	3.00	1.64	0.99	0.64	0.42	0.28	0.18	
	0.6	17.17	5.98	2.82	1.57	0.97	0.62	0.41	0.27	0.18	
	0.7	15.64	5.81	2.77	1.56	0.96	0.62	0.41	0.27	0.18	
	0.8	17.19	5.98	2.82	1.57	0.97	0.62	0.41	0.27	0.18	
	0.9	20.79	6.38	2.92	1.61	0.98	0.63	0.42	0.27	0.18	
	1.0	25.82	6.94	3.07	1.66	1.00	0.64	0.42	0.28	0.18	
	0.7	0.2	137.78	20.74	7.01	3.21	1.70	0.96	0.54	0.29	0.13
0.3		58.74	11.96	4.73	2.39	1.34	0.79	0.47	0.26	0.12	
0.4		27.78	8.52	3.84	2.06	1.21	0.73	0.44	0.24	0.11	
0.5		16.04	7.21	3.50	1.94	1.15	0.71	0.43	0.24	0.11	
0.6		13.91	6.97	3.44	1.92	1.14	0.70	0.42	0.24	0.11	
0.7		17.28	7.35	3.54	1.95	1.16	0.71	0.43	0.24	0.11	
0.8		24.08	8.10	3.73	2.02	1.19	0.72	0.43	0.24	0.11	
0.9		33.17	9.11	3.99	2.12	1.23	0.74	0.44	0.25	0.11	
1.0		43.86	10.30	4.30	2.23	1.28	0.76	0.45	0.25	0.11	
0.8		0.2	92.97	17.35	6.57	3.21	1.75	0.99	0.55	0.27	0.08
	0.3	26.98	10.02	4.67	2.52	1.46	0.86	0.48	0.24	0.07	
	0.4	6.75	7.77	4.09	2.31	1.37	0.81	0.46	0.23	0.06	
	0.5	4.83	7.56	4.03	2.29	1.36	0.81	0.46	0.23	0.06	
	0.6	12.05	8.36	4.24	2.37	1.39	0.83	0.47	0.23	0.07	
	0.7	24.51	9.75	4.60	2.49	1.45	0.85	0.48	0.24	0.07	
	0.8	40.23	11.49	5.05	2.66	1.52	0.88	0.50	0.24	0.07	
	0.9	58.13	13.48	5.57	2.85	1.60	0.92	0.51	0.25	0.07	
	1.0	77.56	15.64	6.13	3.05	1.68	0.96	0.53	0.26	0.08	
	0.9	0.2	10.77	10.05	5.20	2.91	1.70	0.99	0.55	0.25	0.04
0.3		-21.27	6.49	4.28	2.57	1.56	0.93	0.52	0.24	0.04	
0.4		-19.11	6.73	4.34	2.60	1.57	0.93	0.52	0.24	0.04	
0.5		-3.28	8.49	4.80	2.76	1.64	0.97	0.54	0.24	0.04	
0.6		19.39	11.01	5.45	3.00	1.74	1.01	0.56	0.25	0.04	
0.7		45.97	13.96	6.21	3.27	1.86	1.07	0.58	0.27	0.05	
0.8		74.99	17.18	7.05	3.58	1.98	1.13	0.61	0.28	0.05	
0.9		105.64	20.59	7.93	3.89	2.12	1.19	0.64	0.29	0.06	
1.0		137.43	24.12	8.85	4.23	2.26	1.26	0.67	0.31	0.06	
1.0		0.2	-99.78	-0.17	3.15	2.40	1.58	0.98	0.56	0.25	0.02
	0.3	-75.42	2.54	3.85	2.65	1.69	1.03	0.58	0.26	0.03	
	0.4	-38.31	6.66	4.92	3.04	1.86	1.11	0.62	0.28	0.03	
	0.5	3.90	11.35	6.14	3.48	2.04	1.20	0.66	0.29	0.04	
	0.6	48.66	16.32	7.43	3.94	2.24	1.29	0.70	0.31	0.04	
	0.7	94.88	21.46	8.76	4.43	2.45	1.38	0.75	0.33	0.05	
	0.8	142.01	26.70	10.12	4.92	2.66	1.48	0.79	0.35	0.06	
	0.9	189.74	32.00	11.49	5.41	2.87	1.58	0.84	0.37	0.07	
	1.0	237.90	37.35	12.88	5.92	3.08	1.68	0.88	0.39	0.07	

**ED5-6 Capped Wye, Branch with 45-Degree Elbow,  
Branch 90 Degrees to Main, Converging,  $r/D_b = 1.5$**

$A_b/A_c$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$C_b$	1.26	1.07	0.94	0.86	0.81	0.76	0.71	0.67	0.64	0.64



**ED5-9 Symmetrical Wye, 60 Degree,  $D_{b1} \geq D_{b2}$ , Converging**



**$C_{b1}$  Values**

$A_{b1}/A_c$	$A_{b2}/A_c$	$Q_{b1}/Q_c$								
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	0.2	-11.95	-1.89	-0.09	0.41	0.62	0.74	0.80	0.80	0.79
	0.3	-11.95	-1.89	-0.09	0.41	0.62	0.74	0.80	0.80	0.79
0.3	0.2	-45.45	-9.39	-2.44	-0.41	0.33	0.68	0.89	1.03	1.13
	0.3	-16.88	-2.92	-0.09	0.59	0.86	1.02	1.09	1.10	1.08
0.4	0.2	-72.04	-14.00	-4.26	-1.24	-0.10	0.33	0.50	0.57	0.63
	0.3	-52.95	-9.91	-2.86	-0.69	0.07	0.30	0.40	0.49	0.62
	0.4	-28.86	-6.22	-2.15	-0.57	0.19	0.55	0.72	0.79	0.85
0.5	0.2	-126.04	-23.80	-7.44	-2.64	-0.85	-0.13	0.16	0.26	0.28
	0.3	-91.07	-16.91	-5.16	-1.73	-0.46	0.04	0.23	0.29	0.28
	0.4	-56.41	-10.07	-2.90	-0.82	-0.07	0.21	0.30	0.31	0.29
	0.5	-30.58	-5.23	-1.06	0.00	0.32	0.43	0.47	0.47	0.41
0.6	0.2	-209.81	-39.31	-12.13	-4.35	-1.54	-0.40	0.06	0.22	0.23
	0.3	-147.43	-27.69	-8.75	-3.20	-1.13	-0.29	0.05	0.17	0.18
	0.4	-85.06	-16.07	-5.38	-2.04	-0.71	-0.17	0.04	0.12	0.13
	0.5	-58.22	-11.03	-3.84	-1.49	-0.50	-0.09	0.07	0.11	0.12
	0.6	-40.57	-7.86	-2.60	-0.99	-0.26	0.00	0.14	0.21	0.25
0.7	0.2	-291.57	-54.52	-17.03	-6.21	-2.27	-0.68	-0.04	0.19	0.21
	0.3	-197.37	-38.02	-12.54	-4.92	-2.01	-0.76	-0.22	0.01	0.08
	0.4	-102.97	-21.41	-8.05	-3.64	-1.75	-0.84	-0.40	-0.17	-0.05
	0.5	-65.15	-14.75	-6.16	-3.07	-1.61	-0.85	-0.44	-0.22	-0.09
	0.6	-48.24	-11.70	-4.97	-2.59	-1.40	-0.76	-0.37	-0.15	-0.03
0.8	0.2	-73.02	-16.68	-6.90	-3.29	-1.61	-0.80	-0.29	0.02	0.22
	0.3	-373.33	-69.73	-21.93	-8.08	-3.00	-0.95	-0.13	0.15	0.20
	0.4	-247.31	-48.35	-16.32	-6.65	-2.89	-1.24	-0.49	-0.15	-0.02
	0.4	-120.88	-26.76	-10.71	-5.24	-2.78	-1.52	-0.84	-0.45	-0.24

D5-9 Symmetrical Wye, 60 Degree,  $D_{b1} \geq D_{b2}$ , Converging (Continued)

$A_{b1}/A_c$		$A_{b2}/A_c$		$Q_{b1}/Q_c$		$C_{b1}$ Values (Concluded)		$Q_{b2}/Q_c$		$C_{b2}$ Values		$A_{b1}/A_c$		$A_{b2}/A_c$	
0.5	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	0.5	-2.71	0.5	0.6	0.5	-1.61	0.5	0.2	0.1	0.2
0.6	0.3	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	-2.54	0.5	0.6	0.5	-1.53	0.5	0.3	0.1	0.3
0.7	0.4	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	-2.75	0.5	0.6	0.5	-1.56	0.5	0.4	0.1	0.4
0.8	0.5	0.1	0.5	0.5	0.6	0.5	-2.96	0.5	0.6	0.5	-1.60	0.5	0.5	0.1	0.5
0.9	0.6	0.1	0.6	0.5	0.6	0.5	-3.04	0.5	0.6	0.5	-1.61	0.5	0.6	0.1	0.6
1.0	0.7	0.1	0.7	0.5	0.6	0.5	-3.19	0.5	0.6	0.5	-1.66	0.5	0.7	0.1	0.7
0.2	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	0.5	-3.11	0.5	0.6	0.5	-1.66	0.5	0.2	0.1	0.2
0.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	-3.15	0.5	0.6	0.5	-1.69	0.5	0.3	0.1	0.3
0.4	0.4	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	-3.18	0.5	0.6	0.5	-1.72	0.5	0.4	0.1	0.4
0.5	0.5	0.1	0.5	0.5	0.6	0.5	-3.21	0.5	0.6	0.5	-1.74	0.5	0.5	0.1	0.5
0.6	0.6	0.1	0.6	0.5	0.6	0.5	-3.24	0.5	0.6	0.5	-1.77	0.5	0.6	0.1	0.6
0.7	0.7	0.1	0.7	0.5	0.6	0.5	-3.27	0.5	0.6	0.5	-1.80	0.5	0.7	0.1	0.7
0.8	0.8	0.1	0.8	0.5	0.6	0.5	-3.30	0.5	0.6	0.5	-1.83	0.5	0.8	0.1	0.8
0.9	0.9	0.1	0.9	0.5	0.6	0.5	-3.33	0.5	0.6	0.5	-1.86	0.5	0.9	0.1	0.9
1.0	1.0	0.1	1.0	0.5	0.6	0.5	-3.36	0.5	0.6	0.5	-1.89	0.5	1.0	0.1	1.0
0.5	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	0.5	-3.39	0.5	0.6	0.5	-1.92	0.5	0.5	0.1	0.2
0.6	0.3	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	-3.42	0.5	0.6	0.5	-1.95	0.5	0.6	0.1	0.3
0.7	0.4	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	-3.45	0.5	0.6	0.5	-1.98	0.5	0.7	0.1	0.4
0.8	0.5	0.1	0.5	0.5	0.6	0.5	-3.48	0.5	0.6	0.5	-2.01	0.5	0.8	0.1	0.5
0.9	0.6	0.1	0.6	0.5	0.6	0.5	-3.51	0.5	0.6	0.5	-2.04	0.5	0.9	0.1	0.6
1.0	0.7	0.1	0.7	0.5	0.6	0.5	-3.54	0.5	0.6	0.5	-2.07	0.5	1.0	0.1	0.7
0.2	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	0.5	-3.57	0.5	0.6	0.5	-2.10	0.5	0.2	0.1	0.2
0.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	-3.60	0.5	0.6	0.5	-2.13	0.5	0.3	0.1	0.3
0.4	0.4	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	-3.63	0.5	0.6	0.5	-2.16	0.5	0.4	0.1	0.4
0.5	0.5	0.1	0.5	0.5	0.6	0.5	-3.66	0.5	0.6	0.5	-2.19	0.5	0.5	0.1	0.5
0.6	0.6	0.1	0.6	0.5	0.6	0.5	-3.69	0.5	0.6	0.5	-2.22	0.5	0.6	0.1	0.6
0.7	0.7	0.1	0.7	0.5	0.6	0.5	-3.72	0.5	0.6	0.5	-2.25	0.5	0.7	0.1	0.7
0.8	0.8	0.1	0.8	0.5	0.6	0.5	-3.75	0.5	0.6	0.5	-2.28	0.5	0.8	0.1	0.8
0.9	0.9	0.1	0.9	0.5	0.6	0.5	-3.78	0.5	0.6	0.5	-2.31	0.5	0.9	0.1	0.9
1.0	1.0	0.1	1.0	0.5	0.6	0.5	-3.81	0.5	0.6	0.5	-2.34	0.5	1.0	0.1	1.0
0.2	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	0.5	-3.84	0.5	0.6	0.5	-2.37	0.5	0.2	0.1	0.2
0.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	-3.87	0.5	0.6	0.5	-2.40	0.5	0.3	0.1	0.3
0.4	0.4	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	-3.90	0.5	0.6	0.5	-2.43	0.5	0.4	0.1	0.4
0.5	0.5	0.1	0.5	0.5	0.6	0.5	-3.93	0.5	0.6	0.5	-2.46	0.5	0.5	0.1	0.5
0.6	0.6	0.1	0.6	0.5	0.6	0.5	-3.96	0.5	0.6	0.5	-2.49	0.5	0.6	0.1	0.6
0.7	0.7	0.1	0.7	0.5	0.6	0.5	-3.99	0.5	0.6	0.5	-2.52	0.5	0.7	0.1	0.7
0.8	0.8	0.1	0.8	0.5	0.6	0.5	-4.02	0.5	0.6	0.5	-2.55	0.5	0.8	0.1	0.8
0.9	0.9	0.1	0.9	0.5	0.6	0.5	-4.05	0.5	0.6	0.5	-2.58	0.5	0.9	0.1	0.9
1.0	1.0	0.1	1.0	0.5	0.6	0.5	-4.08	0.5	0.6	0.5	-2.61	0.5	1.0	0.1	1.0
0.2	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	0.5	-4.11	0.5	0.6	0.5	-2.64	0.5	0.2	0.1	0.2
0.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	-4.14	0.5	0.6	0.5	-2.67	0.5	0.3	0.1	0.3
0.4	0.4	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	-4.17	0.5	0.6	0.5	-2.70	0.5	0.4	0.1	0.4
0.5	0.5	0.1	0.5	0.5	0.6	0.5	-4.20	0.5	0.6	0.5	-2.73	0.5	0.5	0.1	0.5
0.6	0.6	0.1	0.6	0.5	0.6	0.5	-4.23	0.5	0.6	0.5	-2.76	0.5	0.6	0.1	0.6
0.7	0.7	0.1	0.7	0.5	0.6	0.5	-4.26	0.5	0.6	0.5	-2.79	0.5	0.7	0.1	0.7
0.8	0.8	0.1	0.8	0.5	0.6	0.5	-4.29	0.5	0.6	0.5	-2.82	0.5	0.8	0.1	0.8
0.9	0.9	0.1	0.9	0.5	0.6	0.5	-4.32	0.5	0.6	0.5	-2.85	0.5	0.9	0.1	0.9
1.0	1.0	0.1	1.0	0.5	0.6	0.5	-4.35	0.5	0.6	0.5	-2.88	0.5	1.0	0.1	1.0
0.2	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	0.5	-4.38	0.5	0.6	0.5	-2.91	0.5	0.2	0.1	0.2
0.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	-4.41	0.5	0.6	0.5	-2.94	0.5	0.3	0.1	0.3
0.4	0.4	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	-4.44	0.5	0.6	0.5	-2.97	0.5	0.4	0.1	0.4
0.5	0.5	0.1	0.5	0.5	0.6	0.5	-4.47	0.5	0.6	0.5	-3.00	0.5	0.5	0.1	0.5
0.6	0.6	0.1	0.6	0.5	0.6	0.5	-4.50	0.5	0.6	0.5	-3.03	0.5	0.6	0.1	0.6
0.7	0.7	0.1	0.7	0.5	0.6	0.5	-4.53	0.5	0.6	0.5	-3.06	0.5	0.7	0.1	0.7
0.8	0.8	0.1	0.8	0.5	0.6	0.5	-4.56	0.5	0.6	0.5	-3.09	0.5	0.8	0.1	0.8
0.9	0.9	0.1	0.9	0.5	0.6	0.5	-4.59	0.5	0.6	0.5	-3.12	0.5	0.9	0.1	0.9
1.0	1.0	0.1	1.0	0.5	0.6	0.5	-4.62	0.5	0.6	0.5	-3.15	0.5	1.0	0.1	1.0
0.2	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	0.5	-4.65	0.5	0.6	0.5	-3.18	0.5	0.2	0.1	0.2
0.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	-4.68	0.5	0.6	0.5	-3.21	0.5	0.3	0.1	0.3
0.4	0.4	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	-4.71	0.5	0.6	0.5	-3.24	0.5	0.4	0.1	0.4
0.5	0.5	0.1	0.5	0.5	0.6	0.5	-4.74	0.5	0.6	0.5	-3.27	0.5	0.5	0.1	0.5
0.6	0.6	0.1	0.6	0.5	0.6	0.5	-4.77	0.5	0.6	0.5	-3.30	0.5	0.6	0.1	0.6
0.7	0.7	0.1	0.7	0.5	0.6	0.5	-4.80	0.5	0.6	0.5	-3.33	0.5	0.7	0.1	0.7
0.8	0.8	0.1	0.8	0.5	0.6	0.5	-4.83	0.5	0.6	0.5	-3.36	0.5	0.8	0.1	0.8
0.9	0.9	0.1	0.9	0.5	0.6	0.5	-4.86	0.5	0.6	0.5	-3.39	0.5	0.9	0.1	0.9
1.0	1.0	0.1	1.0	0.5	0.6	0.5	-4.89	0.5	0.6	0.5	-3.42	0.5	1.0	0.1	1.0
0.2	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	0.5	-4.92	0.5	0.6	0.5	-3.45	0.5	0.2	0.1	0.2
0.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	-4.95	0.5	0.6	0.5	-3.48	0.5	0.3	0.1	0.3
0.4	0.4	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	-4.98	0.5	0.6	0.5	-3.51	0.5	0.4	0.1	0.4
0.5	0.5	0.1	0.5	0.5	0.6	0.5	-5.01	0.5	0.6	0.5	-3.54	0.5	0.5	0.1	0.5
0.6	0.6	0.1	0.6	0.5	0.6	0.5	-5.04	0.5	0.6	0.5	-3.57	0.5	0.6	0.1	0.6
0.7	0.7	0.1	0.7	0.5	0.6	0.5	-5.07	0.5	0.6	0.5	-3.60	0.5	0.7	0.1	0.7
0.8	0.8	0.1	0.8	0.5	0.6	0.5	-5.10	0.5	0.6	0.5	-3.63	0.5	0.8	0.1	0.8
0.9	0.9	0.1	0.9	0.5	0.6	0.5	-5.13	0.5	0.6	0.5	-3.66	0.5	0.9	0.1	0.9
1.0	1.0	0.1	1.0	0.5	0.6	0.5	-5.16	0.5	0.6	0.5	-3.69	0.5	1.0	0.1	1.0
0.2	0.2	0.1	0.2	0.5	0.6	0.5	-5.19	0.5	0.6	0.5	-3.72	0.5	0.2	0.1	0.2
0.3	0.3	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	-5.22	0.5	0.6	0.5	-3.75	0.5	0.3	0.1	0.3
0.4	0.4	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	-5.25	0.5	0.6	0.5	-3.78	0.5	0.4	0.1	0.4
0.5	0.5	0.1	0.5	0.5	0.6	0.5	-5.28	0.5							

## BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, Applications Handbook, 1999, pp 455-478.
2. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, Fundamentals Handbook, 2001, pp 27-40, 788-892.
3. CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR, Ley de Gestión Ambiental, Ley No. 37. RO/ 245, 1999.  
[http://www.ambiente.gov.ec/paginas\\_espanol/3normativa/leyes.htm](http://www.ambiente.gov.ec/paginas_espanol/3normativa/leyes.htm)
4. CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR, Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental, Decreto Supremo No. 374. RO/ 97, 1976.  
[http://www.ambiente.gov.ec/paginas\\_espanol/3normativa/leyes.htm](http://www.ambiente.gov.ec/paginas_espanol/3normativa/leyes.htm)

5. FLAKT WOODS, Ventiladores Industriales, Presentación para el Grupo Cementos Mexicanos, 2002.
6. GE ENERGY, Mantenimiento del Equipo de Control de Contaminación Ambiental, Manual de Referencia, 2005.
7. HGRS LTD., Dust Collection and Transport System Audit at San Sebastian and Cumarebo Plants, 2005.
8. HGRS LTD., Holcim Design Criteria, Part IV, Standard Design Criteria, Basic Requirements, 2001.
9. HGRS LTD., Reference Guide for Process Performance Engineers, 2<sup>nd</sup> edition, 2005, pp 149-154.
10. HGRS LTD., Transport and Dust Collecting Manual, Fabric Dust Collector Systems, Version 1.05.
11. MUNSON BRUCE R., YOUNG DONALD F., OKIISHI THEODORE H., Fundamentos de Mecánica de Fluidos, Limusa Wiley, 2da reimpresión, México, 2003, pp. 19-49, 113-158, 447-522.

12. US. CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Summary of National Ambient Air Quality Standards, Subchapter C Air Programs, Part 50, Appendix J, <http://www.epa.gov/eogapti1/module5/index.htm>
  
13. US. CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Summary of National Ambient Air Quality Standards, Subchapter C Air Programs, Part 50, Appendix L, <http://www.epa.gov/eogapti1/module5/index.htm>
  
14. US. CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Summary of National Ambient Air Quality Standards, Subchapter C Air Programs, Part 50, Appendix M, <http://www.epa.gov/eogapti1/module5/index.htm>
  
15. US. CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Summary of National Ambient Air Quality Standards, Subchapter C Air Programs, Part 50, Section 50.6 National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards for PM10. <http://www.epa.gov/eogapti1/module5/index.htm>
  
16. US. CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Summary of National Ambient Air Quality Standards, Subchapter C Air Programs, Part 50, Section 50.7 National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards for PM2.5, <http://www.epa.gov/eogapti1/module5/index.htm>

17. US. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Basic Concepts in Environmental Sciences, Module 5, Flowcharts and Ventilation Systems, <http://www.epa.gov/eogapti1/module5/index.htm>
  
18. US. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Technology Transfer Network, Clearinghouse for Inventories & Emissions Factors, AP 42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 13: Miscellaneous Sources, Section 13.2.4. Aggregate Handling and Storage Piles, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/index.html>
  
19. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, Norma de Calidad de Aire Ambiente, Libro VI, Anexo 4, [http://www.ambiente.gov.ec/paginas\\_espanol/3normativa/texto\\_unificado.htm](http://www.ambiente.gov.ec/paginas_espanol/3normativa/texto_unificado.htm)