



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESEMPOLVAMIENTO
PARA EQUIPOS AUXILIARES EN LA INDUSTRIA DEL
CEMENTO, UTILIZANDO COLECTORES DE POLVO CON
SISTEMA DE FILTRACIÓN DE BOLSAS**

Yván Estuardo Pecorelli Orellana

Asesorado por el Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio

Guatemala, octubre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESEMPOLVAMIENTO
PARA EQUIPOS AUXILIARES EN LA INDUSTRIA DEL
CEMENTO, UTILIZANDO COLECTORES DE POLVO CON
SISTEMA DE FILTRACIÓN DE BOLSAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

YVÁN ESTUARDO PECORELLI ORELLANA

ASESORADO POR EL ING. ADOLFO NARCISO GRAMAJO ANTONIO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Zelada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Iyonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADORA	Inga. Telma Maricela Cano Morales
EXAMINADOR	Ing. Cesar Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domino Carranza González
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESEMPOLVAMIENTO PARA EQUIPOS AUXILIARES EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO, UTILIZANDO COLECTORES DE POLVO CON SISTEMA DE FILTRACIÓN DE BOLSAS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha septiembre de 2006.

Yván Estuardo Pecorelli Orellana



ACTO QUE DEDICO A:

Mi esposa: Guiselda Marina

Mi hijo: Yván Estuardo

Mi madre: Irma Yolanda

Mis hermanos: Edin, Helen, Antonio y Jorge

Mis tios: Maco, Ana, Blanca, Luis, Margarita, Moisés y
con especial cariño a Edilberto

Mis primos: En general

AGRADECIMIENTOS A:

Dr. Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
Gerente Planta San Miguel, Cementos Progreso, S. A.

Ing. Rolando Estuardo Arocha Girón
Superintendente de Optimización, Cementos Progreso, S. A.

Al Departamento de Producción
Planta San Miguel, Cementos Progreso, S. A.

Mis compañeros de trabajo
Planta San Miguel, Cementos Progreso, S. A.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XII
GLOSARIO.....	XIV
RESUMEN	XVIII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Equipos para captación de polvo fugitivo.....	1
1.1.1 Colectores de proceso húmedo.....	1
1.1.1.1 Precipitador electrostático.....	1
1.1.1.2 Colector sedimentador.....	2
1.1.2 Colectores de proceso seco.....	3
1.1.2.1 Colector centrífugo.....	3
1.1.2.2 Colector de filtro tipo bolsa.....	4
1.2 Tipos de colectores en el proceso del cemento.....	5
1.2.1 Colector de desecho.....	5
1.2.2 Colector de proceso.....	5
1.3 Posición de los ventiladores en los colectores.....	6
1.4 Filtración interior y exterior.....	9
1.5 Proporción Aire-Tela en colectores.....	10
1.6 Tipos de limpieza.....	11
1.6.1 Limpieza intermitente.....	11
1.6.2 Limpieza continua.....	11

1.7	Pérdidas de succión por fricción en la tubería.....	12
1.8	Inspección y mantenimiento.....	13
1.9	Problemas en los sistemas de recolección.....	13
1.9.1	Emisión de partículas en la descarga del ventilador..	13
1.9.2	Presión diferencial alta.....	14
1.9.3	Desgaste y taponamiento en tuberías de succión.....	14
1.9.4	Corta duración de la bolsa filtrante.....	15
1.10	Control de fallas.....	15

2. PARTES EN QUE SE DIVIDE UN COLECTOR CON FILTRO TIPO

BOLSA Y SISTEMA DE LIMPIEZA TENSIONOR.....	19
2.1 Tubería de desempolvamiento.....	19
2.2 Tolva.....	21
2.3 Sistema de descarga de la tolva.....	23
2.3.1 Sistema manual.....	23
2.3.2 Sistema automático.....	24
2.3.2.1 Válvula de contrapeso.....	24
2.3.2.2 Válvula rotativa.....	25
2.3.3 Sistema de transporte recolector.....	25
2.3.3.1 Transportadores de tornillo sin-fin.....	26
2.3.3.2 Transportadores neumáticos.....	26
2.4 Bolsa de filtración.....	27
2.5 Compartimentos.....	30
2.6 Compuerta de inspección.....	31
2.7 Manómetros.....	32
2.8 Mecanismo de limpieza.....	33
2.9 Ventilador.....	35
2.9.1 Presión estática a vencer.....	37
2.9.2 Caudal a mover.....	38

2.10	Chimenea.....	39
3.	DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESEMPOLVAMIENTO.....	41
3.1	Puntos de desempolvamiento necesarios en una sección de molienda de cemento vía seca.....	41
3.2	Cálculo de los flujos de succión requeridos en cada uno de los equipos.....	44
3.3	Ramales y cálculo de diámetros de tuberías.....	47
3.4	Ramales y cálculo de diámetros de tuberías.....	50
3.4.1	En pasos.....	50
3.4.2	En campanas.....	50
3.4.3	En codos.....	51
3.5	Diseño del colector.....	53
3.5.1	Número de bolsas y compartimentos del colector.....	53
3.5.2	Diseño de la tolva y deflector.....	56
3.5.2.1	Transportadores de tornillo sin-fin.....	56
3.5.2.2	Dimensiones del deflector.....	58
3.6	Dimensiones de la válvula de aire reverso.....	59
3.7	Dimensiones de la tubería del pleno limpio.....	59
3.8	Cálculo del tamaño del ventilador y potencia del motor.....	61
4.	BALANCE DE TUBERÍA	65
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
	CONCLUSIONES.....	77
	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFÍAS.....	81

APÉNDICES..... 83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Precipitador electrostático.....	2
2	Colector sedimentador	2
3	Colector centrífugo.....	3
4	Colector de bolsas.....	4
5	Colector de sistema positivo.....	7
6	Colector de sistema negativo.....	8
7	Tipos de filtración en colectores de mangas de tela	10
8	Sistema de limpieza Pulse-Jet.....	12
9	Croquis del colector de cemento Pulse-Jet 8x6	17
10	Sistema general de filtración.....	20
11	Tolva de colectores polvo.....	20
12	Ubicación del deflector y la tubería de succión a la tolva.....	21
13	Válvula manual de compuerta.....	23
14	Válvula de contrapeso, secuencia de desalojo.....	24
15	Válvula rotativa, operación.....	25
16	Sistema de descarga con gusano helicoidal en colectores.....	26
17	Sistema de descarga de colectores con sistema neumático...	27
18	Principio de filtración en una bolsa de tela.....	28
19	Sistema de tensión en Colectores Tensionor.....	29
20	Sistema de Colectores Tensionor.....	31
21	Manómetros diferenciales y puntos de conexión en colectores.....	32

22	Posiciones de válvulas para el sistema de Colectores Tensionor.....	33
23	Ventilador centrífugo.....	35
24	Direcciones de descarga en ventiladores centrífugos.....	36
25	Vector resultante según diseño de las aspas del impulsor, en un ventilador centrífugo.....	37
26	Especificaciones de resistencias que se pueden encontrar en un sistema de desempolvamiento.....	38
27	Tipos de chimenea que se colocan a la descarga de ventiladores.....	40
28	Diagrama de flujo del área de molienda en cemento.....	41
29	Diagrama de molienda excluyendo el circuito del producto; material fino, y ubicación de puntos de succión.....	48
30	Presentación de la forma en que se tendrán que conectar las tuberías de succión de cada uno de los puntos, hasta llegar a la tolva.....	49
31	Especificaciones para la construcción de pasos.....	50
32	Especificaciones para la construcción de campanas de succión.....	51
33	Diseño alternativo para codo auto limpiantes.....	52
34	Distribución de bolsas por compartimiento para el colector que se esta calculando.....	54
35	Primer par de tapaderas para la tolva.....	57
36	Segundo par de tapaderas para la tolva.....	57
37	Representación general de las tapaderas para la tolva.....	57
38	Posición del deflector y conexión de la tubería de desempolvamiento a la tolva.....	58
39	Válvula de aire reverso (sistema de limpieza).....	59
40	Distribución de altura en el colector.....	60

41	Curva característica de los ventiladores NORBLO H.S. para los tamaños entre 25 y 150.....	62
42	Sistema de filtración 510-FT1.....	65
43	Seccionamiento de la tubería colector 510-FT1.....	66
44	Resultado de los cálculos para el orificio de la succión en el punto 1 de la figura 44	69
45	Resultado de los cálculos para el orificio de la succión en el punto 2 de la figura 44.....	69
46	Dibujo esquemático de la instalación del orificio en tuberías..	70
47	Curva característica de ventiladores marca Norblo de alta velocidad para los tamaños de 25 a 150.....	90
48	Características para el diseño de pasos.....	93
49	Formas de hacer codos.....	94
50	Codo auto-limpiante y de baja caída de presión por fricción...	95
51	Alternativa de codo auto-limpiante y de baja caída de presión, coeficiente de pérdida por fricción de 0.27.....	95
52	Características de las campanas de succión rectangulares o cuadradas usadas en fajas, gusanos y regueras.....	96
53	Chimenea horizontal, descarga de ventilador.....	97
54	Chimenea vertical, descargas de ventiladores.....	98
55	Ubicación de puntos de medición de flujo laminar.....	108
56	En un corte transversal se ubican los puntos donde debe colocarse el pitot para una medición de 12 datos.....	108
57	En un corte transversal se ubican los puntos donde debe colocarse el pitot para una medición de 16 datos para una tubería cuadrada o rectangular.....	110

58	Posición en que debe de colocarse un tubo pitot tipo "L", en una medición.....	111
59	Hoja para el cálculo del flujo de aire en una tubería.....	112
60	Posición de succiones en elevadores de cangilones.....	113
61	Sección transversal del elevador.....	114
62	Detalle de las campanas en los desempolvamiento de elevadores.....	115
63	Ubicación y características de diseño en succiones principales y auxiliares en carga de fajas transportadoras de hule.....	116
64	Ubicación y características de diseño en succiones principales y auxiliares en carga de fajas transportadoras de hule.....	118
65	Sello en faldones para disminuir la entrada de aire falso y aumentando la eficiencia del punto de succión.....	119
66	Sistema de desempolvamiento en regueras (Air Slade).....	120
67	Punto de desempolvamiento en reguera, lado descarga.....	121
68	Sistema de desempolvamiento transportadores helicoidales..	122
69	Sistema de desempolvamiento transportadores helicoidales..	123
70	Hoja de calculo, para el balance de tuberías de succión.....	125
71	Sección de paso.....	130
72	Hoja de cálculo en excel para el balance Blast Gate del punto 1 figura 44 ($d/D = 1$).....	133
73	Hoja de cálculo en excel para el balance Blast Gate del punto 1 figura 44 ($d/D = 0.85$) Balanceado.....	134

TABLAS

I	Relación de Q/A que se recomienda para los diferentes sistemas de limpieza en colectores de bolsa.....	11
II	Patrón de calves que se pueden utilizar para describir de una forma estándar y general fallas de bolsas en colectores..	16
III	Reporte de fallas de bolsas para el colector Pulse Jet 8x6.....	16
IV	Referencia para velocidades en la parte superior de tolvas y el tamaño de partículas que se podrían precipitar.....	22
V	Caudales tomando como base una velocidad de 3700 fpm se listan los diámetros equivalentes para cada uno de los tramos de tubería de la figura 30	49
VI	Condiciones del medio filtrante que estarán expuestas las bolsas.....	55
VII	Dimensiones de las tapaderas para construir la tolva.....	58
VIII	Caudales teóricos necesarios para evitar emisiones de polvo en la transición de material de la banda transportadora 1 (510-CS1) a la banda transportadora 2 (510-CS2).....	66
IX	Caudales medidos en el sistema de desempolvamiento del colector 510-FT1.....	67
X	Mediciones del sistema de desempolvamiento tomadas para la evaluación del balance del colector 510-FT1.....	67
XI	Sistema del colector 510-FT1 desbalanceado.....	68
XII	Especificaciones de los orificios en las tuberías para el balance del sistema.....	70
XIII	Sistema del colector 510-FT1 balanceado.....	71

XIV	Rangos de caudales en pies cúbicos por minuto, para los diferentes tipos de tamaños de ventiladores Norblo H.S. (Alta velocidad) para un rango de caídas de presión desde 3 hasta 12 SPWG.....	85
XV	Dimensiones de los diámetros, perímetro de los impulsores y las áreas de salida en los diferentes tipos de ventiladores marca Norblo.....	86
XVI	Velocidades de salida del aire en los ventiladores, para un rango de temperaturas desde -40 hasta 2000 ° F, para una presión barométrica constante de 29.92 in Hg.....	87
XVII	Velocidades de salida del aire en la descarga de los ventiladores para un rango de presiones barométricas desde 29.92 hasta 20.40 in Hg, a una temperatura constante de 70 ° F.....	88
XVIII	Valores para la relación de abertura (% R.O) según el valor obtenido de la relación presión estática - presión dinámica (SP/DP).....	89
XIX	Valores de las constantes para la ecuación B-1.....	91
XX	Factor de perdidas por fricción en pasos.....	93
XXI	Factores de fricción, según la relación R/D y el número de piezas con el que fueron construidas.....	94
XXII	Factor de pérdida por fricción para campanas cuadradas o redondas, en función del ángulo θ	96
XXIII	Factores de pérdida por fricción para chimeneas verticales con capota.....	98
XXIV	Propiedades de resistencia al ataque de propiedades químicas y físicas del Polipropileno, Poliéster, Acrílico y Fibra de Vidrio.....	99

XXV	Propiedades de resistencia al ataque de propiedades químicas y físicas del Nomex, Rytón, P-84 y Teflón.....	100
XXVI	Orden descendente del tipo de bolsa según el ataque a abrasión, química y absorción de energía.....	101
XXVII	Orden descendente del tipo de bolsa según la resistencia a exposición de temperatura	102
XXVIII	Factores para calcular la profundidad del pitot en ductos circulares dependiendo del número de mediciones que se deseen.....	109
XIX	Caudales para succiones auxiliares en carga de fajas en función del ancho de la faja.....	117
XXX	Valores de " k " en función de " d/D " y " Nre" para tuberías entre 2 y 14 pulgadas de diámetro.....	135

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área en pies cuadrados
A_{tc}	Área total de contacto o filtración en pies cuadrados
Q	Caudal de aire en pies cúbicos por minuto (cfm)
Q_{sop}	Caudal de aire inyectado por el soplador en cfm
CA	Columna de agua
ρ_{nw}	Densidad del aire a condiciones normales
DB	Diámetro de la bolsa en pulgadas
D	Diámetro de la tubería en pulgadas
E1	Elevador de canjilones No. 1
F_r	Factor de relación aire-tela
F1	Faja transportadora No. 1
G1	Gusano transportador No. 1
LD	Largo de la bolsa en pulgadas
', ft	Pie
BHP	Potencia del motor al freno
P	Presión
VP	Presión de velocidad (presión dinámica)
DP	Presión total
SP	Presión estática
", in	Pulgadas

R1	Reguera No. 1 (Aero-deslizador)
t	Temperatura en °F
Vaire	Velocidad del aire en pies por minuto (fpm)
PV	Velocidad periférica del impulsor
PV	Velocidad periférica del impulsor

GLOSARIO

Abrasión	Desgaste de la superficie por la erosión o fricción de partículas.
Acfm	Pie cúbicos de aire por minuto a condiciones actuales de operación.
Campana de succión	Es un accesorio que se coloca en los puntos de succión para evitar el succionamiento de partículas disminuyendo la carga de polvo en el aire.
Capa de polvo	Es la formación de polvo desarrollado en la superficie del medio filtrante antes de actuar la limpieza del compartimento.
Carga	se refiere a la cantidad de polvo en un volumen de aire determinado, en forma cualitativa.
Colector de polvo	Se refiere a la estructura que contiene filtros tipo bolsa suspendidos para coleccionar partículas.
Corrosión	Ataque químico en superficies metálicas, causado por condensación de vapores.

Difusor	Es una serie de placas las cuales distribuyen en forma equitativa dentro de la tolva los gases succionados.
Emisiones	Escape de partículas a la atmósfera por la chimenea o estructura del colector.
Espejo	También llamado “ placa separadora ”, es una placa con agujeros de motaje de bolsas que separa el pleno sucio del pleno limpio.
pH	Valor que indica la acidez o alcalinidad del material. Un valor de 7.0 es neutro, mayor es básico.
Partícula	Cualquier materia sólida o líquida en la atmósfera.
Pleno limpio del colector	Comprende todas aquellas secciones del colector donde no se tiene presencia de polvo, por lo regular: “los compartimentos”.
Pleno sucio del colector	Comprende toda aquella sección del colector donde se tiene presencia de polvo, por lo regular: “ la tolva ”.
PSI	Unidad de presión en libras por pulgada cuadrada.

Puerta de inspección	Son compuertas colocadas en tolvas y compartimentos que sirven para facilitar la limpieza, revisión y mantenimientos de los mismos.
Pulgadas de agua	Unidad de presión igual a la presión ocasionada por una columna de agua de una pulgada de altura bajo condiciones estándar (70° F a 27.7 pulg. Agua = 1 PSI.).
Punto de succión	Se refiere al punto donde el proceso de recolección comienza.
Relación Aire-Tela	Es una expresión matemática de la cantidad de tela necesaria para filtrar un volumen de aire a cierta velocidad de flujo.
RPM	Revoluciones por minuto.
SCFM	Pies cúbicos por minuto a condiciones estándar de temperatura y presión (70° F a 1 PSI).
Sello de puertas	Diferentes tipos de materiales usados en puertas o marcos para prevenir fugas o filtraciones de aire.
Shaker	Sistema de limpieza por sacudido mecánico de colectores de bolsas.
Sistema de descarga automática	Mecanismo que es instalado en colectores de operación continua para el vaciado de la tolva.

SPWG	Presión estática columna de agua.
Tubo pitot	Instrumento usado para medir la presión dinámica del aire en tuberías.
Ventilador	Es el equipo encargado de causar un diferencial de presión, moviendo el aire por el sistema.
VP	Es la presión de velocidad conocida como presión dinámica, y se expresa en pulgadas columna de agua.

RESUMEN

El informe consta de 4 capítulos y apéndices los cuales su contenido se listan a continuación.

Capítulo 1, se presenta una visión general de los equipos existentes para la captación de polvo, que los colectores se nombran auxiliares; si tienen la función de desempolvar los equipos de transporte, y de proceso; si desempolva el equipo principal. Además, que los colectores pueden utilizar cuatro principios de separación de partículas del aire: electricidad, agua, centrifugación; el menos eficiente, y bolsas de tela.

Capítulo 2, se enfoca en describir los componentes de un colector de bolsas y con sistema de limpieza de aire reverso, llamado Tensionor.

Capítulo 3, se basa en el diseño de un sistema de desempolvamiento con sistema de limpieza Tensionor. Involucra el cálculo de caudales necesarios para desempolvar los equipos de transporte de sólidos; según características, el cálculo de diámetros de tuberías de succión, el orden en que se deberán conectar las tuberías para formar el ramal y generalidades de los accesorios para el diseño (pasos, campanas de succión y codos direccionables). También, en el diseño del colector, la forma en que se calcula el número de bolsas; conociendo el caudal necesario a desempolvar, las dimensiones del plenum limpio, tolva, deflector y válvula de aire reverso. Presenta la secuencia del cálculo para identificar el tamaño del ventilador a utilizar, potencia del motor a instalar y revoluciones del impulsor. Y por último las características de la chimenea.

OBJETIVOS

General

Poder diseñar sistemas de desempolvamiento para equipos de transporte de sólidos, en la industria cementera con procesos a base seca, utilizando colectores de polvo con sistema de filtración de bolsas.

Específicos

1. Conocer los diferentes tipos de colectores y sus características
2. Conocer las partes en que se divide el colector de polvo con sistema de limpieza tensionor.
3. Ubicación de los puntos y cálculos de los caudales necesarios para el desempolvamiento de los equipos de transporte, tales como: elevadores de cangilones, fajas transportadoras, gusanos helicoidales y regueras.
4. Diseñar tuberías de succión, codos y campanas de desempolvamiento, para un sistema de transporte en una sección de molienda.
5. Diseñar el colector con sistema de limpieza Tensionor basándose en el flujo de aire que se desea filtrar.

6. Determinar el tamaño del ventilador, la potencia del motor y velocidad impulsor para mover un caudal determinado.
7. Como poder llevar un control de fallas de los colectores.
8. La importancia de llevar un control de fallas de las bolsas en los colectores.
9. Balanceo del sistema de succiones del colector 510-FT1, por el método Blast Gate.

Capítulo 4, se presenta la forma de cómo fue balanceado un ramal de tuberías de desempolvamiento, utilizando el método de Blast Gate. Este método; aunque es trabajoso, ha resultado ser efectivo.

Apéndices, es una recopilación valiosa de información proporcionada por expertos, además de la experiencia adquirida en el desarrollo de proyectos para el desempolvamiento de transporte de materiales.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es que el lector aprenda a diseñar sistemas de desempolvamiento; desde el cálculo de los flujos necesarios a succionar hasta la descarga del ventilador, para equipos utilizados para el transporte de materiales sólidos tales como: regueras, elevadores de cangilones, gusanos helicoidales y bandas transportadoras. Estos equipos son utilizados en plantas de cemento con procesos a base seca y utilizan colectores de polvo como sistemas de recolección de polvo fugitivo.

En el proceso del cemento existen cinco etapas principales las cuales son: cantera; extracción de materias primas con un tamaño máximo de 2 pies de diámetro, trituración; reducción de materias primas hasta un tamaño máximo de 7/8 de pulgada, molinos de harina; reducción de material de tal forma que en la malla de 90 micrones se tiene un retenido del 15 %, clinkerización; en hornos rotativos donde se coce la harina para producir clinker, y molinos de cemento; donde finalmente se muele el clinker, yeso y otros materiales dando como resultado el cemento.

El clinker es el componente activo del cemento, que es formado en la etapa previa a los molinos de cemento, por la reacción de carbonato de calcio (CaCO_3) contenido en la caliza, con óxidos de sílice, aluminio y hierro; provenientes de las arcillas. El yeso (CaSO_4) no es directamente responsable de las propiedades del cemento, sin embargo, su importancia radica en que retarda el tiempo de fraguado, permitiendo que el cemento pueda ser trabajado y moldeado. La arena volcánica es un material que posee propiedades

hidráulicas. Todos estos materiales son livianos polvorientos, cuando la humedad es menor al 3 %.

En el momento del transporte de materiales y se tienen cambios de un equipo a otro, se crea una turbulencia provocada por la colisión del material en el otro equipo y es donde los mas finos al no poderse precipitar se esparcen en el aire creando una nube de polvo en el área. Estos finos se deben recolectar por medio de sistemas de desempolvamiento y retornarlos al proceso para que puedan terminar la etapa en que se encuentran.

En la planta, los sistemas de desempolvamiento tienen la función de evitar la emisión de polvo fugitivo en los equipos de transporte, evitando así la contaminación ambiental y generando un ambiente agradable de trabajo para los trabajadores. Cada uno de estos equipos de transporte tienen sus propias características, la cual tiene que tomarse en cuenta para el cálculo del flujo requerido de succión.

Los sistemas de desempolvamiento para su diseño se dividen en 4 partes principales que son: tubería de succión, colector de polvo, sistema de limpieza y ventilador de tiro.

La tubería de succión se calcula basándose en el caudal de succión necesario y con parámetros de velocidad de transporte dentro de parámetros establecidos; éste ultimo, con el objetivo de evitar problemas posteriores de taponamientos; por precipitación del material debido a bajas velocidades dentro del ducto, o desgaste; debido a altas velocidades, por el contacto del material con la lamina del ducto.

Para la forma de recolección del polvo se analizaron las diferentes tecnologías existentes para la filtración del polvo en el aire. Analizando una a una, cada tecnología y tomando como base la eficiencia de separación entre gas-sólido a tal punto donde las emisiones al ambiente; por la ineficiencia del sistema, no sobrepasara los 25 mgr/Nm³, aún cuando al sistema este entrando una concentración de 30 gr/Nm³ se obtuvo:

Colectores Electrostáticos, trabaja con campos magnéticos a altos voltajes, relación de área entre placa-electrodo y Velocidad del flujo filtrando. Este sistema esta catalogado que sus emisiones oscilan entre 100 y 60 mgr/Nm³ por lo cual fue descartado.

Colectores Sedimentadores, Su principio de operación es a base de agua y aunque este tipo de colectores puede llegar a tener emisiones por debajo de 25 mgr/Nm³, éste sistema fue descartado por el uso de agua.

Colectores Centrifugos, estos no son mas que ciclones estáticos y según diseño pueden alcanzar hasta un 96 % de eficiencia, lo cual implica que si la alimentación al ciclón es de 30 gr/Nm³ se tendrían emisiones alrededor de 1200 mgr/Nm³, por lo cual también fue descartado.

Final mente llegamos a los Colectores Tipo Bolsa, éstos se tienen catalogados como los más eficientes dado que sus emisiones pueden llegar hasta 3 mgr/Nm³ y los proveedores garantizan 10 mgr/Nm³, esto definitivamente va ligado a la relación Aire/tela que se diseñe.

Los sistemas de limpieza automáticos existentes son: Shaker, Tensionor y Pulse Jet. Estos sistemas han ido apareciendo en función de las generaciones como resultado de reingeniería en los colectores.

Un dato sumamente importante es el caudal que se desea filtrar, el cual no es mas que la suma de todos los caudales de desempolvamiento de los equipos que se deseen conectar a éste. Con el caudal y el sistema de limpieza que se desee se calcula el área filtrante.

Con el ventilador se debe poder mover el caudal necesario, además de vencer las resistencias ejercidas por el sistema. Para cumplir con estos requerimientos se tiene tablas y procedimientos donde se involucran: el tamaño necesario del ventilador en función de un rango de caudales capaz de mover, la potencia del motor a instalar y las revoluciones del impulsor.

Al finalizar el montaje y puesto en marcha el sistema se debe realizar un último paso, el cual trata de un balance en la tubería de succión, éste se realizará por el método de Blast Gate, en donde el fin del mismo es encontrar el diámetro de un orificio, el cual se perfora a una placa y se coloca en la tubería. El objetivo es tener desde cualquier punto de succión hasta la tolva del colector, la misma caída de presión. El balaceo de tuberías de succión con éste método ha tenido buenos resultados; aunque una persona que lo desee poner en práctica, debe de conocer las limitaciones.

El enfoque que la empresa le da a instalaciones de colectores es la de un ambiente de trabajo limpio, y no el de retorno de inversión ya que estas inversiones se ha evaluado que no se pagan ni a largo plazo.

1. GENERALIDADES

Se define como equipos auxiliares en la industria del cemento, a todos aquellos que se utilizan para el transporte de materiales de un lugar a otro, entre éstos se encuentran: fajas transportadoras, elevadores de cangilones, tornillos helicoidales (sin - fin) y regueras (aero-deslizadores).

1.1 Equipos para captación de polvo fugitivo

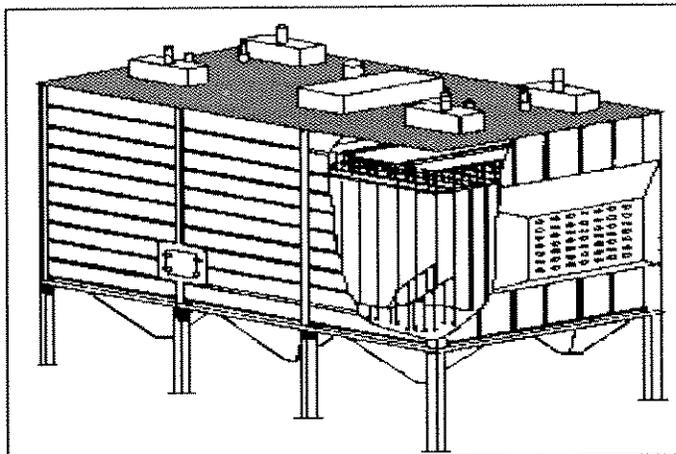
A estos equipos se les conoce con el nombre de colectores de polvo o desempolvamiento, y según sea el proceso de filtración se dividen en dos grupos, en el área cementera:

1.1.1 Colectores de proceso húmedo

1.1.1.1 Precipitador electrostático

En este tipo de colectores, el aire contaminado es succionado y pasado por una cámara (precipitador electrostático), la cual contiene electrodos y una serie de placas; cargadas positivamente. Antes de entrar, las partículas son cargadas electrónicamente en una torre sónica; en donde es inyectada agua a presión con difusores, las placas atraen partículas con carga opuesta. Son recolectadas cuando las placas son neutralizadas y agitadas cada cierto período de tiempo.

Figura 1. Precipitador Electrostático

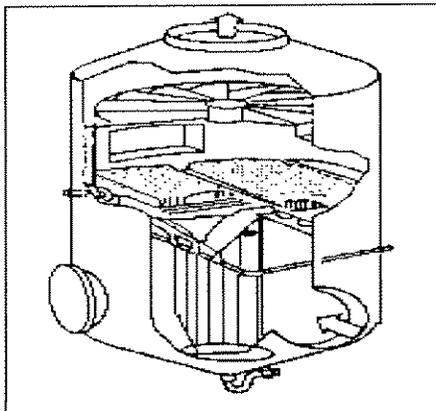


Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 3-2.

1.1.1.2 Colector sedimentador

Este tipo de colector usa agua con el fin de incrementar el peso de las partículas y recolectarlas, dejando pasar el aire limpio. En general las partículas son saturadas con agua y llevadas a un depósito de sedimentación en donde se recolectan.

Figura 2. Colector sedimentador



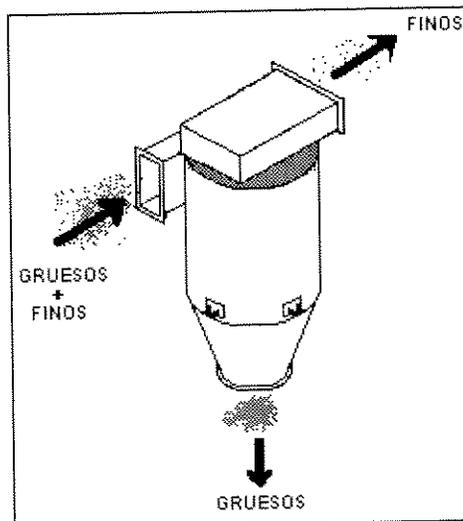
Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 3-1

1.1.2 Colectores de proceso seco

1.1.2.1 Colector centrífugo

En este sistema, el aire contaminado es forzado a fluir de manera circular en un cilindro, por lo que la fuerza centrífuga causa que las partículas más pesadas sean lanzadas a la parte perimetral del cilindro, cayendo y separándose del flujo del aire. Las partículas finas continúan con el flujo de aire. Por lo tanto, este equipo es utilizado únicamente para separar partículas grandes de las finas y en muchos casos son utilizados como colectores auxiliares, con el objetivo de disminuir el tamaño de las partículas en el aire a filtrar en colectores de filtros tipo bolsa.

Figura 3. Colector centrífugo

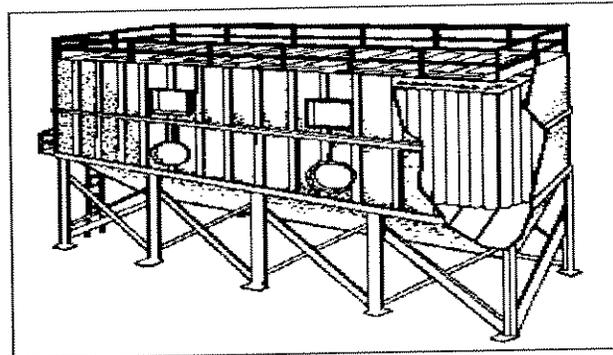


Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide, p 38

1.1.2.2 Colector de filtro tipo bolsa

Consta de una estructura cerrada que contiene filtros de tela en forma de bolsa. Tiene el mismo principio que una aspiradora doméstica; el polvo es transportado por medio de una tubería frágil y móvil de succión, recolectándolo en una bolsa de tela. Algunos de estos colectores no tienen que ser parados para una inspección minuciosa de las bolsas, debido que la estructura posee por lo menos dos compartimentos, por lo que puede deshabilitarse uno de ellos para su inspección en lo que el otro esté trabajando. Se tiene que tomar en cuenta que al realizar esta labor, se está sobrecargando a los demás compartimentos, por lo que se debe evitar la frecuencia y los largos períodos.

Figura 4. Colector de bolsas



Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 3-3

El aire contaminado es succionado entre el material de filtración para separar las partículas del aire. Este tipo de filtros ha sufrido dos modificaciones en el mecanismo de limpieza, creándose tres generaciones.

La primera generación, con el nombre de Shaker, utiliza sacudido mecánico con un poco de aire reverso. La segunda, con el nombre de Tensionor, utiliza únicamente aire reverso. La tercera y última, con el nombre de Pulse Jet, la cual utiliza un sistema de inyectado de aire reverso a presión, de tal manera que, vence la presión ejercida por la succión del ventilador y el material cae libremente a la tolva. Esta última es la excepción de los demás, teniendo la característica de poder ser un sólo compartimiento y para una inspección de bolsas se debe apagar el sistema.

1.2 Tipos de colectores en el proceso del cemento

Los colectores pueden dividirse en dos categorías, la cual es asignada dependiendo el equipo que desempeña en el proceso dentro de una planta¹.

1.2.1 Colector de desecho

También conocidos como colectores auxiliares. Es una unidad que aunque no es crítica para el funcionamiento de la planta industrial, representa peligro inmediato para los trabajadores o el medio ambiente y por lo regular, funciona como un factor de limpieza dentro de la planta, evitando emisiones de polvo en puntos de transferencia de materiales.

1.2.2 Colector de proceso

Por otro lado, son críticos y forman parte del proceso de producción y se caracteriza por desempolvar el equipo principal del proceso, por ejemplo en el área de molienda el colector de proceso desempolva al molino. Pueden ser usados continuamente las veinticuatro horas del día, los 365 días del año.

Normalmente procesan volúmenes extremadamente altos de aire, aunque esto depende directamente de la capacidad de venteo necesario en los equipos. Si el colector deja de funcionar por cualquier motivo, se debe detener el equipo principal de la planta, ya que para la operación eficiente del sistema, es necesario la operación del colector para la obtención de un buen producto; por el flujo de aire necesario dentro del equipo. Esto significa que el equipo principal se conecta con la operación del colector, si se detiene el colector, se detiene la producción.

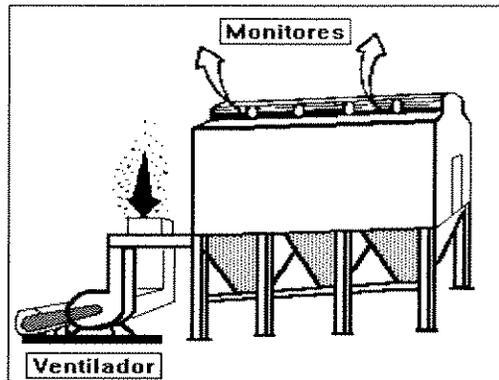
Dado a estos factores, los colectores de proceso son sometidos a revisiones con más rigurosidad y frecuencia que las sometidas a los colectores de desechos.

1.3 Posición de los ventiladores en los colectores

Los gases pueden ser impulsados o succionados al colector por un ventilador, colocado antes o después respectivamente.

Cuando el gas es impulsado hacia el colector, es llamado colector de presión positiva (figura 5). Éstos se caracterizan porque su estructura puede ser débil, ya que la presión es contrarrestada por la presión atmosférica, actuando en el cajón del colector.

Figura 5. Colector de sistema positivo

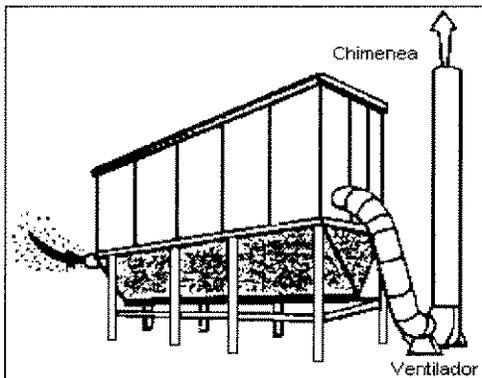


Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 4-7

Sin embargo, se tiene una gran limitación ya que el ventilador se encuentra en la parte sucia del sistema, produciéndose deterioro prematuro de las aspas y valeros (cojinetes) del ventilador. Esto es importante, debido a que la inversión de compra e instalación resulta baja, pero los mantenimientos preventivos resultan costosos a largo plazo. Estos tipos de colectores normalmente tienen varias chimeneas o salidas en la parte superior, llamadas monitores de techo. Este tipo de colectores se aconseja instalarlos cuando los gases son de poca humedad o con altas temperaturas. Una desventaja que presenta este tipo de colectores, al no tener chimenea principal, es la de no poderse medir la eficiencia de filtración del sistema.

Cuando el ventilador se encuentra después del colector, el aire contaminado es succionado hacia el colector y se le conoce como colector de presión negativa (figura 6). La estructura debe ser reforzada, ya que la presión negativa actúa junto con la presión atmosférica.

Figura 6 . Colector de sistema negativo



Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 4-7

El buen funcionamiento del filtro depende de que no puedan existir fugas de aire contaminado hacia el interior de la cámara. El deterioro del ventilador es mucho menor, debido a que las partículas son separadas del aire antes de entrar al ventilador. En este caso, la inversión inicial es elevada, pero los costos por mantenimientos preventivos son mínimos y pueden utilizarse para filtrar en todo tipo de ambientes. En estos colectores se puede realizar pruebas de emisividad de partículas; para calcular la eficiencia de la filtración, ya que para realizar esta prueba sólo es necesario una chimenea lo suficientemente larga, para que no exista turbulencia en el flujo del gas donde se colocaría el equipo para la prueba.

Todos estos colectores utilizan gran variedad de telas en forma de bolsas; para el proceso de filtración, basándose en la gama extensa de tamaños de partículas a filtrar, y composición química del gas. Las dimensiones de los colectores se encuentran amarradas al tamaño de la bolsa; longitud y diámetro, así como también al sistema de limpieza y flujo de aire a filtrar.

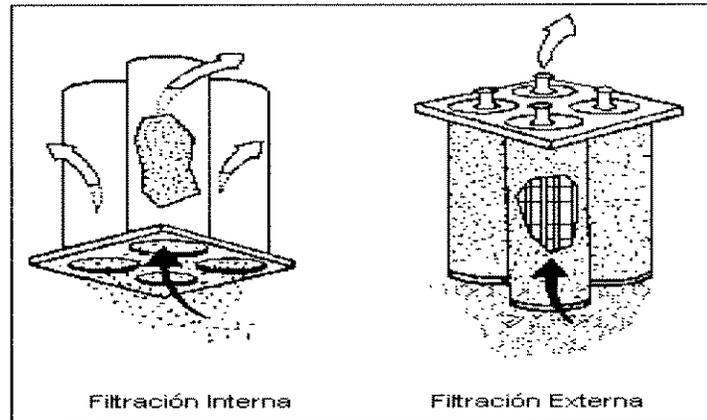
1.4 Filtración interior y exterior

En colectores tipo bolsa, la superficie de recolección de partículas depende del diseño que se tenga, pudiéndose recolectar el polvo en la parte interior o exterior de la bolsa.

Los colectores Tensionor y Shaker tienen **sistema de filtración interna**, en el cual las partículas son recolectadas en la parte interior de la bolsa y filtrado el aire sale limpio por la parte exterior. Por otro lado, la bolsa es sostenida en la parte superior con estructuras metálicas y en la parte inferior se conecta al espejo.

Los colectores Pulse Jet tienen **sistema de filtración externa**, en la cual las partículas son recolectadas en la parte exterior de la bolsa y el aire limpio sale filtrado por la parte interior. En este caso, las bolsas son sostenidas en la parte de arriba por el espejo y para mantenerlas firmes llevan una armazón por la parte interna conocida como canastilla.

Figura 7. Tipos de filtración en colectores de mangas de tela



Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 4-8

1.5 Proporción Aire-Tela en colectores

La proporción aire-tela (Q/A), es simplemente una relación matemática de la cantidad de área (A , en pie^2) de tela disponible para filtrar un cierto volumen de aire (Q , en cfm).

La proporción Q/A es un factor importante usado en el diseño y operación de colectores. Proporciones inadecuadas pueden contribuir a la ineficiencia de operación del colector. Si la relación es alta, puede tenerse un gran número de problemas, entre los cuales se pueden citar la compactación de polvo en las bolsas, capa de polvo fracturada, ruptura constante de bolsas, entre otras².

La desventaja principal de los colectores que operan a bajas proporciones de Q/A , es que tienen muchas bolsas, y esto hace que los costos

de mantenimiento se eleven.

Tabla I Relación de Q/A que se recomienda para los diferentes sistemas de limpieza en colectores de bolsa

Sistema de limpieza	Relación Q/A (fpm)
Shaker (Sacudido, Primera Gen.)	1.5
Tensionor (Aire Reverso, Segunda Gen.)	2.5
Pulse Jet (Aire Comprimido, Tercera Gen.)	6.0

Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, *p 4-8*

1.6 Tipos de limpieza

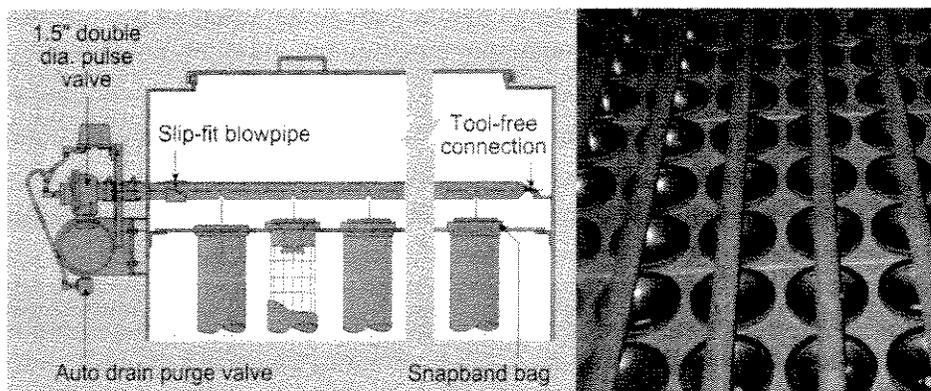
1.6.1 Limpieza intermitente

Este tipo de limpieza se da en colectores Tensionor y Shaker, cuando un compartimiento se aísla del proceso de filtración, por medio de una válvula y es limpiado; siguiendo una secuencia rotativa. Si el colector consta de un sólo compartimiento en el proceso de limpieza, el proceso de filtración se detiene por completo durante la limpieza, si el colector tiene por lo menos dos compartimentos o secciones; uno es limpiado, mientras el otro es sobrecargado duplicando la relación Q/A. Con este efecto se debe de tener cuidado ya que estas sobrecargas disminuyen considerablemente la vida útil de las bolsas.

1.6.2 Limpieza Continúa

Este tipo de limpieza se tiene en colectores completamente automáticos; basados en que son limpiados mientras funcionan. Aquí el proceso de filtración es interrumpido momentáneamente por un golpe de aire comprimido (aprox. entre 0.15 y 0.20 seg., con una presión de 90 psi) que limpia las bolsas comprendidas dentro de una sección; conectadas por una flauta. Este tipo de limpieza se da en colectores Pulse Jet, ver figura No.1.8.

Figura 8 . Sistema de limpieza Pulse-Jet



Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 3-3

1.7 Pérdidas de succión por fricción en la tubería

En todo sistema de tubería se pierde capacidad de succión, como resultado de la fricción ocasionada por el contacto del aire con las paredes de la tubería y accesorios. Por tal razón, se debe tener después del diseño de la tubería y la puesta en marcha un último paso, siendo éste un estudio para el balance del sistema de tuberías. Existen muchas formas de balancear el sistema, una es por el método denominado **Blast Gate**³, en donde el fin del

mismo es encontrar el orificio adecuado que se le debe perforar a una placa y colocarla en la tubería; como un accesorio adicional, el cual ejercerá la caída de presión necesaria para el balance de la línea. Este análisis se debe realizar en cada una de las ramificaciones existentes que provienen de las succiones y se conecten a un solo colector. Este método se presenta en el apéndice I.

1.8 Inspección y mantenimiento

Las inspecciones tienen como objetivo, descubrir desperfectos o anomalías en los sistemas de recolección, antes que sean críticos y causen desde la baja eficiencia del sistema, hasta el paro por completo del mismo. Los mantenimientos, representan el plan de acción para la reparación de los desperfectos o anomalía que se encuentran en las inspecciones.

1.9 Problemas en los sistemas de recolección

Los problemas principales que se pueden encontrar en general son cuatro: emisión de partículas en la descarga del ventilador, diferencial de presión alta, desgaste de la tubería de succión y corta duración de la bolsa.

1.9.1 Emisión de partículas en la descarga del ventilador

Una de las causas más frecuentes es la presencia de orificios en la bolsa, bolsas zafadas o fisuras en el espejo. La consecuencia de este problema, es el desgaste de las aletas del impulsor en el ventilador, y la

reparación del impulsor es mucho más costoso que la corrección de la avería. En el momento del cambio de las bolsas averiadas, se recomienda limpiar los compartimentos contaminados de polvo, la tubería conectada al ventilador y el cajón del ventilador.

1.9.2 Presión diferencial alta

Antes de efectuar cualquier movimiento, se debe conocer la caída de presión que se necesita en los compartimentos del colector, si se tiene una lectura alta se debe corroborar; limpiando el grifo de presión del pleno limpio, y tomando nuevamente la lectura. Si persiste o no fuera este el problema, podría ser que el sistema de limpieza funcionara con alguna anomalía; no funciona correctamente sello de la válvula, o simplemente los tiempos de limpieza no son los adecuados, por lo que el material no es desalojado de las bolsas. La consecuencia de este problema, es la disminución de succión en los puntos de desempolvamiento, por lo que disminuye la velocidad dentro del ducto, provocando taponamientos por material precipitado en tramos de tubería horizontal y emisiones de polvo en los puntos de succión; por la disminución del caudal de aire succionado.

1.9.3 Desgaste y taponamiento en tuberías de succión

Para el diseño de sistemas de tuberías de succión, se debe de tomar en cuenta el tamaño de las partículas a ser recolectadas; en forma cualitativa, para determinar la velocidad del aire en cada sección de tubería, y evitar este tipo de problemas. Otra causa sería por tener una menor o mayor caída de presión en los compartimentos del filtro; provocadas por la cama de material en las

bolsas, ocasionando las altas o bajas velocidades del aire en la tubería. Otra causa del problema puede ser por el mal diseño de la tubería; el cemento es muy abrasivo a velocidades mayores a los 4000 fpm, pero cuando son menores a los 3500 fpm se tienen los problemas de precipitación de partículas en las tuberías horizontales, creando los taponamientos por el material depositado.

1.9.4 Corta duración de la bolsa filtrante

La base de este problema puede tener varias alternativas, desde la alta relación aire-tela, hasta la reactividad de la tela con el medio filtrante. Se debe de tener conocimiento de las propiedades de la tela, tanto físicas como químicas y las propiedades del medio a filtrar, para evitar este problema, lo cual podría generar grandes pérdidas de productividad e inversión, por no realizar un buen estudio previo, ver apéndice D.

1.10 Control de fallas

Llevar un control de fallas de los colectores es muy importante, ya que de esta manera se podrán corregir problemas que se susciten con mucha frecuencia y son causa de paros y grandes gastos por mantenimiento. Este control no solo serviría para darnos cuenta de la frecuencia y la ubicación del problema, si no también tener una idea de las posibles causas que podían estar ocasionándolo y cual sería el procedimiento a seguir, para la corrección del mismo. Para evitar grandes informes, se puede usar un tipo de nomenclatura general, el cual englobe todos los problemas que se susciten, y lo más importante, que sea fácil de entender.

A continuación se presenta un tipo de reporte, utilizando como nomenclatura números y letras informando la posición y el tipo de falla, respectivamente. Este tipo de reporte es principalmente a una hoja, donde se incluyen los eventos anteriores con la fecha del inicio, la de acción y el tipo de acción tomada, para corregir el evento. Además, es recomendado adjuntar un mapeado de las bolsas del colector, sombreando la posición de la bolsa donde se encontró el problema (figura 9).

Tabla II Patrón de calves que se pueden utilizar para describir de una forma estándar y general fallas de bolsas en colectores.

<u>Localización de la falla</u>	<u>Tipo de falla.</u>	<u>Acción tomada.</u>
1.Parte alta de la bolsa.	a. Rotura vertical	BN. Bolsa nueva.
2.Parte media de la bolsa.	b. agujero.	BT. Bolsa anulada.
3.Parte baja de la bolsa.	c. Mala colocación.	N. Ninguna.
4.En toda la bolsa.	d. Tapado por material.	
	e. Costura.	
	f. Bolsa zafada.	
	g. Material fraguado.	

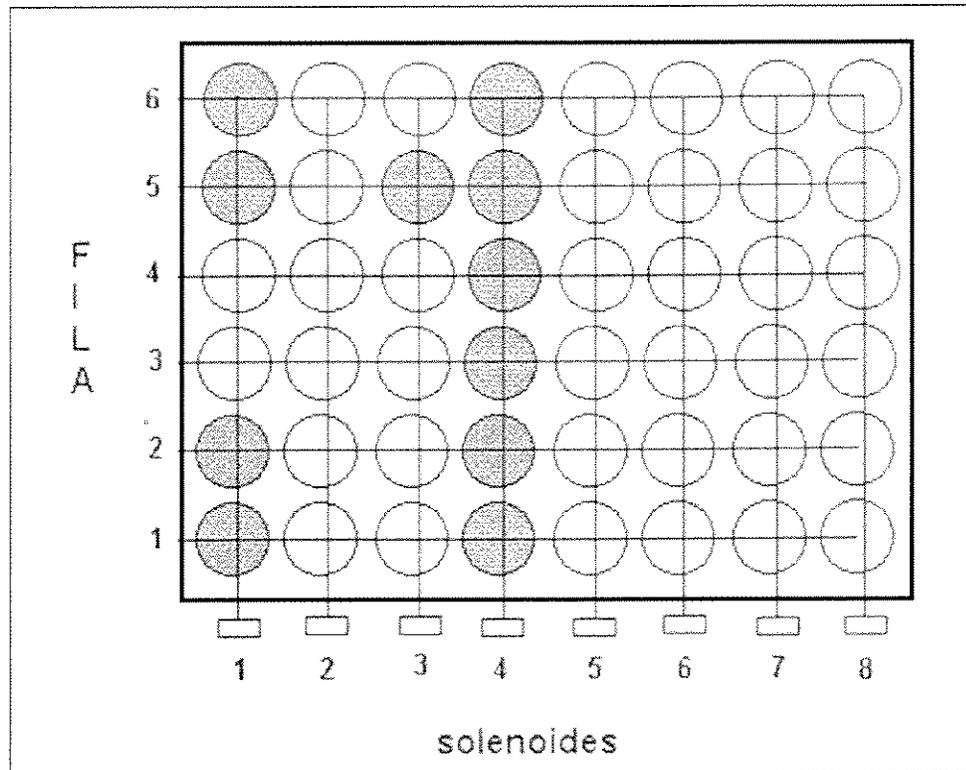
Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, sección de formatos

Tabla III Reporte de fallas de bolsas para el colector Pulse Jet 8x6

Ubicación del problema		FECHA (BOLSAS)			FALLA	ACCIÓN
Válvula	Fila	Instalación	Revisión	Problema		
1	1-2,5-6	12/02/93	12/02/93	1/03/93	3b	BN
3	5	12/02/93	12/02/93	1/03/93	1f	BN
4	1-6	12/02/93	12/02/93	8/06/93	4d	Rev. válvula

Fuente: Archivo colector pulse-jet 8x6, figura 9.

Figura 19. Croquis del colector de cemento Pulse Jet 8x6



Fuente: Trabajo de campo

¹ BHA Group. "Seminario de Mantenimiento de Colectores, para Cementos Progreso S.A.", (Kansas City: 1991), Sec. 2, p 5.

² Ibid., Sec. 2, p 16.

³ Industrial Ventilation Manual, American Confederation of Governmental Hygienists, (22 Ed., United States of America: 1995), pp 5-8.

2. PARTES EN QUE SE DIVIDE UN COLECTOR CON FILTRO TIPO BOLSA Y SISTEMA DE LIMPIEZA TENSIONOR

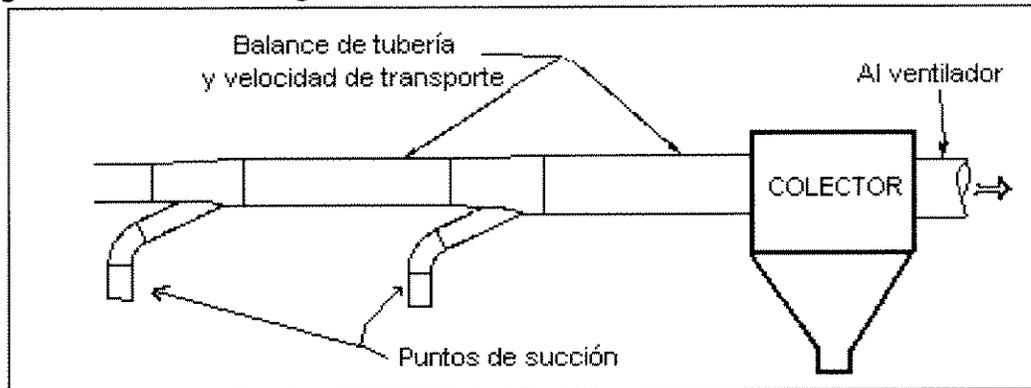
2.1 Tubería de desempolvamiento

Se le denomina a la tubería que se utiliza para transportar el aire contaminado hacia la tolva del colector. Entre los puntos que se deben considerar para el diseño de la tubería se encuentran: la presión barométrica de la región, el caudal requerido y temperatura del aire a succionar, la velocidad del aire dentro del ducto comprendida entre 3,000 y 4,000 cfm y lo importante de esto es mantenerlas, ver figura 10.

La ubicación y forma de conectar la tubería de desempolvamiento en los equipos auxiliares de transporte, se describe en el apéndice G, y las características de los accesorios tales como: codos, pasos y campanas; en el apéndice C.

En el diseño de los accesorios se deben de evitar los diseños que provoquen grandes caídas de presión, produciendo pérdidas de succión por fricción innecesaria. Las tuberías se prefieren de forma circular y no cuadradas, y aunque no se aconsejan tuberías horizontales, si fuera la única alternativa se deben de diseñar con velocidades cercanas a los 4,000 cfm sin olvidarlo que a estas velocidades se tendrían problemas de desgaste en la tubería por abrasión.

Figura 10. Sistema general de filtración

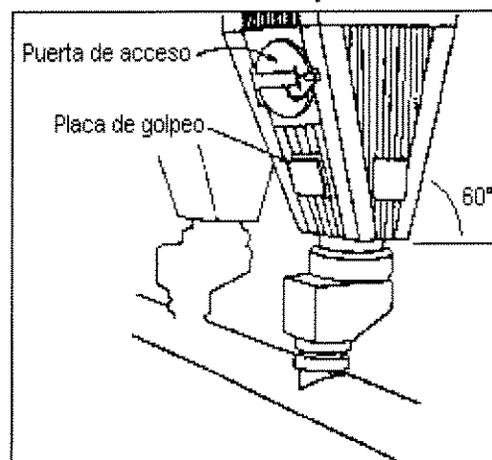


Fuente: Chemical Engineering; Febrero 1996, p 5-6

2.2 Tolva

Esto es la parte inferior del colector y donde se conecta la tubería de desempolvamiento, y es donde son recolectadas las partículas de polvo.

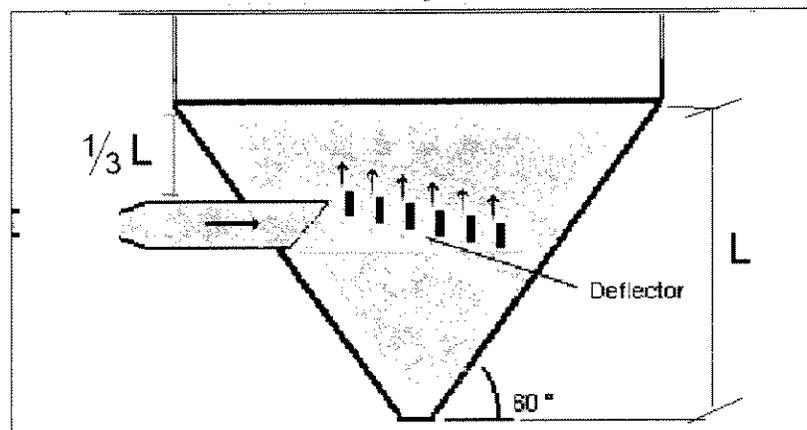
Figura 11. Tolva de colectores polvo



Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide, p 44

Precipitándose las partículas debido a la disminución de velocidad que experimentan en la transición del conducto hacia la tolva. Son diseñadas con pendientes de 60° ; ver figura No. 2.2, permitiendo el flujo libre de material desde la parte superior, hasta la parte inferior (punto de descarga). A esta sección se le denomina también como PLENO SUCION. Algunos fabricantes instalan dispositivos secundarios para ayudar a la descarga, entre los cuales se pueden mencionar placas de golpeo, entre los mas comunes, motores vibratorios o cornetas acústicas.

Figura 12. Ubicación del deflector y la tubería de succión a la tolva



Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 4-3

Aquí es donde se conectan los ramales de succión, los cuales deben de entrar a la tolva a una velocidad de 2000 fpm y horizontalmente. Además, se debe de conectar a $1/3$ de la altura de la tolva, de arriba hacia abajo. Si en caso la tolva tiene una sección transversal rectangular es necesario colocar gusanos helicoidales para transportar; internamente el material al punto de descarga la cual debe de estar de forma opuesta a la entrada de gases.

En la parte interior de la tolva se debe de instalar un deflector, este con el objetivo de distribuir equitativamente el polvo en las bolsas. Ver figura 12.

El tamaño de partículas que se precipitan en la tolva están en función de la velocidad del aire en el nivel más alto de la tolva. En la siguiente tabla se tiene los valores de velocidad del aire para que precipite cierto tamaño de partículas¹.

Tabla IV Referencia para velocidades en la parte superior de tolvas y el tamaño de partículas que se podrían precipitar

Partícula	Diámetro (μ)	Vel. Aire en la tolva (fpm)
Típica	5 - 10	150 – 200
Fina	1 – 5	75 – 150
Súper Fina	Menor a 1	25 - 75

Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 4-4

Para calcular el área de la tolva se utiliza la ecuación 2.1, en la cual se necesitan datos tales como: el caudal de aire que moverá el ventilador y las dimensiones transversales de la tolva.

Ecuación 2.1 Cálculo de velocidad del aire en la parte superior de la tolva

$$V_{\text{aire}} = Q_{\text{aire(cfm)}} / A_{\text{max tolva (pie}^2)}$$

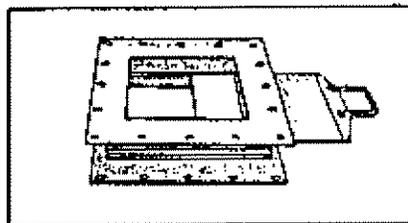
2.3 Sistema de descarga de la tolva

Este sistema se encarga de mantener vacía la tolva de material depositado, además de actuar como sello evitando la entrada de aire por este punto, el modo de descarga de material puede ser manual o automático.

2.3.1 Sistema manual

Éste es el mas simple; es la compuerta corrediza, en la cual una placa es sostenida por un armazón y sellada con empaques y será abierta manualmente, ver figura 13 cuando la tolva necesita ser vaciada, la placa es retirada y el material es descargado de la tolva.

Figura 13. Válvula manual de compuerta



Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide, p 93

Este sistema tiene el inconveniente de que el ventilador del colector debe de estar apagado antes de retirar la compuerta, para descargar la máxima cantidad de material. Este tipo de compuerta por lo regular es utilizado en colectores cuando el sistema de producción es por lotes. En el mejor de los casos y por lo general, se coloca un damper (compuerta) en el ducto de descarga del ventilador (chimenea) o en la tubería que se conecta en

el ventilador y es cerrado para evitar que se tenga succión, en ves de apagar el ventilador en el momento de la limpieza.

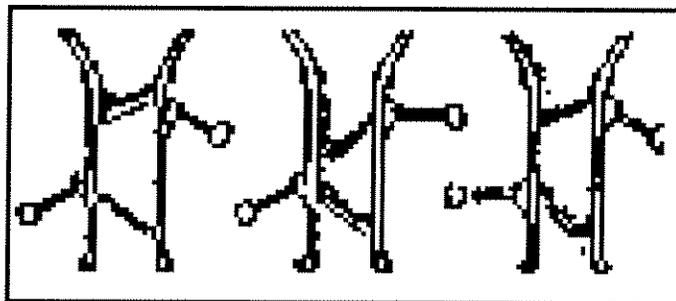
2.3.2 Sistema automático

Los dispositivos de descarga automática son instalados en colectores donde el proceso es continuo y no es posible parar o cerrar el damper del ventilador para la limpieza del colector.

2.3.2.1 Válvula de contrapeso

Estos dispositivos incluyen válvulas de escurrimiento; donde el peso del material vence el peso de la válvula superior, cuando el polvo cae; la compuerta superior se cierra y la inferior se vence del mismo modo abriéndose, descargando el material y evitando que entre aire falso (figura 14).

Figura 14. Válvula de contrapeso, secuencia de desalojo

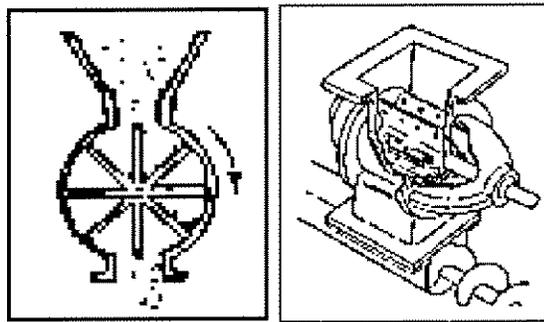


Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 6-20

2.3.2.2 Válvula rotativa

Este dispositivo es usado en colectores medianos y grandes y funciona por medio de motor conectado a una rueda de aspas (figura No. 2.3.2.2.1), las cuales forman un sello hermético con la tolva girando lentamente; aproximadamente a 30 rpm como máximo para de 8 a 12 pulgadas, permitiendo la descarga continua del material².

Figura 15. Válvula rotativa, operación



Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 6-19

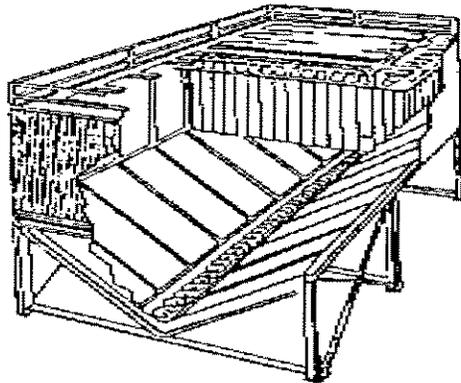
2.3.3 Sistema de transporte recolector

Éstos pueden ser transportadores sin-fin o transportadores neumáticos, son utilizados cuando la sección transversal es rectangular o se tienen varias secciones cuadradas en serie, ver figuras 16 y 17.

2.3.3.1 Transportadores de tornillo sin-fin

Estos transportadores son tornillos helicoidales con diámetros aproximadamente entre 10 y 12 pulgadas que giran a velocidades relativamente bajas; en un rango de 20 a 30 rpm colocados internamente en la parte inferior de la tolva; ver figura No. 2.7, es el encargado de recolectar el polvo depositado en el largo de la tolva y depositarlo en el punto donde se encuentre la válvula de rotación que por lo regular se encuentra en uno de los extremos de la tolva, pero existen casos especiales donde la rotativa se encuentra en el centro.

Figura 16. Sistema de descarga con gusano helicoidal en colectores



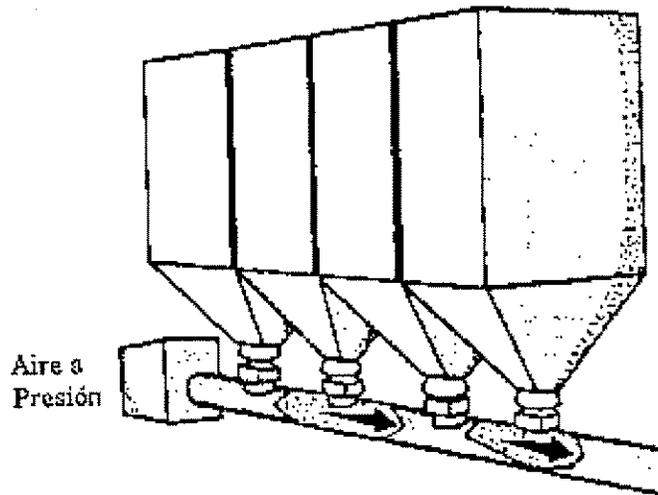
Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 6-20

2.3.3.2 Transportadores neumáticos

El principio de este tipo de transporte se basa en un ducto cilíndrico por lo regular, en el cual se le inyecta por uno de los extremos aire ya sea por medio de sopladores o compresores; ver figura 17, esto dependerá de las

distancias que se tengan que recorrer y concentración de material. Estos transportadores son colocados en la parte exterior y por lo regular descargan a silos de almacenaje.

Figura 17. Sistema de descarga de colectores con sistema neumático



Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 6-20

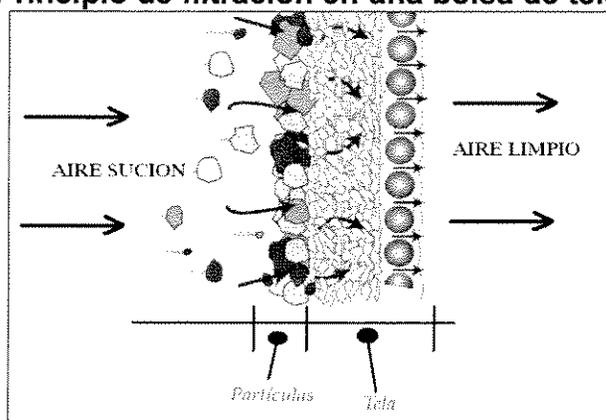
2.4 Bolsas de filtración

Aquí se presenta la frontera entre el pleno sucio y el pleno limpio. El polvo es retenido en el interior de la bolsa dejando que continúe su paso el aire "limpio", ver figura 18.

Los diámetros y largos de bolsas varían de 3 a 18 pulgadas y de 3 a 40 pies respectivamente.

Existe una gran variedad de tipos de bolsa, las cuales son fabricadas para resistir desde altas temperaturas (540 °F) así como también para evitar reacciones con los medios filtrantes.

Figura 28. Principio de filtración en una bolsa de tela



Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide, p 2

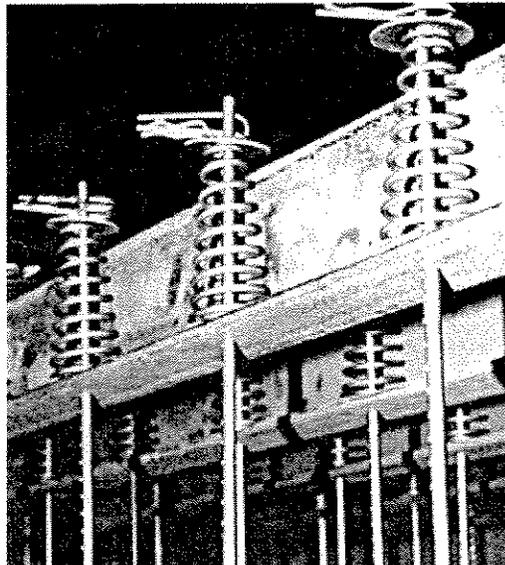
En el apéndice D se presentan las características de resistencia de algunos tipos de bolsa para filtración.

Para un buen funcionamiento de la descarga en la bolsa, es esencial que las bolsas sean colgadas verticalmente a tensión. El grado de tensión debe de ser cuidadosamente verificado como parte del programa de inspección³.

Una baja tensión aplicada a las bolsas puede causar fallas prematuras, entre las cuales una de ellas es la abrasión; como resultado del contacto del polvo con la bolsa hasta su rompimiento, o plegamiento; el cual evita el desalojo del material acumulado. Este último trae resultados tales como

aumento de la capa de material en la bolsa, dando un incremento en el diferencial de presión de los compartimentos. Para evitar los plegamientos existen bolsas con anillos anti-colapso los cuales dan buenos resultados, en donde los anillos de soporte, evitan el colapso de las bolsas en el momento de la limpieza.

Figura 19. Sistema de tensión en Colectores Tensionor



Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide , p 24

Si el diferencial de presión aumenta, se debe de tener un mayor consumo de energía por parte del ventilador para mover el caudal que se requiere. El aumento de energía no pasa realmente dado que el sistema de control no es automático, lo que pasa es un descenso en el caudal total del ventilador y trae como consecuencia acumulaciones de material en los ductos por la disminución de velocidad en los mismos y/o rompimiento de bosas por el alto

diferencial en la cámara, generando así emisiones de polvo en los puntos de succión o en la chimenea, respectivamente.

2.5 Compartimentos

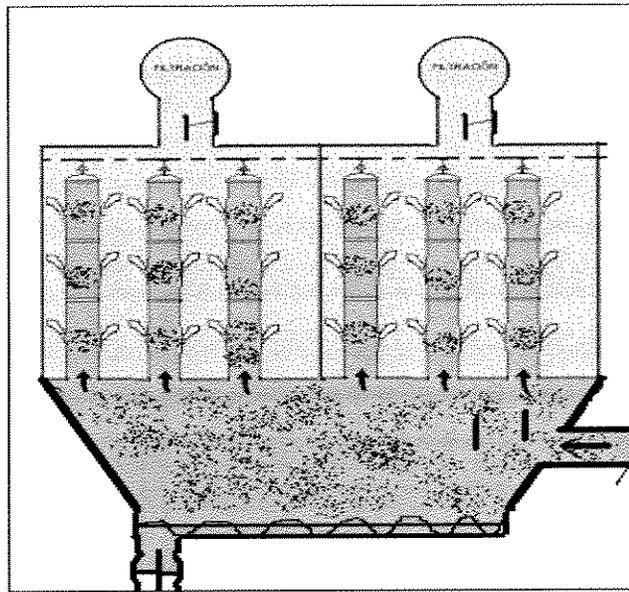
Éstos también se conocen con el nombre de cámaras o cuartos y en su interior se encuentran las bolsas de filtración. Tiene la característica de ser herméticos y su estructura reforzada; con el objeto de evitar los colapsos de compresión y expansión ejercidas por el ventilador en el momento de la filtración y limpieza, respectivamente.

En su interior; en la parte superior, contiene la armazón que puede ser una malla o varillas de metal en donde se conectan las bolsas con un resorte; para ejercer la tensión necesaria a la bolsa, y en la parte inferior un espejo; el cual consta de agujeros en los cuales son conectada la otra parte de la bolsa, ver figura 20.

Se debe de hacer énfasis que la conexión de las bolsas con el espejo, debiendo de ser hermético con el fin de que no exista paso de aire sin filtrar al plenum limpio.

Existen empresas que venden a nivel industrial los espejos y tienen estándares de 20, 40 ó 54 agujeros y diámetros que oscilan entre 4 y 5 pulgadas. Se evalúan las necesidades del área filtrante necesaria y se compran, según especificaciones diámetro de la bolsa.

Figura 20. Sistema de Colectores Tensionor



Fuente: Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental, p 6-4

2.6 Compuerta de inspección

Son compuertas que deben ser instaladas para el ingreso de personal de mantenimiento a los compartimientos y tolvas en los colectores, con el fin de poder realizar las inspecciones de los sellos de las bolsas, resortes de tensión y la evaluación de las estructuras.

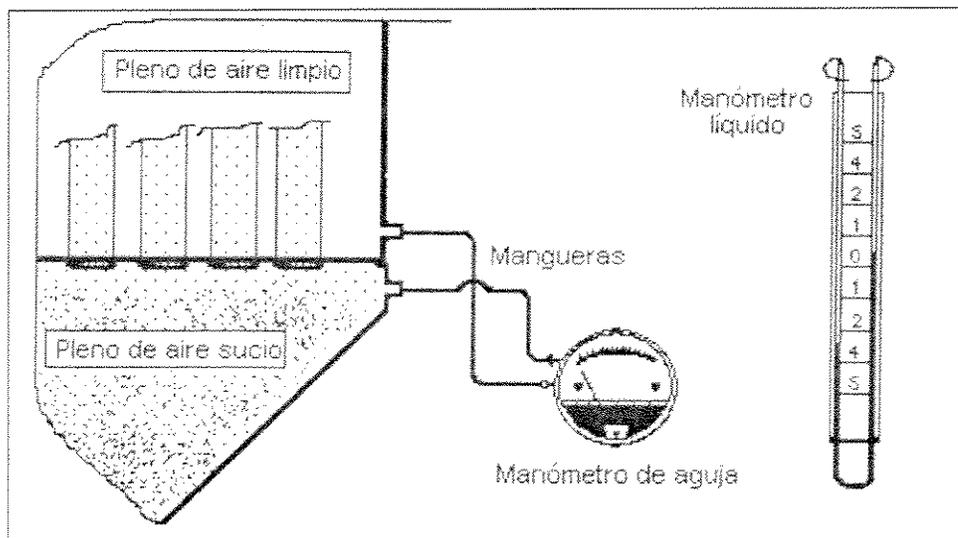
Estas compuertas deben ejercer buen sello para evitar la entrada de aire falso, además de tener la característica de poderse abrir fácilmente y que pueda pasar una persona de tamaño y peso promedio.

2.7 Manómetros

Éstos son instrumentos utilizados para medir la diferencia de presión estática existente entre el plenum limpio y el plenum sucio. El diferencial de presión (ΔP) es la variable que describe la resistencia que ejerce la tela más la capa de polvo que se valla formando, y el ventilador debe de ser capaz de vencer ésta y otras resistencias que se presenta el un sistema de filtración.

Existen dos tipos de manómetros: el de aguja y el otro de liquido tipo "U", por lo regular las escalas de lectura se encuentran en pulgadas o milibares, esto depende del proveedor y/o lo que se le pida. Lo que no se debe de perder es el fin por el cual se tiene, y es para medir un diferencial, siendo importante la comprensión de la unidad de medida por el personal predictivo y de mantenimiento.

Figura 21. Manómetros diferenciales y puntos de conexión en colectores



Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide , p 40

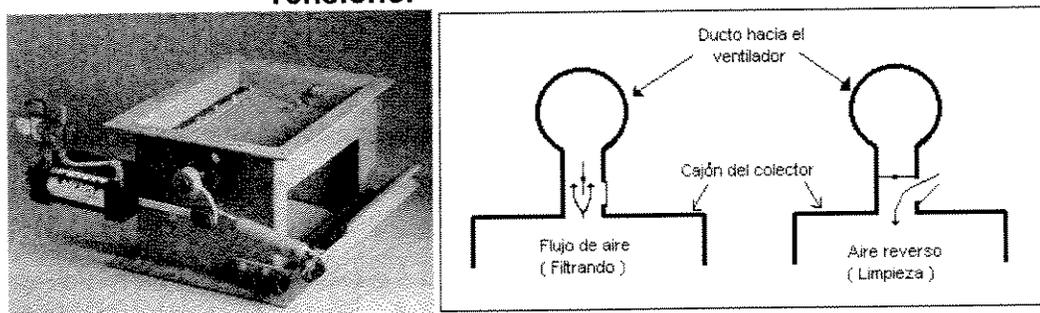
2.8 Mecanismo de limpieza

Éste, es una pieza importante en el colector y deben de funcionar sin problemas, ya que de esto depende el desalojo del material acumulado en la bolsa, y que el caudal de filtración se mantenga constante⁴, no son mas que dos válvulas; una interna que se cierra y la otra externa que abren, todo esto en el momento del ciclo de limpieza

¿Pero cómo debe de funcionar el mecanismo de limpieza y qué lo conforma?

En el momento de la limpieza el actuador; que puede ser un motor o un cilindro neumático, mueve dos compuertas, la interna bloquea la succión ejercida por el ventilador y la externa deja entrar aire fresco del ambiente, éste paso es el encargado de la limpieza. Después de un tiempo determinado el actuador retorna a la condición inicial, ver figura 22.

Figura 22 . Posiciones de válvulas para el sistema de Colectores Tensionor



Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide, p 53

El proceso de filtración, continua con los demás compartimentos de la misma manera. La necesidad de tener mas de un compartimiento es debido a que éstos ejercen succión al compartimiento que se esta limpiando, por lo que el aire ambiente es cruzado a pasar en sentido contrario a la dirección de filtración, soplando las partículas hacia fuera de la bolsa y haciendo que se depositen en la tolva.

La frecuencia de limpieza oscila entre 30 segundos a 3 minutos; entre la limpieza de un compartimiento a otro, efectuándose la limpieza entre 10 a 15 segundos. Estos valores dependerán de la carga del polvo en el aire, el número de compartimentos en el colector, el largo de la bolsa y el tiempo que tarda el actuado desde el momento que comienza a cerrar hasta que cierra completamente el ducto que conecta el compartimiento con el ventilador.

El colector opera con un diferencial de presión, el cual debe de ser mantenido por los ciclos de limpieza en cada uno de los compartimentos. Si la lectura del diferencial del colector se viera incrementada, se puede deber a tres razones en especial:

- Lectura errónea por registros tapados por acumulaciones anormales de material especialmente en el plenum sucio.
- El sistema de limpieza no funcione correctamente, por mal sello de las compuertas o el tablero no mande a limpieza.
- Mala distribución del aire en las bolsas en el plenum succión, por desgaste del deflector.

Si revisando estos puntos persiste el problema, puede ser que el tiempo de limpieza no sea el adecuado. De todos modos se debe asegurar que la segunda razón no sea realmente la responsable.

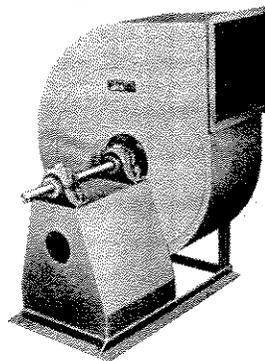
Por el contrario si el diferencial de presión es bajo, se debe a una excesiva limpieza; por lo que tampoco es bueno, ya que la vida útil de las bosas disminuye. Con esto se debe de aumentar los tiempos de limpieza.

Para todos estos cambios se recomienda modificar un tiempo a la vez; con los tiempos entre compartimentos (tiempos muertos) o con el tiempo que dura la limpieza (tiempo de filtración).

2.9 Ventilador

Éste es un equipo impulsor de gas; en nuestro caso aire. Por lo general es construido como ventilador centrífugo, el cual en su interior consta de un impulsor de disco y de paletas o alabes múltiples, encargado de impulsar el aire, ver figura No 2.14.

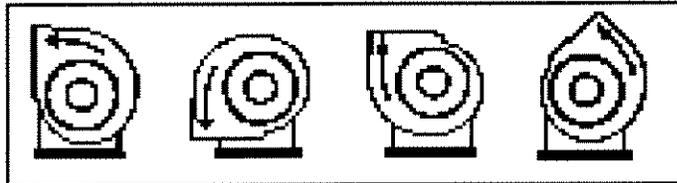
Figura 23. Ventilador centrífugo



Fuente: Norblo exhaust fans, p 6

Al impulsor también se le conoce con el nombre de rodete, el cual gira dentro de una carcaza o envolvente (cajón del ventilador), construido generalmente de planchas metálicas. Dicho envolvente tiene la forma de un espiral permitiendo que el aire sea lanzado de la periferia del impulsor a la periferia de la carcaza, con perdidas reducidas de presión y ligeras turbulencias, ver figura 24.

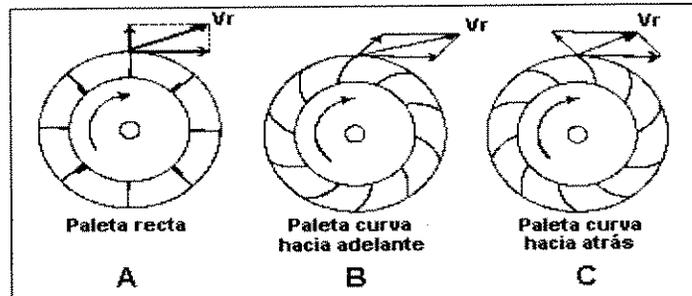
Figura 24 . Direcciones de descarga en ventiladores centrifugos



Fuente: Norblo exhaust fans, p 7

La forma de las paletas en el impulsor tienen acciones marcadas sobre la velocidad resultante de expulsión del aire; ver figura No 2.16, en la cual se observa que se tiene mejor eficiencia con los ventiladores de paletas curvada hacia delante con una eficiencia aproximada del 90 %, pero su costo de compra es elevado, ver figura 25. Si hablamos de mejor alternativa en su costo; con una eficiencia máxima del 70%, tenemos el de paletas rectas.

Figura 25. Vector resultante según diseño de las aspas del impulsor, en un ventilador centrífugo



Fuente: Norblo exhaust fans, p6

Para escoger un ventilador se deben de tomar dos aspectos en consideración:

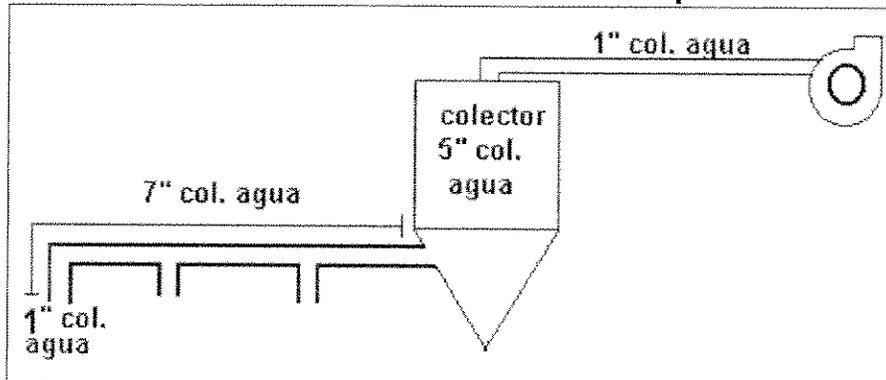
2.9.1 Presión estática a vencer

Un ventilador centrífugo tiene que vencer la caída de presión ejercida por todo el sistema de desempolvamiento, que por lo general serían:

- La caída de presión de la tubería que conecta al colector con el ventilador.
- La caída de presión en el colector.
- Fricción de la tubería de succión en el punto mas lejano (ruta crítica).
- Más una pulgada en el punto más lejano de succión.

Tomando de referencia el listado anterior y la figura No 2.17 se tendría: $1'' + 5'' + 7'' + 1'' = 14''$ SPWG

Figura 26. Especificaciones de resistencias que se pueden encontrar en un sistema de desempolvamiento.



Fuente: Trabajo de campo, colector Pulse Jet 8x6, molienda cemento

2.9.2 Caudal a mover

Una vez calculado el flujo necesario para el desempolvamiento en todos los puntos se debe de considerar de un 10 a un 15 % más del necesario, debido a que el damper de los ventiladores deben de trabajar más o menos a un 80 % de abertura. Con esto se pretende tener holgura por errores en los cálculos, por ejemplo el 5 % más del necesario para la limpieza.

El dato de temperatura de gases, es un dato que también es importante ya que nos ayudara a calcular mas o menos la potencia del motor.

En el apéndice A, se presentan datos adicionales necesarios para el cálculo del motor necesario, el tamaño del ventilador esta en función del caudal a mover. Estos datos pertenecen a ventiladores marca Norblo H.S. (alta

velocidad); en la tabla A-I se tienen los rangos que mueven los diferentes tipos de tamaños y en la tabla A-II los diámetros y otras medidas de los impulsores según sea su tamaño.

IMPORTANTE: No es recomendado construir los ventiladores por razones de seguridad, lo que se está presentando es una guía para identificar el ventilador y sus características.

2.10 Chimenea

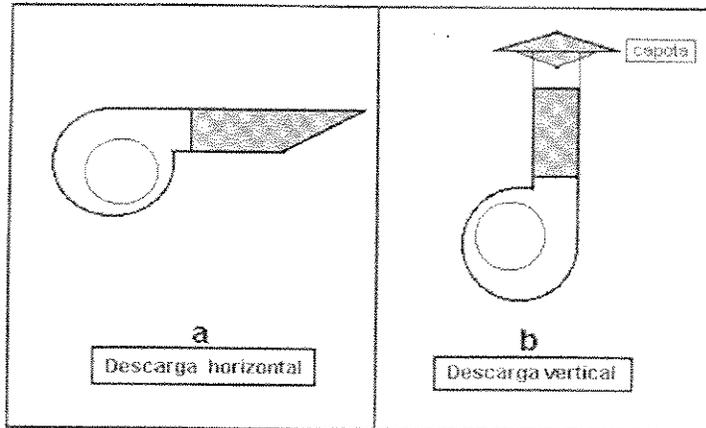
Las chimeneas son conductos que se conectan a la descarga de los ventiladores, dirigiendo el flujo de aire filtrado a la dirección que se desee.

Existen dos formas diferentes de chimeneas: la primera se tiene cuando el aire se descarga hacia los costados de forma horizontal; figura 27, y la segunda; cuando el aire se desea descargar hacia arriba en forma vertical, ver figura No 2.18.b. Éste último tipo de chimenea se caracteriza por tener una capota, con el fin de que cuando el ventilador este sin operar, no entre ningún tipo de material en el ducto, el cual pudieran provocar oxidación o pegaduras en el impulsor o estructura del mismo ventilador. Este tipo de chimenea no es muy recomendado, debido a que la capota ejerce una caída de presión adicional al sistema (ver apéndice C, sección 4), la cual debe de tomarse en cuenta en el cálculo de potencia del motor; ver figura 27, implicando un gasto de potencia innecesaria.

En lo que respecta a las dimensiones del ducto, lo único que debe de mantener es la relación de área en la descarga del ventilador y basándose en esto se calcula el diámetro; si fuese redondo, o sus aristas si fuese cuadrado o

rectangular. Respecto a la longitud se recomienda de 5 a 10 diámetros equivalentes, respecto a el área de descarga del ventilador.

Figura 27. Tipos de chimenea que se colocan a la descarga de ventiladores



Fuente: Industrial Ventilation, p 37

¹ Miller Croom Filter dust collectors (United States of America: McGraw-Hill, 1994) p 45.

² BHA Group "Seminario de mantenimiento de Colectores, para Cementos Progreso S.A. (Kansas City: 1991), Sec. 2, pp 12-13.

³ Ibid., Sec-2 p 20

⁴ Loc. Cit.

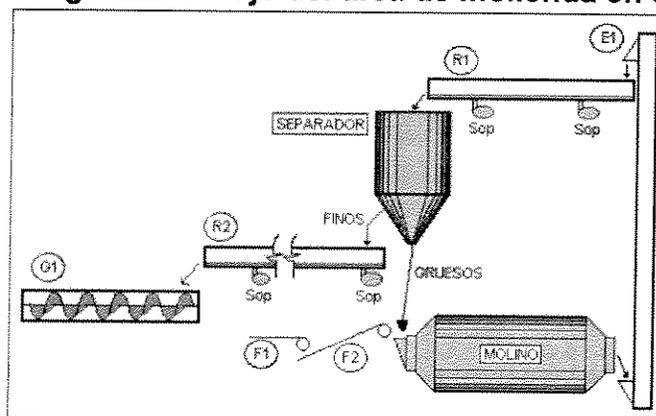
3. DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESEMPOLVAMIENTO

En este capítulo se presenta un sistema de molienda de cemento en el cual se deben de ubicar los puntos de desempolvamiento, calcular los caudales requeridos, calcular los diámetros de tuberías, el numero de bolsas del colector, el tipo de tela para la bolsa filtrante, dimensiones que debe tener la tolva, dimensiones del deflector, dimensiones de la tubería del plenum limpio, el tamaño del ventilador y características de la chimenea.

3.1 Puntos de desempolvamiento necesarios en una sección de molienda de cemento vía seca

En la molienda de cemento se tienen que desempolvar los equipos auxiliares, por lo que se tienen que calcular los flujos necesarios en cada uno de los puntos para evitar la emisión de polvo en el área. Ver figura No 3.1.

Figura 28. Diagrama de flujo del área de molienda en cemento



Fuente: Trabajo de campo.

Solución:

En el área se tienen dos fajas (F1 y F2), un elevador de cangilones (E1), dos regueras (R1 y R2) y un gusano sin-fin (G1). A continuación se presentan las características de cada uno de éstos y los puntos de despolvamiento necesarios.

Fajas

F1: En esta faja se depositan los diferentes materiales con que es alimentado el molino y descarga a la faja J2, tiene un ancho de 36 pulgadas y va a una velocidad de 190 fpm. Se tiene que despolvar la descarga.

F2: Ésta descarga directamente al molino, tiene un ancho de 24 pulgadas y va a una velocidad de 300 fpm. Se tiene que despolvar la carga y descarga.

Elevador

E1: Éste tiene un área transversal de 12 pie^2 (4 pies largo x 3 pies de ancho) y una altura de 70 pies. Se tiene que colorar dos puntos de despolvamiento, uno en la descarga y otro auxiliar.

Regueras

R1: Ésta tiene un ancho y largo de 2 y 30 pies, respectivamente, y tiene dos sopladores con una capacidad de 350 cfm cada uno. Aquí se colocará un desempolvamiento en la descarga.

R2: Ésta tiene un ancho y largo de 1 y 230 pies, respectivamente. Utiliza tres sopladores, a los cuales se les desconoce la capacidad. Aquí se colocarán dos puntos de desempolvamiento, uno a los primeros 100 pies y el otro en la descarga.

Gusano

G1: El cajón de éste tiene un ancho y largo de 1.5 y 20 pies, respectivamente. Aquí se colocará un desempolvamiento en la descarga

3.2 Cálculo de los flujos de succión requeridos en cada uno de los equipos

En la sección 2 del apéndice G se tienen las ecuaciones que se utilizarán para el cálculo del flujo de succión para el desempolvamiento requerido tanto en la descarga como en la carga de las fajas.

F1: para la descarga se tiene:

$$Q = 350 \text{ (cfm/pie)} * \text{Ancho de faja (pie) (Ec. G-2)}$$

$$Q = 350 \text{ (cfm/pie)} * 3 \text{ pies}$$

$$Q = 1,050 \text{ cfm}$$

F2: para la carga y descarga se tiene:

$$Q = 500 \text{ (cfm/pie)} * \text{Ancho de faja (pie) (Ec. G-3)}$$

$$Q = 500 \text{ (cfm/pie)} * 2 \text{ pies}$$

$$Q = 1,000 \text{ cfm}$$

Nota: En el punto de carga no se necesita succión auxiliar, debido a que no se tiene emisión de polvo en este punto. Esto solo se puede concluir realizando una inspección visual del área.

En la sección 1 del apéndice G, se tienen las ecuaciones para calcular el flujo de succión requerido en un elevador.

E1: Se tiene la ecuación G-1 en la sección de apéndices, la cual se utiliza para el cálculo del flujo de succión necesario, tanto en el punto auxiliar como en el principal.

$$Q = 100 \text{ (cfm / pie}^2 \text{)} * A_{\text{transv}} \text{ (pie}^2 \text{)} \quad (\text{ Ec. G-1})$$

$$Q = 100 \text{ (cfm / pie}^2 \text{)} * 12 \text{ pie}^2$$

$$Q = 1,200 \text{ cfm.}$$

En la sección 3 del apéndice G, se tiene la forma de calcular el flujo de succión requerido para el desempolvamiento en regueras.

R1: Como se conoce el flujo inyectado por los sopladores, se utiliza la ecuación G-4.

$$Q_{\text{succ}} = 1.1 * Q_{\text{sop}} \text{ (cfm)} \quad (\text{ Ec G.-4})$$

$$Q_{\text{succ}} = 1.1 * 700 \text{ cfm}$$

$$Q_{\text{succ}} = 770 \text{ cfm}$$

R2: En este caso como no se conoce el flujo inyectado, se utiliza la ecuación G-5.

- A los primeros 100 pies:

$$Q_{\text{succ}} = 10 \text{ (cfm/pie}^2 \text{)} * A_{\text{(trans)}} \text{ (pie}^2 \text{)} \quad \text{(Ec. G-5)}$$

Donde :

$$A_{\text{(trans)}} = 1 \text{ pie} \times 100 \text{ pies} = 100 \text{ pie}^2$$

$$Q_{\text{succ}} = 10 \text{ (cfm/pie}^2 \text{)} * 100 \text{ pie}^2$$

$$Q_{\text{succ}} = 1,000 \text{ cfm}$$

- A la descarga, por los siguientes 130 pies:

$$Q_{\text{succ}} = 10 \text{ (cfm/pie}^2 \text{)} * A_{\text{(trans)}} \text{ (pie}^2 \text{)} \quad \text{(Ec. G-5)}$$

Donde :

$$A_{\text{(trans)}} = 1 \text{ pie} \times 130 \text{ pie} = 130 \text{ pie}^2$$

$$Q_{\text{succ}} = 10 \text{ (cfm/pie}^2 \text{)} * 130 \text{ pie}^2$$

$$Q_{\text{succ}} = 1,300 \text{ cfm}$$

En la sección 4 del apéndice G, se tiene la forma de calcular el flujo de succión requerido para el desempolvamiento en gusanos.

G1: Se tiene la ecuación G-6, la cual se utiliza para el cálculo del flujo de succión.

$$Q_{succ} = 20 \text{ (cfm/ pie}^2 \text{)} * A_{(trans)} \text{ (pie}^2 \text{)} \quad \text{(Ec. G-6)}$$

Donde

$$A_{(trans)} = 1.5 \text{ pie} \times 20 \text{ pie} = 30 \text{ pie}^2$$

$$Q_{succ} = 20 \text{ (cfm/ pie}^2 \text{)} * 30 \text{ pie}^2$$

$$Q_{succ} = 600 \text{ cfm}$$

3.3 Ramales y cálculo de diámetros de tuberías

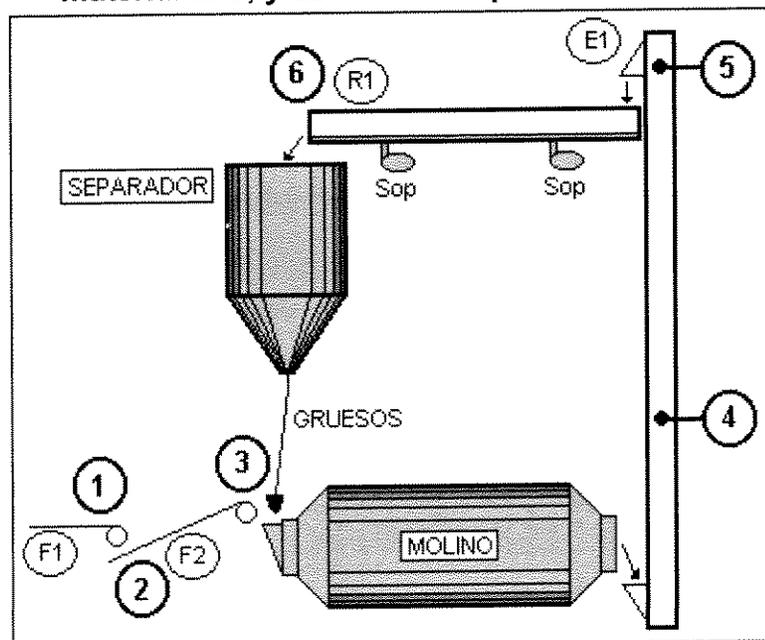
Se debe de tomar en cuenta que un sólo filtro para todas estas succiones no es lo más adecuado, esto porque se debe descargar el material recolectado en un punto del recorrido del sistema, el lugar donde descargue el colector no debe de ser ajeno al sistema al cual se este desempolvando. También se debe evitar un circuito cerrado del polvo succionado, si el polvo descargado por el colector es succionado nuevamente en un punto de succión, en el peor de los casos se debe encontrar una forma de succionar la menor cantidad del mismo.

En la figura 28, se nota que en los últimos puntos de succión ya se tiene el producto, y en los demás todavía no. Por esto, se deben instalar dos colectores en el sistema; el primer colector para el desempolvamiento de la J1, J2, E1 y R1; ver figura 29, y con un segundo colector, para la R2 y el G1.

El segundo colector no será tema de cálculo en este trabajo, por lo que el lector lo puede tomarlo como ejercicio siguiendo y repitiendo los pasos de aquí en adelante.

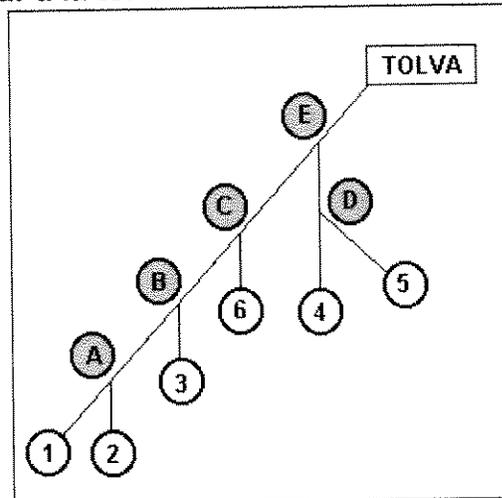
En la figura 29 se encuentran los puntos a succionar con el primer colector. También se debe de tomar nota que la descarga del colector debe de ser en la reguera R1, para evitar recirculación de material

Figura 29. Diagrama de molienda excluyendo el circuito del producto; material fino, y ubicación de puntos de succión



Fuente: Deducciones del inciso 3.1

Figura 30. Presentación de la forma en que se tendrán que conectar las tuberías de succión de cada uno de los puntos, hasta llegar a la tolva



Fuente: Trabajo de campo

Tabla V Caudales tomando como base una velocidad de 3700 fpm se listan los diámetros equivalentes para cada uno de los tramos de tubería de la figura No. 3.3

SECCIÓN	Q (cfm)	Diam. (Pulg)
1 - A	1050	7 3/16
2 - A	1000	7 1/16
B - A	2050	10 1/16
3 - A	1000	7 1/16
B - C	3050	12 5/16
6 - C	770	6 3/16
C - E	3820	13 12/16
4 - D	1200	7 11/16
5 - D	1200	7 11/16
D - E	2400	10 14/16
E - Tolva	7220	18 15/16

Fuente: Ecuación H-1.

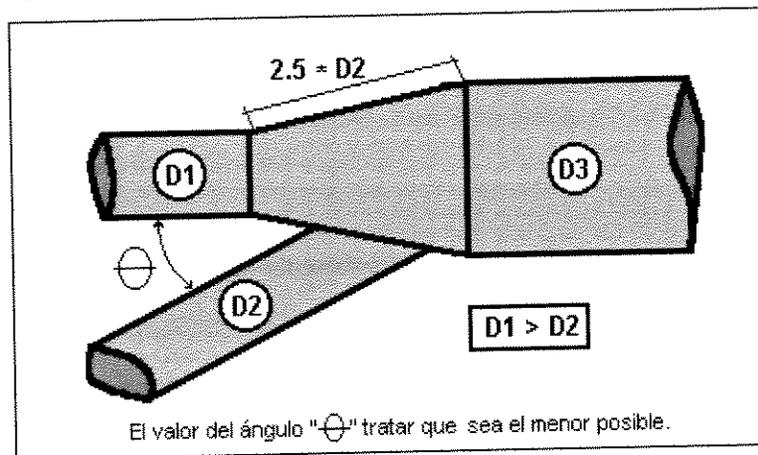
Se tiene la observación que los tramos de tubería no se tendrán tramos horizontales.

3.4 Especificaciones para la construcción de accesorios

3.4.1 En pasos

La condición que debe tenerse en cuenta siempre, es únicamente que el ángulo que formen las dos tuberías que se conectan, no debe de sobrepasar los 35°; evitando así, grandes pérdidas de succión por fricción, ver apéndice tabla No. C-1. Una forma fácil de estandarizar las condiciones en el diseño de los pasos evitando este problema, se muestra en la figura No. 3.4.

Figura 31. Especificaciones para la construcción de pasos



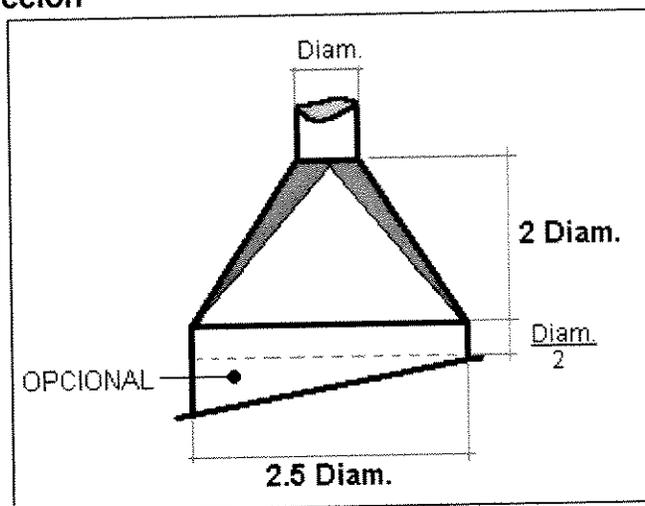
Fuente: Chemical Engineering; Febrero 1996, p 5-16

3.4.2 En campanas

La forma de conectar las tuberías de succión para el despolvamiento de los equipos es importante, ya que de esto depende el tamaño de la partícula que sea colectada. Para esta tarea se utilizan campanas de succión, con las cuales se esta asegurando que las partículas no se precipiten, formando taponamientos de material en tuberías de inclinaciones inadecuadas (tuberías

semi-horizontales). Al igual que en los pasos, las campanas crean pérdida de succión por fricción. Para no tener pérdidas considerables de succión por el diseño de la campana, se presenta la figura No. 3.5. la misma, presenta un coeficiente de fricción equivalente de una campana de succión con un ángulo " θ " igual a 45 grados. Ver tabla No, C-III. el tramo opcional se utiliza en situaciones cuando se tiene que nivelar la tolva de succión.

Figura 32. Especificaciones para la construcción de campanas de succión



Fuente: Datos de campo.

3.4.3 En codos

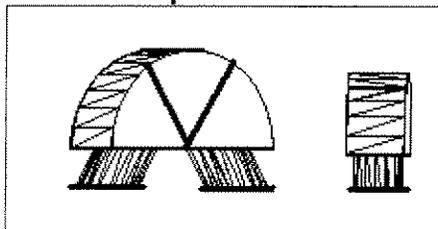
En la sección 2 del apéndice C se presentan dos tipos de codos, los cuales son utilizados según la ocasión.

En el primero de los casos; figura No. C.2, se utilizará cuando la tubería de succión son horizontales. Si por algún caso se utilizara este tipo de codos, se debe procurar que la relación R/D sea lo máximo posible y el diseño del codo lo más liso, evitando así los problemas a corto plazo de

abrasión. En este tipo de casos no se puede escapar al desgaste del codo, pero es mucho mejor que sufrir los problemas por taponamientos. Debido a este problema es recomendado conectar con bridas el codo, facilitando así el cambio del mismo cuando sea necesario.

En el segundo; figura 52, cuando se desea cambiar la dirección del aire; que va hacia arriba, para abajo. Con este tipo de codos no se tienen problemas de taponamientos o desgaste. Pero tiene el inconveniente que el costo de fabricación es alto. Siguiendo esta línea se tiene una alternativa que se probó en planta y ha funcionado, esta alternativa se presenta en la figura 32 y aunque tiene un coeficiente de fricción de 0.27, no se tienen problemas de desgaste como en el primer caso y el costo de fabricación es la mitad del costo de fabricación de un codo auto limpiante estándar.

Figura 33. Diseño alternativo para codo auto limpiante



Fuente: Trabajo de campo

Este diseño se basa en la mitad de un cilindro, el cual tiene de diámetro y largo, 3 y un diámetro equivalente respectivamente, de la tubería que se conectara.

3.5 Diseño del colector

3.5.1 Número de bolsas y compartimentos del colector

Como se sabe, se desea desempolvar 7,220 cfm de aire, para lo cual se necesita saber el número de bolsas necesarias y las dimensiones del colector si se instalará un sistema de limpieza de aire reverso (Tensionor).

Encontrando el área total de contacto (Atc) que también se le conoce con el nombre de área de filtración, se tiene la ecuación 3-1, que es la relación de caudal entre área:

$$Atc = Qv / Fr \quad (Ec. 3-1)$$

donde: **Qv** es el caudal de filtración, en cfm

Fr es la relación Aire-tela, en fpm (2.5)

$$\begin{aligned} Atc &= 7,220 \text{ cfm} / 2.5 \text{ fpm} \\ &= 2,888 \text{ pies}^2 \end{aligned}$$

Encontrando el número de bolsas que se necesitan se tiene la ecuación 3-2 que esta en función del largo y el diámetro de la bolsa:

$$\text{No. bolsas} = 45.83 * Atc / (DB * LB) \quad (Ec. 3-2)$$

donde: **DB** es el diámetro de la bolsa, en pulgadas.

LB es el largo de la bolsa, en pulgadas.

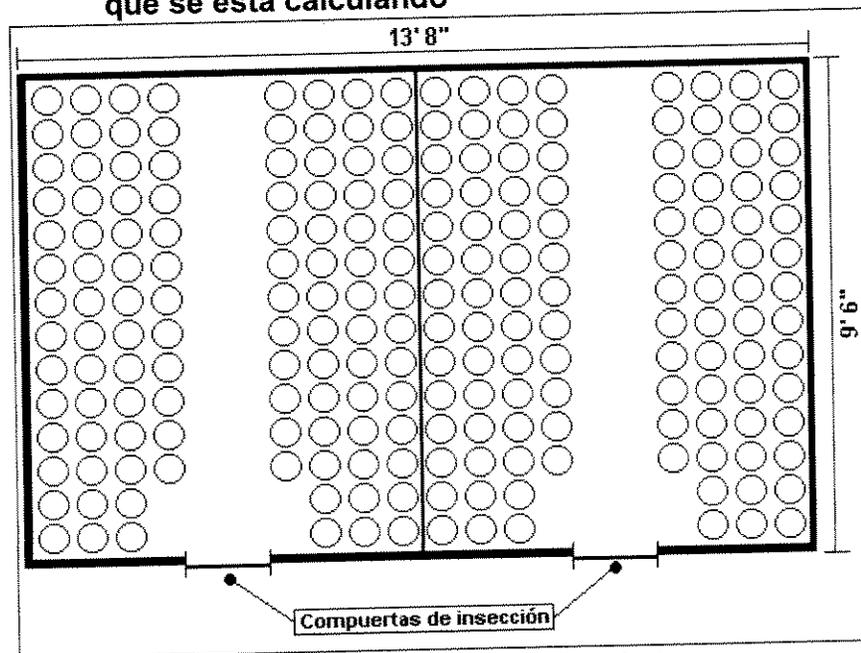
Si se tienen bolsas con un diámetro y largo de 6 y 105 pulgadas, respectivamente:

$$\begin{aligned} \text{No. bolsas} &= 45.83 * 2,888 \text{ cfm} / (6 * 105) \\ &= 210 \text{ bolsas} \end{aligned}$$

Este número de bolsas es el mínimo que debe tener el colector en total, siempre es aconsejable tener un poco más de bolsas, por lo que en este caso utilizar 4 espejos estándar de 54 agujeros se le agregan 6 más, lo cual no es problema. Por esta razón:

⇒ El colector tendrá 2 compartimentos de 108 bolsas cada uno.

Figura 34 Distribución de bolsas por compartimento para el colector que se esta calculando



Fuente: cálculo generado por Ec. 3-2, número de bolsas.

Obtener el mejor material de la bolsa a utilizar para el filtramiento es importante, por eso se deben de saber las condiciones a las que estarán expuestas y son las que se presentan a continuación.

Tabla VI Condiciones del medio filtrante que estarán expuestas las bolsas

pH	BASICO
humedad	5 - 10 %
Abrasividad	ALTA
temperatura	150 °F

Fuente: Mediciones en campo

A estas condiciones y basados en el apéndice D, las alternativas son: Polipropileno, Poliéster y Acrílico. La mejor alternativa es el Polipropileno.

Para conectar las bolsas, en la parte superior se colocará una armazón de metal a un pie por encima de las bolsas y el cielo del compartimento se encontrará a 2 pies de éstas. Estos dos pies se dejan con el fin de tener una buena distribución del aire reverso, en el momento de la limpieza.

3.5.2 Diseño de la tolva y deflector

3.5.2.1 Dimensiones de la tolva

A continuación se presenta el cálculo para las cuatro tapaderas de la tolva.

Encontrando las dimensiones para las cuatro tapaderas se tiene que saber que dimensionales tendrá la válvula a utilizar en la descarga:

Para la descarga se utilizará una válvula rotatoria de 1' de diámetro, la ranura de la válvula es de 1'0"x 0'6", y tendrá una velocidad de 25 rpm y con un motor de 0.5 Hp.

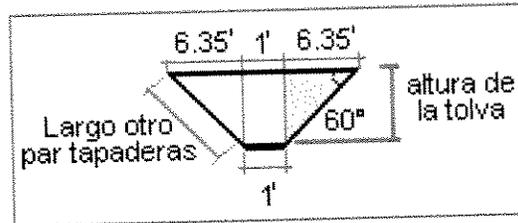
La ranura de descarga en la tolva será de 1'0"x 0'6", para la obtención de la tolva se tendrán dos pares de tapaderas:

Con los datos del primer par se obtiene por medio de la ley de senos y cósenos, partiendo de los datos de la figura 33 y el ángulo de 60 ° a mantener.

$$\text{largo otro par tapadera} = 6.35 / \cos 30 = 12.7' (12' 8")$$

$$\text{altura de la tolva} = 12.7 * \sin 60 = 11.0' (11' 0")$$

Figura 35. Primer par de tapaderas para la tolva

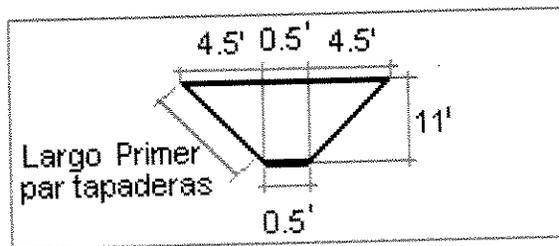


Fuente: ecuaciones de senos y cósenos.

Con estos datos y utilizando el teorema de Pitágoras se obtiene las dimensionales del otro par de tapaderas

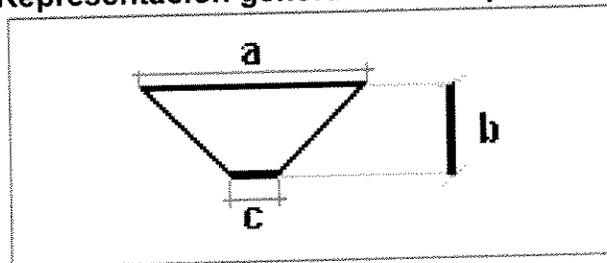
$$(4.5^2 + 11.0^2)^{0.5} = 11.9' (11' 11'')$$

Figura 36. Segundo par de tapaderas para la tolva



Fuente: Teorema de Pitágoras; $C^2 = a^2 + b^2$

Figura 37. Representación general de las tapaderas para la tolva



Fuente: trabajo de campo

Tabla VII Dimensiones de las tapaderas para construir la tolva

	SEGUNDO PAR	PRIMER PAR
a	13' 8"	9' 6"
b	11' 11"	12' 8"
c	1' 0"	0' 6"

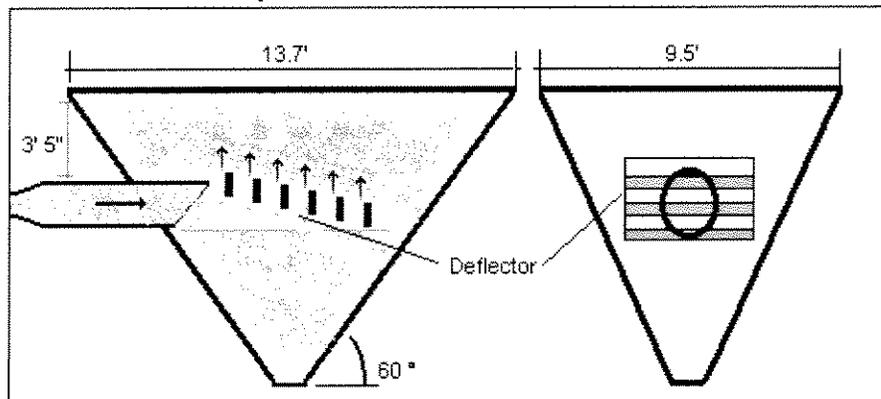
Fuente: Datos calculados en el inciso 3.6.1

Uniando estas cuatro tapaderas se obtiene la tolva del colector. Y la altura de la tolva será de 11' 0".

3.5.2.2 Dimensiones del deflector

El diámetro de la tubería a conectar en la tolva para tener una velocidad de 2000 fpm, debe de ser de 25 11/16" y se conectará a 3' 5", abajo del nivel de las bolsas. Como deflector se deben colocar seis paletas de 3'x 8" a una distancia de 1' y 4"; abajo una de la otra. Ver figura No 3.11.

Figura 38. Posición del deflector y conexión de la tubería de desempolvamiento a la tolva

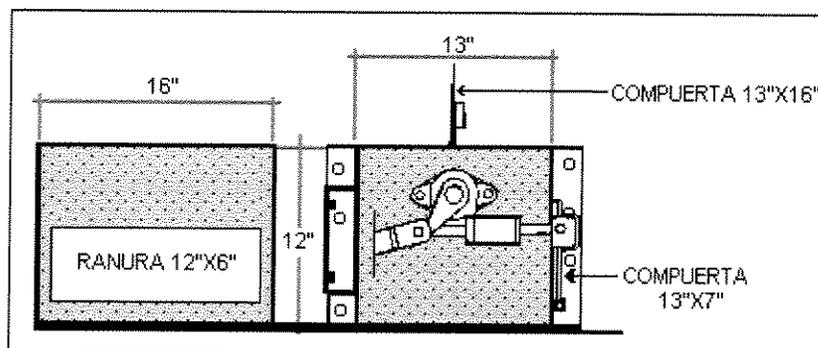


Fuente: Observaciones sección 3.6.1.

3.6 Dimensiones de la válvula de aire reverso

La base para el diseño de la válvula, es únicamente que la velocidad del aire de limpieza no exceda los 2500 fpm. Tomando este valor se tiene la figura 39, la cual presenta las dimensiones de la válvula. El punto recomendado para colocar estas válvulas en los compartimentos, es en el centro de la parte superior. Estas válvulas se pueden comprar.

Figura 39. Válvula de aire reverso (sistema de limpieza)



Fuente: Especificaciones del fabricante

3.7 Dimensiones de la tubería del pleno limpio

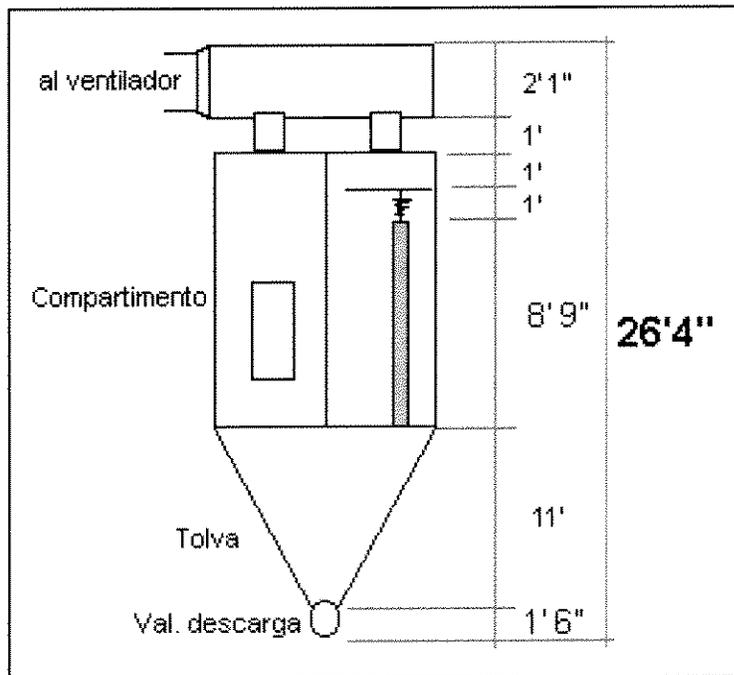
El diámetro de la tubería del pleno limpio se divide en dos partes: la que conecta a los compartimentos y la que se conecta al ventilador. En el diseño de estas tuberías se toman como base velocidades máximas del aire, con las cuales se pretende minimizar la caída de presión, en el

tramo de tubería. Para la primera se tiene una velocidad de 2,000 fpm y en la otra, de 3,500 fpm. Por lo que se tiene que:

El diámetro de la tubería que conecta a los compartimentos debe ser de 25" y la que se conecta al ventilador, de 20".

En general, uniendo lo que se ha propuesto y calculado hasta el momento el colector tendría una altura de 26 pies 4 pulgadas.

Figura 40. Distribución de altura en el colector



Fuente: cálculos del capítulo 3

3.8 Cálculo del tamaño del ventilador y potencia del motor

Si se tienen que mover 7,220 cfm a 150 °F y la caída de presión total del sistema se calcula de 12" SPWG. Recordemos que con el ventilador debemos mover un 10 % más, por lo que para calcular el tamaño del ventilador utilizaremos 7,942 cfm a 150 °F.

Para calcular el tamaño del ventilador, la velocidad del impulsor y la potencia del motor se necesitan cuatro datos:

● Caudal que se quiere remover (Q_r).....	7,942	acfm
● Presión estática del sistema (SP).....	12	" SPWG
● Temperatura del sistema (t).....	150	° F
● Presión barométrica (P_b).....	13.355	psi

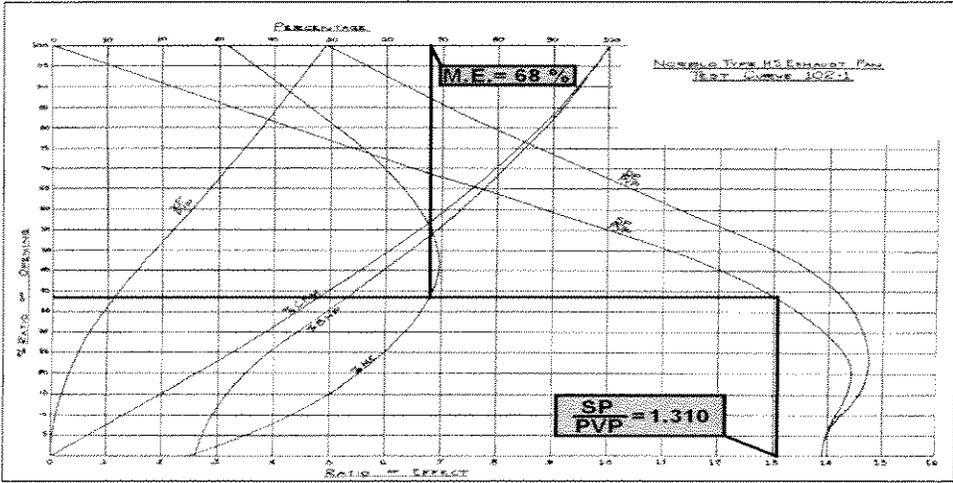
Con estos datos y el apéndice A se busca la mejor opción del tamaño del ventilador y sus medidas para que pueda mover 7,942 pie cúbico actual por minuto y las velocidades de salida según temperatura y presión. En nuestro caso escogimos:

● Tamaño del ventilador (Tabla A-I).....	45	H.S.
● Área de salida (A_{sal})... (Tabla A-II).....	1.750	pie ²
● Perímetro Cir. del impulsor (P_{imp}).. (Tabla A-II).....	8.116	pies
● Vel. de sal. según temp. ($V_{(t)}$) (Tabla A-III).....	4,298	fpm
● Vel. de sal. según presión ($V_{(p)}$) (Tabla A-IV).....	4,210	fpm

Realizando las correcciones por temperatura y presión a las velocidades, y encontrando la relación de abertura (% RO) se encuentra la relación SP / PVP (es la relación entre la presión estática y la presión en la periférica del impulsor) y la eficiencia del ventilador (% M.E.) en la curva característica de los ventiladores (figura 41)

- Vel. de sal. corregida por T y P ($V_c = V_{(p)} * V_{(t)} / 4006$) 4,517 fpm*
- Velocidad de salida real..... ($V_s = Q_r / A_{sal.}$) 4,538 fpm
- Presión de velocidad ($VP = (V_s / V_c)^2$) 1.010
- Presión total ($DP = SP + VP$)..... 13.010 " SPWG
- Relación de abertura(% RO)($SP / DP = 0.9224$)..Tabla A-V. 38 %
- Con el valor de %RO 38 al buscar SP/PVP y EF. MEC. en la figura No 3.13 tendremos
 - SP/PVP= 1.310
 - Ef. Mot (%M.E.) = 68

Figura 41. Curva característica de los ventiladores NORBLO H.S. para los tamaños entre 25 y 150



Fuente: figura A.1

- Velocidad periférica ($PV = Vc * \sqrt{SP / (SP/PVP)}$) = 13,671 fpm
- Rev. por minuto ($RPM = PV / Pimp$)..... 1,684 RPM
- Potencia motor ($BHP = (Qr * DP) / (6350 * \% M.E.)$)..... 23.9 hp
- Factor de corrección por temperatura y presión ($fcorr$)..... 1.267 **
- Potencia real de motor ($BHP_{(REAL)} = BHP * fcorr$)..... 30.3 hp

Con los cálculos se tiene que para un ventilador con un tamaño de 45 H.S. marca Norblo se necesita para mover un caudal de 7,942 acfm con una presión estática de 12 “ columna de agua a una temperatura de 150 °F, un motor de 30 hp y una relación de poleas que hagan girar al impulsor a 1,684 revoluciones.

Este es un parámetro guía de comparación cuando el proveedor realice su propuesta para comparar motor ya que si se mantiene el tamaño del ventilador pero el motor propuesto es de 25 hp lo más probable es que se tengan problemas que el motor se dispare por sobrecarga cuando la temperatura del sistema baje de 150 °F.

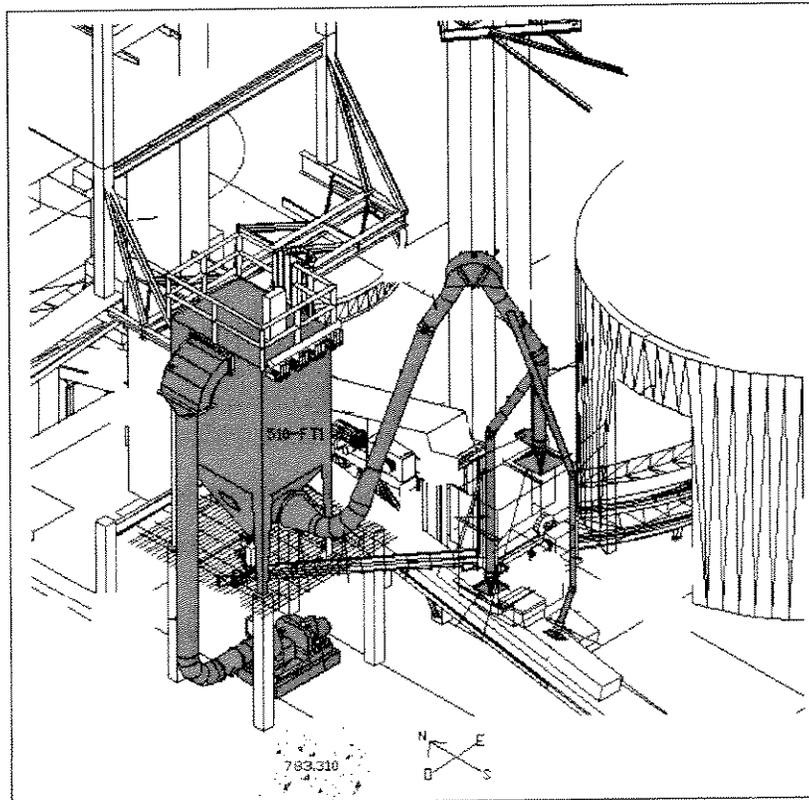
Con esta evaluación lo único que nos queda es el diseño de la chimenea y si esta se basará únicamente en mantener el área de descarga del ventilador y su forma fuese redonda. Se tiene que la chimenea tendrá un diámetro de 1 pie con 6 pulgadas y la longitud de 7 pies, descargando de forma horizontal.

4. BALANCE DE TUBERÍA

En el área de alimentadores, se tenía un punto de transferencia de materiales que no contaba con un sistema de desempolvamiento. Repitiendo los pasos de las secciones 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se logró diseñar el sistema de desempolvamiento. Se instaló y se puso en operación, figura 42.

Instalado y en operación el sistema de tuberías, esta listo para ser evaluado.

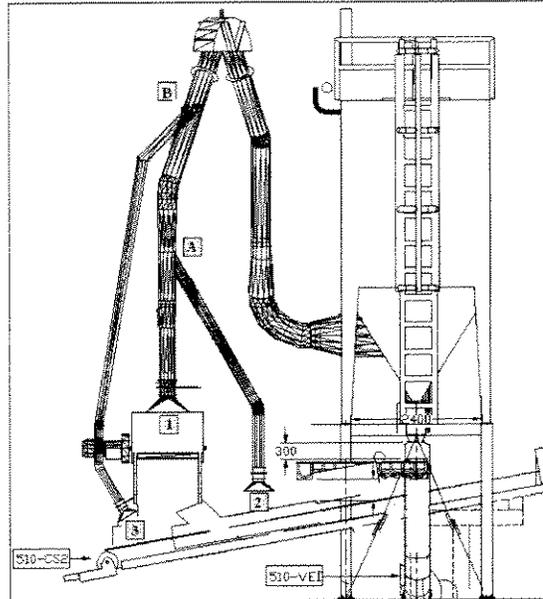
Figura 42. Sistema de filtración 510-FT1



Fuente: Trabajo de campo

El sistema se dividió en sectores para su evaluación, figura 43.

Figura 43 Seccionamiento de la tubería colector 510-FT1



Fuente: trabajo de Campo

Los caudales calculados según especificaciones de los equipos de transporte que se calcularon eran necesarios para disminuir las emisiones de polvo en la transición de material, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla VIII Caudales teóricos necesarios para evitar emisiones de polvo en la transición de material de la banda transportadora 1 (510-CS1) a la banda transportadora 2 (510-CS2)

Identificación de la sección del tubo		1 - A	2 - A	A - B	3 - B	B - Tot
Flujo volumétrico	cfm	3000	2000	5000	1000	6000
Velocidad mínima de transporte	fpm	3700	3700	3700	3700	3700
Diámetro del ducto	in	12 3/16	9 15/16	15 12/16	7 1/16	17 4/16
Área del ducto	sq ft	0.811	0.541	1.351	0.270	1.622

Fuente: Trabajo de campo

Con estos datos y el sistema de desempolvamiento instalado, se midieron los flujos en cada uno de los puntos de succión, los resultados se presentan en la tabla IX, en el que se observa que en las secciones no se están succionando los caudales para los cuales fueron diseñados.

Tabla IX Caudales medidos en el sistema de desempolvamiento del colector 510-FT1.

Item	Identificación de la seccion del tubo	1 - A	2 - A	A - B	3 - B	B - Tolva
1	Flujo volumétrico real cfm	3224	1929	5159	875	6014
2	Velocidad mínima de transporte fpm	3976	3568	3818	3236	3709
3	Area transversal del tubo pies ²	0.811	0.541	1.351	0.270	1.622
4	Diametro del tubo Pulg	12 3/16	9 15/16	15 12/16	7 1/16	17 4/16

Fuente: Mediciones con tubo de pitot y trabajo de campo, apéndice F.

Dado el desbalance del sistema se realizo el balance de las succiones, utilizando el procedimiento descrito en el apéndice H, y tomando en consideración que la tubería fue construida con lámina galvanizada. Los datos necesarios se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla X Mediciones del sistema de desempolvamiento tomadas para la evaluación del balance del colector 510-FT1

Identificación de la seccion del tubo	1 - A	2 - A	A - B	3 - B	B - Tolva
Longitud del tramo pies	7.0	12.9	4.1	32.5	26.2
Diametro del ducto Pulg	12 3/16	9 15/16	15 12/16	7 1/16	17 4/16
Número de pasos	--	--	1	--	2
Número de codos de 90 grados	--	0.66	0.33	0.66	1.66
Area de la campana de succión pie ²	6.9	3.25	--	1.65	--

Fuente: trabajo de campo.

El diseño de los pasos se basó en mantener un ángulo de conexión de 35 °.

Tabla XI Sistema del colector 510-FT1 desbalanceado

NOMBRE DE LA PLANTA:	San Miguel	ELEVACIÓN:	790 msnm.	FECHA:	04 / 06 / 06
LOCALIZACIÓN:	San Miguel, Sanarate	TEMPERATURA:	150 °F	SECCIÓN:	Molienda
ACTIVO DEL FILTRO: 510 - FT1					

Itm	Identificación de la sección del tubo	1 - A	2 - A	A - B	3 - B	B - Tol	
1	Flujo volumétrico	cfm	3000	2000	5000	1000	6000
2	Velocidad mínima de transporte	fpm	3700	3700	3700	3700	3700
3	Diámetro del ducto	in	12 3/16	9 15/16	15 12/16	7 1/16	17 4/16
4	Area del ducto (EC. H-1)	sq ft	0.811	0.541	1.351	0.270	1.622
5	Velocidad actual en el ducto (EC. F-3)	fpm	3976	3510	3818	3204	4053
6	Temperatura del aire en el ducto	° F	150	150	150	150	150
7	Presión dinámica (VP) en el ducto	" wg	0.77	0.6	0.71	0.5	0.8
8	Flujo volumétrico real (4 * 5)		3224	1897	5199	866	6572
9	CAMPAÑA DE SUCCIÓN	Área abierta	sq ft	6.9	3.25		1.65
10		velocidad (8 / 9)	fpm	467	584		525
11		VP (EC. H-2)	" wg	0.011	0.017		0.014
12		Factor de pérdida de 1 a 1.78		1.5	1.5		1.5
13		Factor de pérdida por aceleración	0 o 1	1	1		1
14		Factor total de pérdida por VP (12 + 13)		2.5	2.5		2.5
15		Presión estática (SP) (11 * 14)	" wg	0.0276	0.0430		0.0348
16		Factor de pérdida por fricción (T - C-III)		0.25	0.25		0.25
17		Factor de aceleración	0 o 1	1	1		1
18		Factor de pérdida por VP (16 + 17)		1.25	1.25		1.25
19		Pérdida en el ducto (7 * 18)	" wg	0.96	0.75		0.63
20	Otras pérdidas	" wg	0	0		0	
21	SP en la campana (15 + 19 + 20)	" wg	0.99	0.79	0.00	0.66	0.00
22	Longitud del ducto	ft	7	12.9	4.1	32.5	26.2
23	Factor de fricción (Hr) (EC. B-1)		0.018	0.023	0.013	0.036	0.012
24	Factor de pérdidas por VP en el ducto (22 * 23)		0.13	0.30	0.05	1.17	0.31
25	Número de codos de 90 °		0.00	0.65	0.33	0.66	1.66
26	Pérdida en los codos por VP (25 * T - C-II)	" wg	0.00	0.18	0.09	0.18	0.38
27	Número de pasos		0	0	1	0	2
28	Pérdida en los pasos por VP (27 * T - C-I)	" wg	0.00	0.00	0.21	0.00	0.42
29	Ajustes especiales al factor de pérdidas por VP en la tubería		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	Pérdidas de fricción por VP en el ducto (24+26+28+29)		0.13	0.48	0.35	1.35	1.11
31	Pérdidas de SP en el Ducto (7 * 30)	" wg	0.10	0.29	0.25	0.69	0.69
32	Pérdidas de SP total en la sección (21 + 31)	" wg	1.09	1.08	0.25	1.34	0.69
33	SP acumulada en el ducto (- 32)	" wg	-1.34	-1.33	-1.33	-1.34	-2.23
34	SP gobernante	" wg	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	
35	Flujo corregido (EC. H-3)	cfm	3220	1900		866	
36	Ajuste por pérdidas de presión estática (BLAST GATE)	" wg	0.00	0.00		0.00	
37	Diámetro del orificio instalado	in	??	??		Crítica	

Fuente: Procedimiento en apéndice H.

Dado el desbalance del sistema se presentan los cálculos para ajustar los ramales que lo necesitan.

Figura 44. Resultado de los cálculos para el orificio de la succión en el punto 1 de la figura No. 43

Caudal.....	3,000	cfm			
Velocidad.....	3,702	fpm			
D.....	12.19	Pulg			
Presión..ATM.	695	mm Hg			
Temp.....	150	° F			
Densidad.....	0.056	Lb/pie ³			
			Area orificio	0.587	pie ²
			Vel. Orificio	5,110	fpm

d/D	d	k	Nre	h
0.85	10 6/16	1.0098	25,000	1.177

h cuando d/D=1.....	0.276
caída de presión	0.900
suma...	1.176
Resolver.....(= 0)	0.001

Fuente: Procedimiento en apéndice I.

Figura 45 Resultado de los cálculos para el orificio de la succión en el punto 2 de la figura 43

Caudal.....	2,000	cfm			
Velocidad.....	3,696	fpm			
D.....	9.96	Pulg			
Presión..ATM.	695	mm Hg			
Temp.....	150	° F			
Densidad.....	0.056	Lb/pie ³			
			Area orificio	0.433	pie ²
			Vel. Orificio	4,620	fpm

d/D	d	k	Nre	h
0.89	8 15/16	1.1235	25,000	0.777

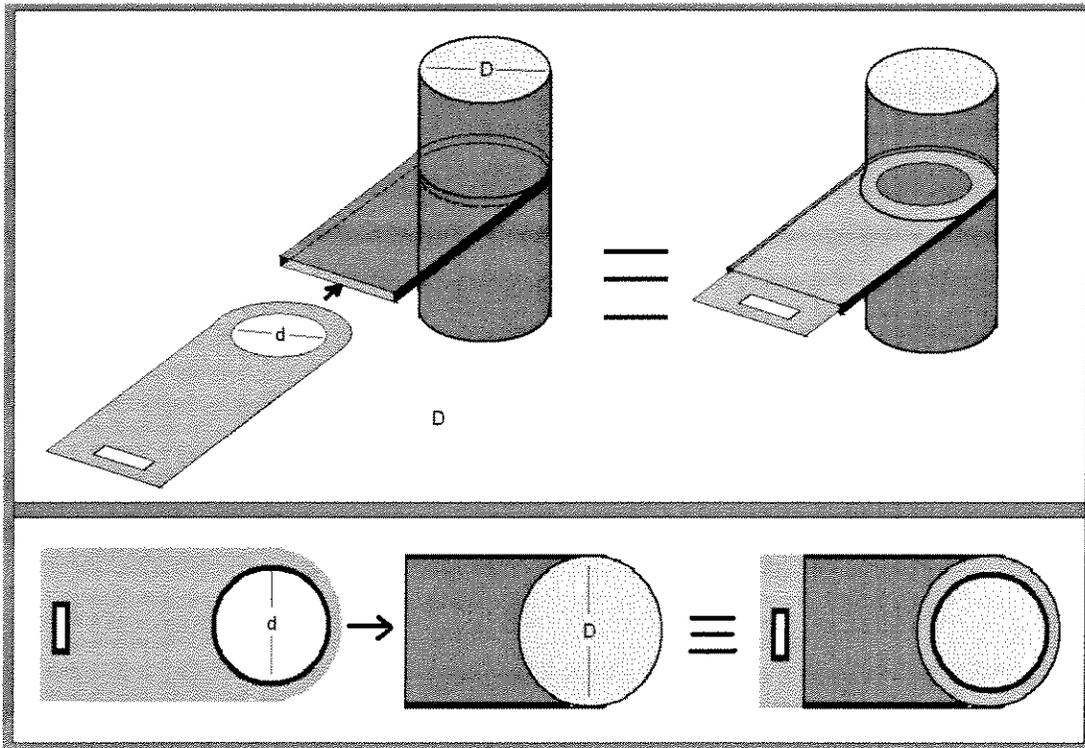
h cuando d/D=1.....	0.276
caída de presión	0.510
suma...	0.786
Resolver.....(= 0)	0.009

Fuente: Procedimiento en apéndice I.

Figura 46. Dibujo esquemático de la instalación del orificio en tuberías

D es equivalente al diámetro de la tubería

d es equivalente al diámetro del orificio encontrado por el método Blast Gate.



Fuente: Trabajo de Campo.

Según la evaluación de la tabla X se necesitan instalar orificios en las secciones que se especifican en la tabla siguiente.

Tabla XII Especificaciones de los orificios en las tuberías para el balance del sistema

Sección	D (pulgadas)	D (pulgadas)
1 - A	$12 \frac{3}{16}$	$10 \frac{6}{16}$
2 - A	$9 \frac{15}{16}$	$8 \frac{15}{16}$

Fuente: Trabajo de campo

Con la instalación de los orificios en los puntos que se encontraron necesarios, se procedió a regular el damper del ventilador quedando en la sección B-Tolva una presión dinámica de 0.70 pulgadas columna de agua. Seguidamente se procedió a evaluar el sistema, rectificando que el sistema había quedando balanceado y cercanos a los flujos de diseño.

Tabla XIII Sistema del colector 510-FT1 balanceado

NOMBRE DE LA PLANTA: <u>San Miguel</u>	ELEVACIÓN: <u>790 msnm</u>	FECHA: <u>21 / 06 / 06</u>
LOCALIZACIÓN: <u>San Miguel, Sanarate</u>	TEMPERATURA: <u>150 °F</u>	SECCIÓN: <u>Molienda</u>
ACTIVO DEL FILTRO: <u>510 - FT1</u>		

Ítem	Identificación de la sección del tubo	1 - A	2 - A	A - B	3 - B	B - Tol
1	Flujo volumétrico	cfm 3000	2000	5000	1000	6000
2	Velocidad mínima de transporte	fpm 3700	3700	3700	3700	3700
3	Diámetro del ducto	in 12 3/16	9 15/16	15 12/16	7 1/16	17 4/16
4	Área del ducto (EC. H-1)	sq ft 0.811	0.541	1.351	0.270	1.622
5	Velocidad actual en el ducto (EC. F-3)	fpm 3764	3653	3736	3709	3791
6	Temperatura del aire en el ducto	°F 150	150	150	150	150
7	Presión dinámica (VP) en el ducto	" wg 0.69	0.65	0.68	0.67	0.7
8	Flujo volumétrico real (4 * 5)	3062	1975	5049	1002	6148
9	C A M P A N A D E S U C C I O N R A N U A	Área abierta	sq ft 6.9	3.25	1.65	
10		velocidad (8 / 9)	fpm 442	608	608	
11		VP (EC. H-2)	" wg 0.010	0.019	0.019	
12		Factor de pérdida de 1 a 1.78	1.5	1.5	1.5	
13		Factor de pérdida por aceleración	0 o 1	1	1	
14		Factor total de pérdida por VP (12 + 13)	2.5	2.5	2.5	
15		Presión estática (SP) (11 * 14)	" wg 0.0247	0.0466	0.0466	
16		Factor de pérdida por fricción (T - C-III)	0.25	0.25	0.25	
17		Factor de aceleración	0 o 1	1	1	
18		Factor de pérdida por VP (16 + 17)	1.25	1.25	1.25	
19	Pérdida en el ducto (7 * 18)	" wg 0.86	0.81	0.84		
20	Otras pérdidas	" wg 0	0	0		
21	SP en la campana (15 + 19 + 20)	" wg 0.89	0.86	0.00	0.86	0.00
22	Longitud del ducto	ft 7	12.9	4.1	32.5	26.2
23	Factor de fricción (Hr) (EC. B-1)	0.018	0.023	0.013	0.036	0.012
24	Factor de pérdidas por VP en el ducto (22 * 23)	0.13	0.30	0.05	1.16	0.31
25	Número de codos de 90 °	0.00	0.66	0.33	0.66	1.66
26	Pérdida en los codos por VP (25 * T - C-II)	" wg 0.00	0.18	0.09	0.18	0.36
27	Número de pasos	0	0	1	0	2
28	Pérdida en los pasos por VP (27 * T - C-I)	" wg 0.00	0.00	0.21	0.00	0.42
29	Ajustes especiales al factor de pérdidas por VP en la tubería	0.90	0.51	0.00	0.00	0.00
30	Pérdidas de fricción por VP en el ducto (24+26+28+29)	1.03	0.99	0.35	1.34	1.11
31	Pérdidas de SP en el Ducto (7 * 30)	" wg 0.71	0.64	0.24	0.90	0.78
32	Pérdidas de SP total en la sección (21 + 31)	" wg 1.60	1.50	0.24	1.78	0.78
33	SP acumulada en el ducto (- 32)	" wg -1.84	-1.74	-1.74	-1.78	-2.56
34	SP gobernante	" wg -1.78	-1.78	-1.78	-1.78	
35	Flujo corregido (EC. H-3)	cfm 3006	2022		1000	
36	Ajuste por pérdidas de presión estática (BLAST GATE)	" wg -0.06	0.04		0.00	
37	Diámetro del onificio instalado	in 10 5/16	8 15/16		Critica	

Fuente: Procedimiento apéndice H

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El principal objetivo del presente trabajo de graduación fue proporcionar un documento que contenga las bases teóricas para el diseño de sistemas de desempolvamiento en equipos de transporte de sólidos, evitando así las emisiones de polvo al ambiente generado por puntos de transferencias entre equipos o simplemente por el principio de operación de los cuales generan turbulencia en el transporte, tales como elevadores de cangilones y regueras.

Basados en el objetivo específico de conocer los diferentes tipos de colectores y sus características se preparo el capítulo 1, en donde se presenta una visión general de los equipos existentes para la captación de polvo, se explica del porque los colectores se nombran auxiliares o de proceso. Además, que los colectores pueden utilizar cuatro principios de separación de partículas del aire los cuales son: electricidad, agua, centrifugación y bolsas de tela. También se presenta un método fácil de claves para poder llevar un control de fallas(sección 1.10) y el objetivo de éste, se enfoca en llevar un historial de eventos de eventos anormales en bosas para evaluar posibles zonas de problemas el colectores y solucionarlos, con lo cual se cubren dos objetivos específicos más.

Basados en el objetivo específico de conocer las partes en que se divide el colector de polvo con limpieza Tensionor se preparo el capítulo 2, enfocado en describir los componentes de un colector de bolsas y con sistema de limpieza de aire reverso, llamado Tensionor.

Capítulo 3, se basa en el diseño de un sistema de desempolvamiento con sistema de limpieza Tensionor. Involucrando desde el cálculo de caudales necesarios para desempolvar los equipos de transporte de sólidos; según características, el cálculo de diámetros de tuberías de succión, el orden en que se deberán conectar las tuberías para formar el ramal y generalidades de los accesorios para el diseño (pasos, campanas de succión y codos direccionables). También, en el diseño del colector, la forma en que se calcula el número de bolsas; conociendo el caudal necesario a desempolvar, las dimensiones del plenum limpio, tolva, deflector y válvula de aire reverso. Presenta la secuencia del cálculo para identificar el tamaño del ventilador a utilizar, potencia del motor a instalar y revoluciones del impulsor. Hasta aquí se cubrieron cuatro objetivos específicos y los cuales se enfocaron en diseñar y calcular un sistema de desempolvamiento desde la ubicación de los puntos de succión, cuanto succionar hasta las revoluciones del impulsor para un ventilador específico que mueva el caudal necesario.

Capítulo 4, es un proyecto que representó un 95 % de trabajo en campo y el 5 % de oficina, en el cual se presenta la forma de cómo fue balanceado el ramal de tuberías de desempolvamiento del 510-FT1, utilizando el método de Blast Gate. Para éste método se tienen restricciones de relación de d/D el cual debe de ser menor a 0.75 y diámetros de tubería entre 2 y 14 pulgadas. Aunque solo en los diámetros de tubería estábamos en el rango válido, pero por la relación d/D mayor a 0.75 se encontró que se tenía que evaluar con el N_{re} constante a 25,000 para el cálculo de "k" para acercarse al valor real. Aunque el mismo procedimiento lo dice, este es un cálculo guía ya que el método se basa en prueba y error. En el caso del 510-FT1, la suposición de utilizar el valor de "k" solo para N_{re} de 25,000, los datos arrojados por los cálculos fueron suficientes para balancear el sistema. Ver tabla XIII, p 71 .

Para la elaboración de los apéndices, se trató de abarcar lo máximo posible en lo que respecta a detalles para el diseño de sistemas de desempolvamiento, dando como resultado una recopilación de información de tablas y figuras proporcionada por expertos en el tema de desempolvamiento.

CONCLUSIONES

1. Las diferentes generaciones de colectores se han basado en el rediseño de los sistemas de limpieza.
2. Al calcular los caudales necesarios basados en los estándares definidos de desempolvo y, cumpliendo el diseño y montaje se eliminan las emisiones de polvo.
3. Al tener tolvas con ángulos de por lo menos 60° de inclinación se tiene un buen desalojo del material recolectado en el área de molienda de cemento.
4. Con una mala operación del sistema de limpieza, el sistema de desempolvamiento funciona de forma ineficiente.
5. Los mismos tiempos de limpieza no funcionan para todos los colectores si las cargas de polvo en el aire que manejan son diferentes.
6. El método Blast Gate es una buena herramienta para el balance de tuberías de desempolvamiento.

RECOMENDACIONES

1. Se escucha de una cuarta generación de colectores de polvo, los cuales estarían utilizando cornetas acústicas como medio de sacudido de la bolsa. El único caso que se conoce está instalado en Costa Rica, en el colector de proceso en el área de hornos y que no se ha evaluado.
2. No fabricar los impulsores de ventiladores o repararlos, ya que esta es una pieza del ventilador que debe girar a altas revoluciones por minuto, lo cual lo hace un accesorio delicado. Los proveedores que pueden contactar para la compra tanto de ventiladores como colectores son: BHA, FLSmiljo, Mickropul, entre otros.
3. No menospreciar los sistemas de desempolvamiento auxiliar en los mantenimientos de la sección, dándoles un buen mantenimiento con personal capacitado.
4. Llevar un control de fallas y de vida útil de las bolsas, para cada uno de los colectores existentes.
5. Después del diseño y montaje de las tuberías de succión, no olvidarse balancear el sistema para que los caudales en los puntos de succión sean equivalentes a los de diseño.

6. En el diseño de sistemas de desempolvamiento, evitar accesorios que ejerzan grandes caídas de presión por fricción innecesarias, las cuales repercuten únicamente en la necesidad de un motor más grande para el ventilado.

7. Una vez diseñado e instalado un sistema de desempolvamiento y que se vea que el damper del ventilador trabaja al 100 por ciento de abertura, no pensar en instalar más puntos de succión.

BIBLIOGRAFÍAS

1. BHA Group, " Product Reference and Troubleshooting Guide ", Kansas City: s. l. i., 1991.
2. BHA Group. " Seminario de mantenimiento del equipo de control de contaminación medioambiental ", Vol. 1; Costa Rica: s. l. i., 1999.
3. Buell engineering company Inc. " *Norblo exhaust fans*", New York City, s. l. i., 1,989.
4. Chemical Engineering; February 1996, pp 80-86.
5. Conference of Governmental Industrial Hygienists, "Industrial Ventilation " Cincinnati, Ohio: American, 22nd edition, s. l. i. ,1995.
6. Croom Miller, *Filter dust Collectors* ", United States of America: McGraw-Hill, 1994.
7. W. H. Servens, Et..al, "Energía mediante Vapor, aire y gas ", 5^a Ed.; España: editorial Renerté S. A., 1982, pp 208 - 235.

APÉNDICES

Tabla XIV Rangos de caudales en pies cúbicos por minuto, para los diferentes tipos de tamaños de ventiladores Norblo H.S. (alta velocidad) para un rango de caídas de presión desde 3 hasta 12 SPWG.

TAMAÑO	CAUDAL MIN. (ACFM)	CAUDAL MAX.(ACFM)
25	1400	3400
30	2000	4800
35	2500	6400
40	3500	8500
45	4300	10000
50	5200	12000
55	6500	16000
60	7600	18000
70	10000	26000
80	13000	32000
90	17000	41000
100	22000	54000
110	26000	63000
120	31000	75000
130	36000	78000
140	42000	102000

Fuente: Norblo exhaust fans , pp 9-17

Tabla XV Dimensiones de los diámetros, perímetro de los impulsores y las áreas de salida en los diferentes tipos de ventiladores marca Norblo.

TAMAÑO del ventilador (H. S.)	Área de salida (pies ²)	Diámetro del impulsor (pulg.)	Perímetro del impulsor (pies)
25	0.578	17	4.451
30	0.822	20	5.236
35	1.067	24	6.283
40	1.340	27.5	7.200
45	1.750	31	8.116
50	2.100	34	8.901
55	2.640	37	9.687
60	3.060	40	10.472
70	4.350	48	12.566
80	5.440	54	14.137
90	7.120	61	15.970
100	9.000	68	17.802
110	10.550	74	19.373
120	12.540	80	20.944
130	14.630	86	22.515
140	17.000	92	24.086

Fuente: Norblo exhaust fans , p 25

Tabla XVI Velocidades de salida del aire en los ventiladores, para un rango de temperaturas desde -40 hasta 2000 ° F, para una presión barométrica constante de 29.92 in Hg.

t (° F)	Vel (fpm)	t (° F)	Vel (fpm)	t (° F)	Vel (fpm)
-40	3567	220	4537	720	5976
-30	3609	240	4603	740	6027
-20	3651	260	4668	760	6077
-10	3692	280	4732	780	6127
0	3733	300	4796	800	6177
10	3773	320	4859	820	6226
20	3813	340	4921	840	6275
30	3852	360	4982	860	6323
40	3891	380	5042	880	6371
50	3930	400	5101	900	6418
60	3968	420	5159	920	6465
70	4006	440	5217	940	6512
80	4044	460	5275	960	6558
90	4081	480	5332	980	6604
100	4118	500	5389	1000	6650
110	4155	520	5445	1020	6695
120	4191	540	5500	1040	6740
130	4227	560	5555	1060	6785
140	4263	580	5609	1080	6829
150	4298	600	5663	1100	6873
160	4333	620	5716	1120	6918
170	4368	640	5769	1140	6962
180	4402	660	5821	1160	7005
190	4436	680	5873	1180	7048
200	4480	700	5925	1200	7099

Fuente: Norblo exhaust fans , p 26

Tabla XVII Velocidades de salida del aire en la descarga de los ventiladores para un rango de presiones barométricas desde 29.92 hasta 20.40 in Hg, a una temperatura constante de 70 ° F.

Altura SNM		Presión barométrica			Velocidad (fpm)
(Pies)	(Metros)	(PSI)	(in Hg)	(mm Hg)	
0	0	14.696	29.92	760	4021
500	152	14.418	29.35	746	4055
1000	305	14.144	28.8	731	4091
1500	457	13.876	28.25	718	4128
2000	610	13.612	27.71	704	4169
2500	762	13.355	27.19	691	4210
3000	915	13.101	26.67	678	4252
3500	1067	12.853	26.17	665	4294
4000	1220	12.609	25.67	652	4337
4500	1372	12.370	25.19	640	4380
5000	1524	12.137	24.71	628	4423
5500	1677	11.906	24.24	616	4466
6000	1829	11.681	23.78	604	4509
6500	1982	11.458	23.33	593	4553
7000	2134	11.242	22.89	581	4598
7500	2287	11.028	22.45	570	4643
8000	2439	10.819	22.03	560	4688
8500	2591	10.615	21.61	549	4733
9000	2744	10.413	21.2	539	4778
9500	2896	10.216	20.8	528	4823
10000	3049	10.022	20.4	518	4868

Fuente: Norblo exhaust fans , p 26

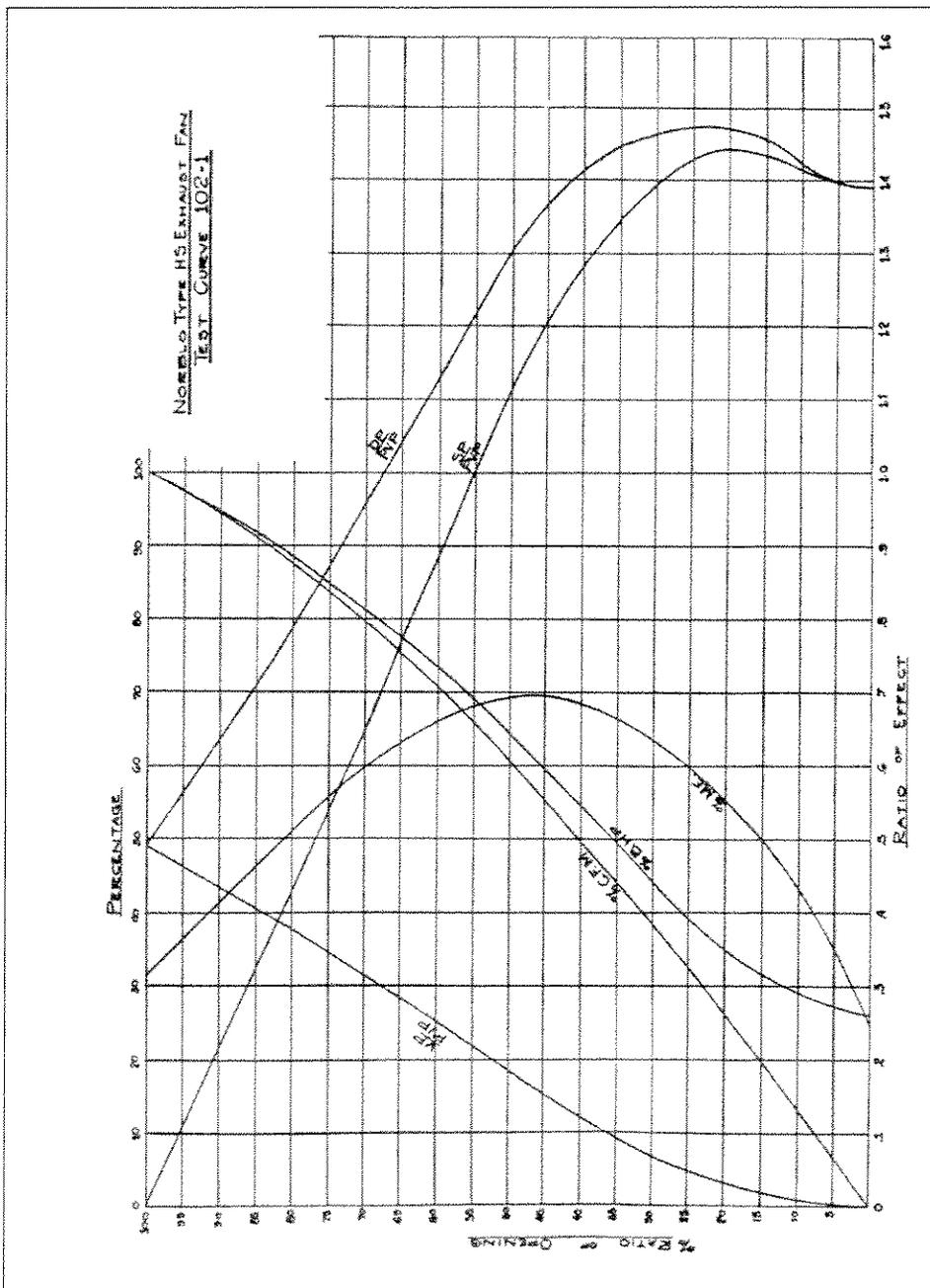
Tabla XVIII Valores para la relación de abertura (% R.O) según el valor obtenido de la relación presión estática - presión dinámica (SP/DP)

% R.O.	(SP/DP)						
1	0.99995	26	0.96500	51	0.85050	76	0.59390
2	0.99980	27	0.96220	52	0.84370	77	0.57870
3	0.99955	28	0.95920	53	0.83660	78	0.56780
4	0.99920	29	0.95610	54	0.82930	79	0.54640
5	0.99875	30	0.95290	55	0.82180	80	0.52940
6	0.99817	31	0.94950	56	0.81410	81	0.51180
7	0.99750	32	0.94600	57	0.80610	82	0.49360
8	0.99679	33	0.94240	58	0.79780	83	0.47460
9	0.99593	34	0.93870	59	0.78930	84	0.45490
10	0.99500	35	0.93480	60	0.78050	85	0.43450
11	0.99390	36	0.93070	61	0.77150	86	0.41320
12	0.99270	37	0.92650	62	0.76210	87	0.39110
13	0.99150	38	0.92200	63	0.75240	88	0.36820
14	0.99010	39	0.91770	64	0.74250	89	0.34440
15	0.98860	40	0.91300	65	0.73220	90	0.31930
16	0.98600	41	0.90830	66	0.72160	91	0.29340
17	0.98530	42	0.90330	67	0.71060	92	0.26630
18	0.98350	43	0.89820	68	0.69930	93	0.23810
19	0.98160	44	0.89280	69	0.68760	94	0.20860
20	0.97960	45	0.88730	70	0.67550	95	0.17770
21	0.97750	46	0.88170	71	0.66310	96	0.14540
22	0.97520	47	0.87590	72	0.65020	97	0.11160
23	0.97280	48	0.86980	73	0.63680	98	0.07620
24	0.97040	49	0.86360	74	0.62300	99	0.03910
25	0.96770	50	0.85720	75	0.60870	100	0.00000

Fuente: Norbio exhaust fans, p 27

Figura 47

Curva característica de ventiladores marca Norblo de alta velocidad para los tamaños de 25 a 150.



Fuente: Norblo exhaust fans , p 28

B. ECUACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE FRICCIÓN POR VP EN TUBERÍAS

Existen varios tipos de materiales para la construcción de tuberías de succión, los cuales presentan diferentes factores de fricción. La ecuación B-1, es una forma generalizada de presentar estos factores de fricción; y en la, según el tipo material utilizado

$$H_f = a * \left[\frac{V^b}{Q^c} \right] \quad \text{Ecuación B-1}$$

Donde: H_f es el factor de pérdidas por fricción en la tubería (adim.)

V es la velocidad del aire en el ducto en fpm.

Q es el caudal de aire que pasa por el ducto en cfm.

a , b y c , son constantes que toman diferentes valores, según el material que se utilice para la construcción del ducto. Ver tabla B-1.

Tabla XIX Valores de las constantes para la ecuación B-1

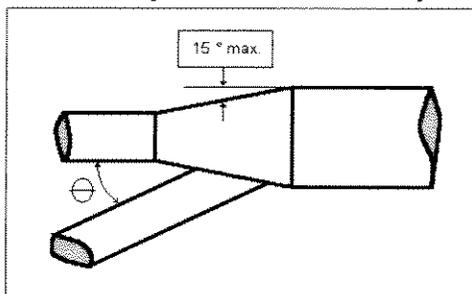
Material del ducto	a	b	c
Aluminio, hierro negro o acero inoxidable	0.0425	0.465	0.602
Lámina galvanizada	0.0307	0.533	0.612
Tubería flexible (PVC)	0.0311	0.604	0.639

Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-19

C. FACTORES DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN DISEÑO DE ACCESORIOS

C.1 Características y caídas de presión en pasos

Figura 48 Características para el diseño de pasos



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-16

Las caídas de presión por fricción en los pasos dependen del ángulo que formen los ductos que se están conectando

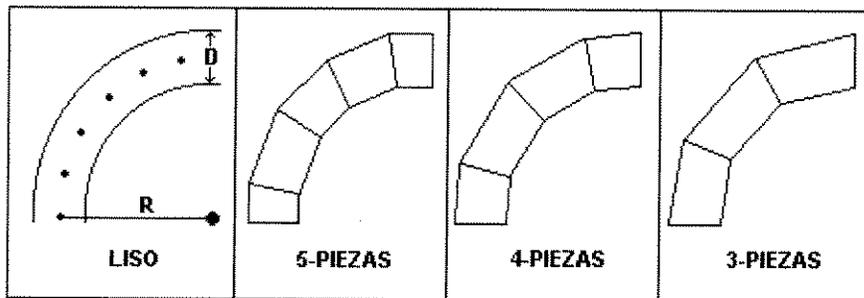
Tabla XX Factor de pérdidas por fricción en pasos

Ángulo θ (grados)	Factor de pérdidas por VP
10	0.06
15	0.09
20	0.12
25	0.15
30	0.18
35	0.21
40	0.25
45	0.28
50	0.32
60	0.44
90	1.00

Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-37

C.2 Diseño de codos circulares

Figura 49 Formas de hacer codos



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-36

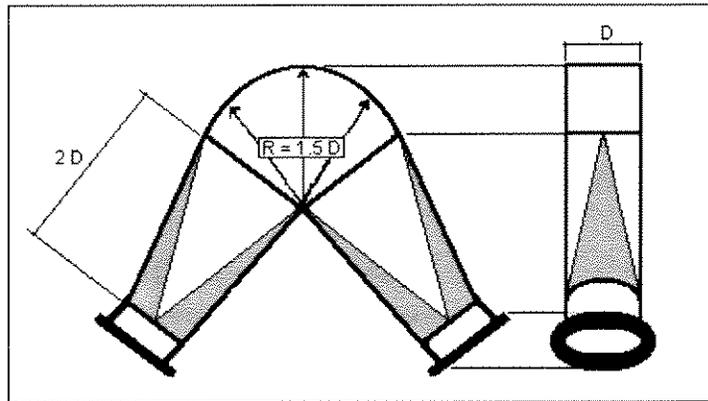
Los codos lisos se hacen, doblando tuberías rectas

Tabla XXI Factores de fricción, según la relación R/D y el número de piezas con el que fueron construidas

	R/D					
	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
LISO	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12
5-PIEZAS	-----	0.46	0.33	0.24	0.19	0.17
4-PIEZAS	-----	0.50	0.37	0.27	0.24	0.23
3-PIEZAS	0.90	0.54	0.42	0.34	0.33	0.33

Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-36

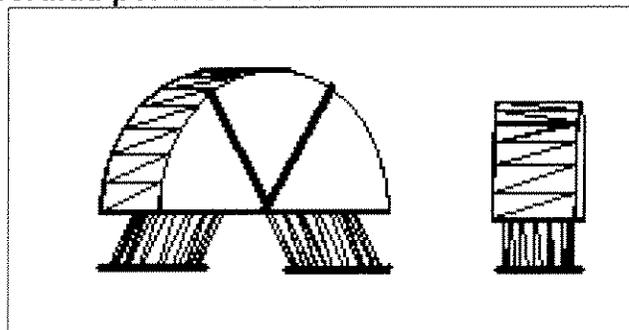
Figura 50 Codo auto-limpiante y de baja caída de presión por fricción



Fuente: Trabajo de campo

Para éste tipo de codos el coeficiente de pérdidas por fricción es de **0.23** y se tiene la ventaja de no tener problemas de abrasión y taponamientos por material.

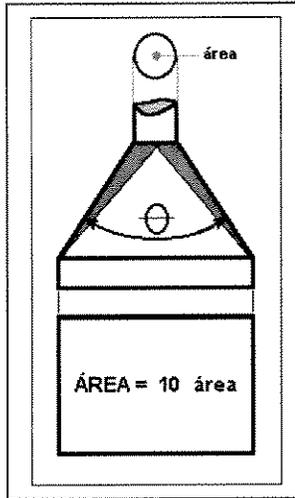
Figura 51 Alternativa de codo auto-limpiante y de baja caída de presión, coeficiente de pérdida por fricción de 0.27



Fuente: Trabajo de campo

C.3 En diseño de campanas

Figura 52 Características de las campanas de succión rectangulares o cuadradas usadas en fajas, gusanos y



regueras

Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-35

TABLA XXII Factor de pérdida por fricción para campanas cuadradas o redondas, en función del ángulo θ .

θ	REDONDO	RECTANGULAR
15°	0.15	0.25
30°	0.08	0.16
45°	0.06	0.15
60°	0.08	0.17
90°	0.15	0.25
120°	0.26	0.35
150°	0.40	0.48
180°	0.50	0.50

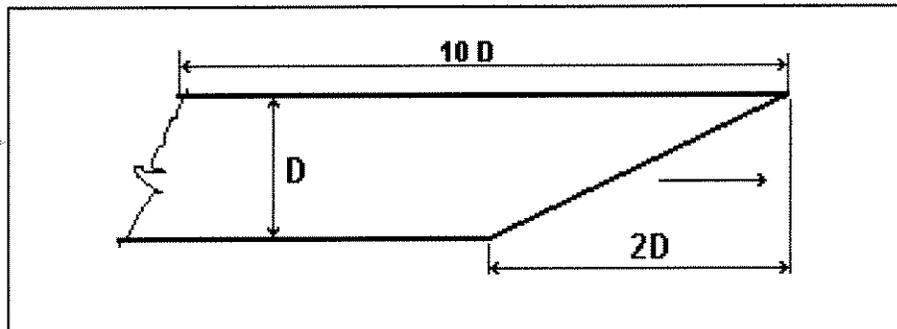
Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-35

C.4 En diseños de chimeneas de descarga para ventiladores

En las descargas de ventiladores se instalan chimeneas, las cuales pueden ser horizontales o verticales; con Factor de perdida de hasta 0.08 por lo que se podría tomar como despreciable.

Algunos detalles se presentan a continuación:

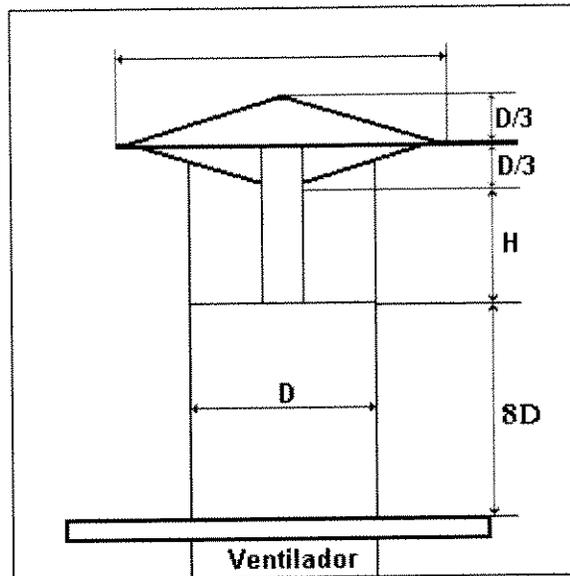
Figura 53 Chimenea horizontal, descarga de ventilador.



Fuente: Bibliografía 4, p 5-37

Figura 54

Chimenea vertical, descargas de ventiladores



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-37

TABLA XXIII Factores de pérdida por fricción para chimeneas verticales con capota

H, No. de diámetros	Factor de pérdidas por VP
1.00 D	0.10
0.75 D	0.18
0.70 D	0.22
0.65 D	0.30
0.60 D	0.41
0.55 D	0.56
0.50 D	0.73
0.45 D	1.00

Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-37

D. RESISTENCIA DE LAS BOLSAS A ATAQUES FÍSICO-QUÍMICOS

En las tablas siguientes se encuentran en forma general la resistencia de los diferentes tipos de bolsa en el sentido de Excelente, bueno, regular o malo a ataques químicos o físicos según sea el caso.

Tabla XXIV Propiedades de resistencia al ataque de propiedades químicas y físicas del Polipropileno, Poliéster, Acrílico y Fibra de Vidrio

	Polipropileno	Poliéster	Acrílico	Fib. Vidrio
Temperatura de operación (°F)	170	275	285	500
Abrasión	Excelente	Excelente	Bueno	Regular
Absorción	Bueno	Excelente	Bueno	Regular
Propiedades de filtración	Bueno	Excelente	Bueno	Regular
Calor húmedo	Excelente	Malo	Excelente	Excelente
Medio Alcalino	Excelente	Regular	Regular	Regular
Ácido mineral	Excelente	Regular	Bueno	Malo
Oxígeno (15 % o más)	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Costo relativo	X	X	XX	XXX

Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide , p 15

Tabla XXVI Propiedades de resistencia al ataque de propiedades químicas y físicas del Nomex, Rytón, P-84 y Teflón

	NOMEX®	Rytón®	P - 84	Teflón®
Temperatura de operación (°F)	375	375	500	500
Abrasión	Excelente	Bueno	Regular	Bueno
Absorción	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Propiedades de filtración	Excelente	Excelente	Excelente	Regular
Calor húmedo	Bueno	Bueno	Bueno	Excelente
Medio Alcalino	Bueno	Excelente	Regular	Excelente
Ácido mineral	Regular	Excelente	Bueno	Excelente
Oxígeno (15 % o más)	Excelente	Malo	Excelente	Excelente
Costo relativo	XXXX	XXXXXXX	XXXXXXX	XXXXXXX

Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide , p 15

®.....Marcas registradas

En las tablas siguientes; se encuentra un listado en forma descendente de la resistencia de las diferentes bolsas en lo que respecta a ataques de abrasión, químicos, absorción y temperaturas.

Tabla XXVII Orden descendente del tipo de bolsa según el ataque a abrasión, química y absorción de energía.

1. Resistencia a la abrasión	2. Resistencia Química	3. Absorción de energía
a. Polipropileno	a. Polipropileno	a. Poliester
b. Poliester	b. Teflón	b. Nomex
c. Nomex	c. Tytón	c. P - 84
d. Acrílico	d. Acrílico	d. Rytón
e. Teflón	e. P - 84	e. Polipropileno
f. Rytón	f. Fibra de vidrio	f. Acrílico
g. P - 84	g. Poliester	g. Teflón
h. Fibra de vidrio	h. Nomex	h. Fibra de vidrio

Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide , p 15

**Tabla XXVIII Orden descendente del tipo de bolsa según la
resistencia a exposición de temperatura**

4. Temperaturas máximas de operación (°F)	
a. Fibra de vidrio	500
b. Teflón	500
c. P - 84	500
d. Nomex	375
e. Rytón	375
f. Acrílico	285
g. Poliester	275
h. Polipropileno	170

Fuente: Product Reference and Troubleshooting Guide , p 15

E. INSPECCIONES DE SISTEMAS DE DESEMPOLVAMIENTO

E.1 Una vez por semana en operación

➤ Ventilador

- Presencia de orificios y/o golpes en el cajón.
- Posición del damper (% de abertura)
- Temperatura de cojinetes.
- Temperatura del motor.
- Potencia del motor.
- Tensión de las fajas.
- Flujo de aire, en tubería del pleno limpio.
- Engrasado de cojinetes.

➤ Compartimento

- Diferencial de presión.
- Entrada de aire falso en compuertas de acceso.
- Existencia de polvo en el pleno limpio de los compartimentos.
- Inspección de algunas bolsas.
- Tensión, material compacto y sellos.

➤ **Sistema de limpieza**

- Sello de compuertas en válvulas de aire reverso; en los momentos de filtrado y limpieza.
- Operación de los ciclos y tiempos de limpieza.
- Tensión del brazo actuador de las compuertas de aire reverso.

➤ **Tolva**

- Operación de la válvula de descarga.
- Golpeo para determinar retención de material.

➤ **Tubería de desempolvamiento**

- Evaluar succión en c/u de los puntos de desempolvamiento; bueno, regular o malo.
- Existencia de tuberías rotas por desgaste (abrasión) en codos.
- Presencia de deformaciones por golpes.

E.2 En paros programados por mantenimiento

➤ Ventilador desmontado

- Estado físico del damper.
- Estado físico del impulsor y cajón:
 - Desgaste.
 - Material adherido.
 - Corrosión.
- En el momento del ensamble:
 - Alineación del eje del impulsor.
 - Alineación de poleas.
 - Tensión de las fajas.
 - Sentido correcto de rotación del impulsor.

➤ Compartimento

- Quitar y revisar todas las bolsas; material compactado y/o fraguado, existencia de desgaste en la tela.
- Operación de los manómetros de reloj o buen estado del líquido de los manómetros en U.
- Estado del interior de la estructura, por señales de corrosión.

➤ **Sistema de limpieza**

- Operación del tablero del control de válvulas.
- Revisión de pines y chavetas; ubicadas en válvulas de aire reverso.

➤ **Tolva**

- Desgaste del sistema de descarga.
- Desgaste del deflector.
- Material fraguado.

➤ **Tubería de desempolvamiento**

- Pintura, por señales de corrosión.
- Eliminar acumulaciones de material retenido en la parte exterior.

➤ **Plenum limpio**

- Existencia de material fraguado en el interior.

F. MEDICIÓN DE PRESIONES DINÁMICAS CON TUBO PITOT Y CÁLCULO DE FLUJO DE AIRE EN TUBERÍAS

F.1 Medición de la presión dinámica con Tubo de Pitot en “L”

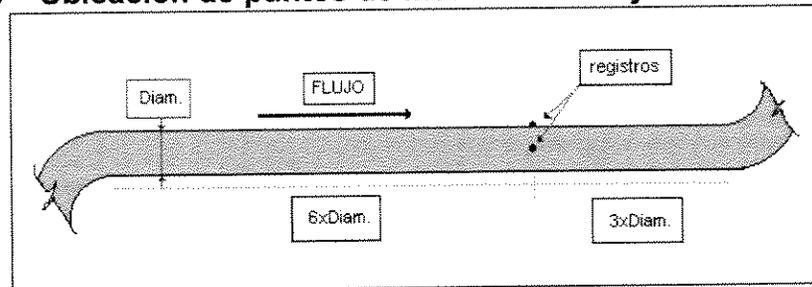
En conexión con la instalación de desempolvamiento siempre puede contar con que la corriente del aire; en el sistema de tubería, es turbulenta.

Sin embargo, medir la presión dinámica (PV) en el eje central del tubo no es muy recomendado, por lo que al calcular el valor promedio de la presión dinámica midiendo únicamente en el eje central del tubo, se debe de multiplicar por un factor de corrección de 0.84; de lo contrario, se deben realizar varias lecturas en puntos de medición adecuados; libre de restricciones, lo cual es de suma importancia para la calidad de la medición.

La identificación de que tipo de pitot se utilice también es importante ya que existen dos tipos denominados S y L. La diferencia radica en el diseño y esto conlleva a tener un factor de corrección según sea el tipo de pitot. Si se utiliza el tipo S tiene un factor de corrección de 0.86 y si se utiliza el de tipo L el factor es 1.00.

Para tener una buena lectura se deben tener dos registros; uno perpendicular al otro, colocados en un tramo recto de la sección a analizar (a 2/3 partes del tramo recto, siguiendo la dirección del flujo), el cual deben tener por lo menos una distancia mínima de 9 veces el diámetro del tubo. Por lo que la ubicación de los registros debería estar a 6 veces el diámetro; medida del codo, ver figura 55.

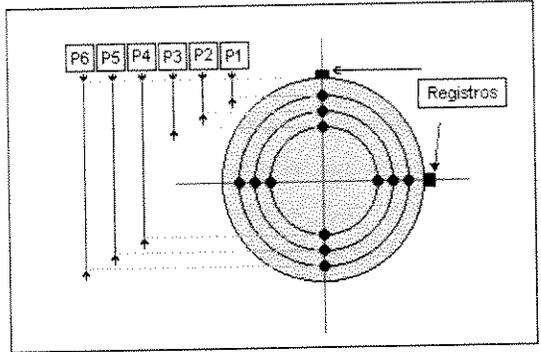
Figura 55 Ubicación de puntos de medición de flujo laminar



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 9-4

Es importante la exactitud que se crea tener en las mediciones de presión dinámica en las tuberías; más, si no se cumple con el tramo recto requerido. Para tener un buen dato del caudal de aire pasando en el tubo, se debe tomar el mayor número de mediciones sobre la sección transversal del tubo; una guía para la ubicación de la profundidad se puede tomar de la tabla F.I, en función del número de lecturas que se deseen hacer.

Figura 56 En un corte transversal se ubican los puntos donde debe colocarse el pitot para una medición de 12 datos.



Fuente: Chemical Engineering; February 1996 4, p 9-5

Un ejemplo de las distintas posiciones en que se debe colocar el Pitot para la medición de presiones dinámicas en una tubería redonda, se presentan en la figura 56; con 6 puntos de medición por registro, haciendo un total de 12 puntos de medición.

Tabla XXIX Factores para calcular la profundidad del pitot en ductos circulares dependiendo del número de mediciones que se deseen

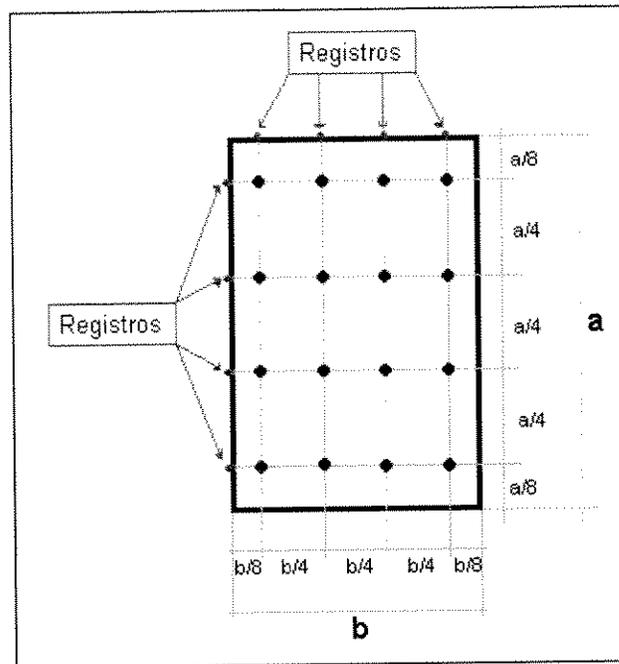
Punto Número	12 e =	10 e =	8 e =	6 e =	4 e =
1	0.022	0.025	0.032	0.044	0.067
2	0.067	0.08	0.105	0.147	0.25
3	0.118	0.145	0.194	0.296	0.75
4	0.177	0.225	0.323	0.704	0.933
5	0.25	0.34	0.677	0.853	
6	0.356	0.66	0.806	0.956	
7	0.644	0.775	0.895		
8	0.75	0.855	0.968		
9	0.823	0.92			
10	0.882	0.975			
11	0.933				
12	0.979				

Ecuación No. F-1
Profun = e * Diam.

Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 9-9

Si se tiene una tubería de sección transversal rectangular o cuadrada, también se tiene una tabla guía con factores. Se recomienda la ubicación de los puntos de medición de la presión dinámica, según se describe en la figura 57.

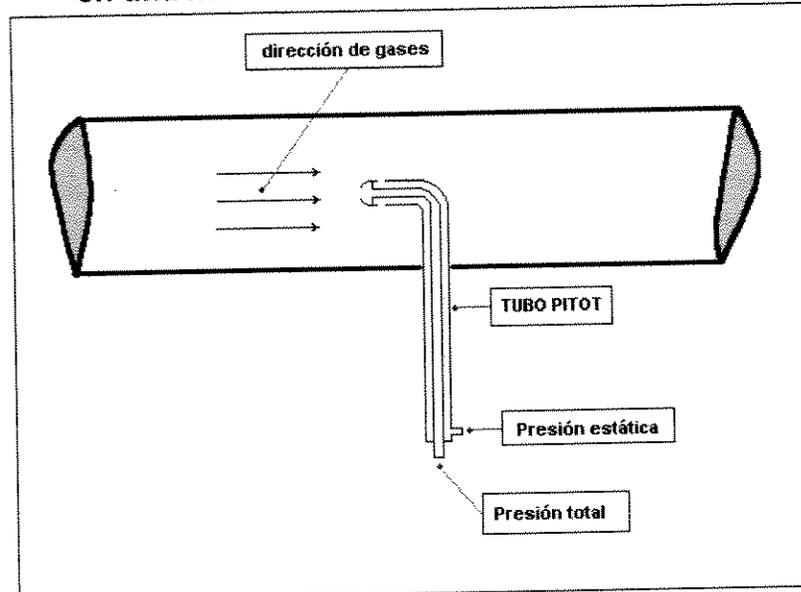
Figura 57 En un corte transversal se ubican los puntos donde debe colocarse el pitot para una medición de 16 datos para una tubería cuadrada o rectangular.



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 9-9

La forma de colocar el tubo de pitot en "L" para la medición dinámica en una tubería se puede observar gráficamente en la figura 58.

Figura 58 Posición en que debe de colocarse un tubo pitot tipo "L", en una medición



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 1-4

En general, la presión dinámica es la diferencia de la presión estática con la presión total. Esta se obtiene directamente si los dos puntos se conectan a un manómetro en U.

Para una mayor facilidad en el Tubo de Pitot son marcados los puntos de penetración de tal forma que equivalgan a la profundidad que debe ser introducido, y no estar midiendo en cada nuevo punto, volviendo la medición larga y agotadora.

Figura 59 Hoja para el cálculo del flujo de aire en una tubería

MEDICIÓN DE FLUJO DE GAS

Lugar de medición..... _____
 No. de registro..... _____ Hora..... _____ Fecha..... _____
 motivo..... _____

Dimensión del ducto (diámetro)..... (D)	12	pulg
Área del ducto..... ($\Pi / 4 * D^2$)	0.785	pies ²
Presión barométrica..... (Pb)	13.476	psi
Presión estática..... (SP)	2.104	psi
Presión absoluta..... (Pb + SP)..... (Pg)	15.580	psi
Temperatura de gases..... (Tg)	40	° F
Temperatura de gases. (absoluta)..... (460 + °F)..... (Tg)	500	R
% partículas en el aire.....	0.0	%
Densidad del aire en condiciones normales..... (ρ_{nw})	0.081	Lb/pie ³ *

Ecuación No F-2

* $(\rho_{nw}) = 0.0808 * (1 + (\% \text{ polvo } / 100))$ Lb/pie³

Punto No.	Profun. e. D (Pulg)	Mediciones VP		Promedio ΔP_i (in CA)	conver. ΔP_i (psi)	$(\Delta P_i)^{0.5}$ (psi)
		ΔP_1 (in CA)	ΔP_2 (in CA)			
1	1	0.80	0.90	0.85	0.031	0.175
2	2	0.95	0.99	0.97	0.035	0.187
3	4	1.00	0.85	0.93	0.033	0.183
4	6	0.85	0.90	0.88	0.032	0.178
5	10	0.90	1.10	1.00	0.036	0.190
6	11	0.85	0.80	0.83	0.030	0.173
PROMEDIO						0.181

Ecuación No F-3

$$Q_{gas(actual)} = 997.692 * A * \sqrt{\frac{T}{\rho_{nw} * P_g}} * \sqrt{\Delta P} \quad (\text{cfm})$$

Ecuación No F-4

$$Q_{(normales)} = \left(\frac{492}{T_g} * \frac{P_g}{14.696} \right) * Q_{gas(actual)} \quad (\text{Ncfm})$$

Q_{gas} = 3037 cfm

Q_{norm} = 2741 Ncfm

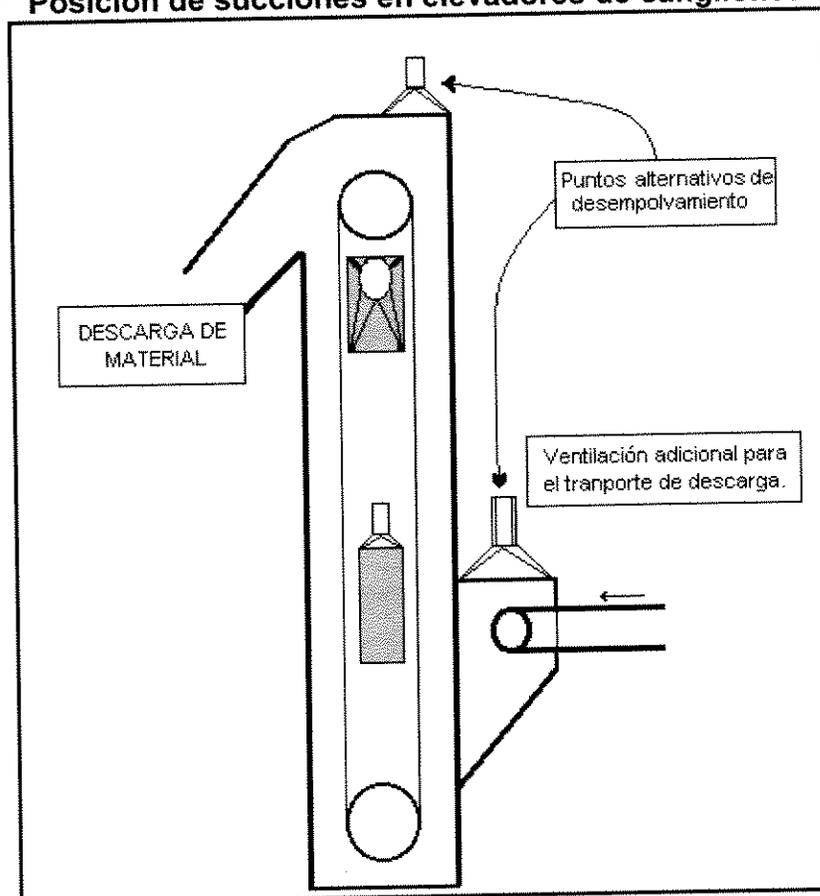
Fuente: Trabajo de campo

El valor promedio de las presiones dinámicas medidas no puede utilizarse para calcular la velocidad promedio del aire en el tubo, pero si el promedio de la raíz cuadrada de las presiones dinámicas.

**G. UBICACIÓN DE PUNTOS Y CÁLCULOS DE CAUDALES NECESARIOS
PARA EL DESEMPOLVAMIENTO EN SISTEMAS DE
TRANSPORTE DE SÓLIDOS**

G.1 Desempolvamiento en elevadores de cangilones

Figura 60 Posición de succiones en elevadores de cangilones



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 10-65

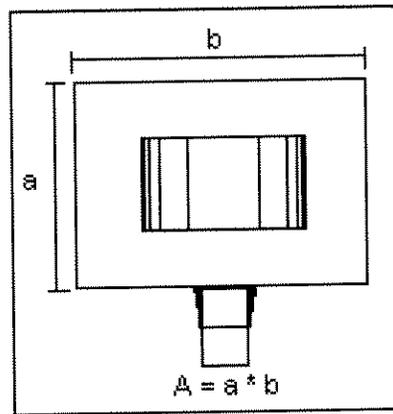
Para el calculo del caudal de desempolvamiento en elevadores, se tiene la ecuación No G-1, la cual no es mas que una función del área transversal del elevador, en pies cuadrados.

Ecuación No G-1

$$Q = 100 \text{ (cfm / pie}^2\text{)} * A_{\text{transv}} \text{ (pie}^2\text{)}$$

Figura 61

Sección transversal del elevador



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 10-65

Si el elevador es alto, se recomienda colocar un punto de desempolvamiento a cada 30 pies, y entre cada uno de estos puntos colocar un orificio de alivio (o venteo); en el casco, con un diámetro de 0.5 veces el diámetro del ducto de succión. Este orificio se debe colocar en el extremo opuesto de la succión.

Figura 62

Detalle de las campanas en los desempolvamiento de elevadores

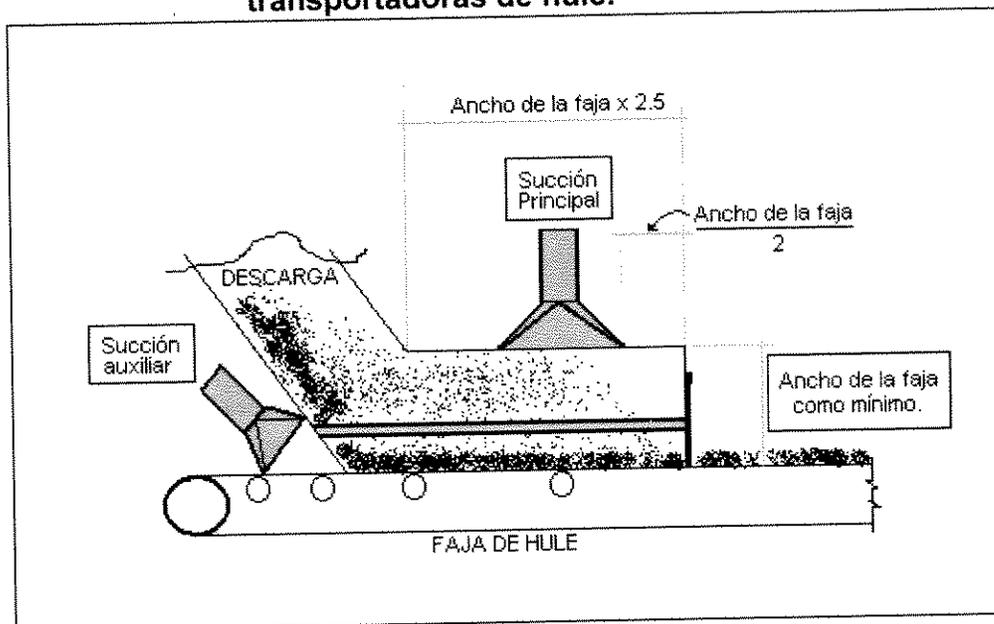


Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 10-65

G.2 Desempolvamiento en fajas transportadoras de hule

G.2.1 Lado Carga

Figura 63 Ubicación y características de diseño en succiones principales y auxiliares en carga de fajas transportadoras de hule.



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 10-64

Para una succión principal de una faja de hule que tiene una velocidad menor o igual a 200 fpm:

Ecuación No G-2

$$Q = 350 \text{ (cfm/pie) } * \text{ Ancho de faja (pies) }$$

Para una succión principal de una faja de hule que tiene una velocidad mayor a 200 fpm:

Ecuación No G-3

$$Q = 500 \text{ (cfm/pie) } * \text{ Ancho de faja (pies)}$$

Para succiones auxiliares se pueden tener caudales variables, los cuales dependen del grado de emisividad de polvo. En la siguiente tabla se encuentran valores aproximados en situaciones donde el grado de emisividad es alto.

Tabla XXX Caudales para succiones auxiliares en carga de fajas en función del ancho de la faja.

Ancho de fajas	Caudal (cfm)
De 12 a 36 pulgadas	350 - 700
Mayor de 36 pulgadas	1000

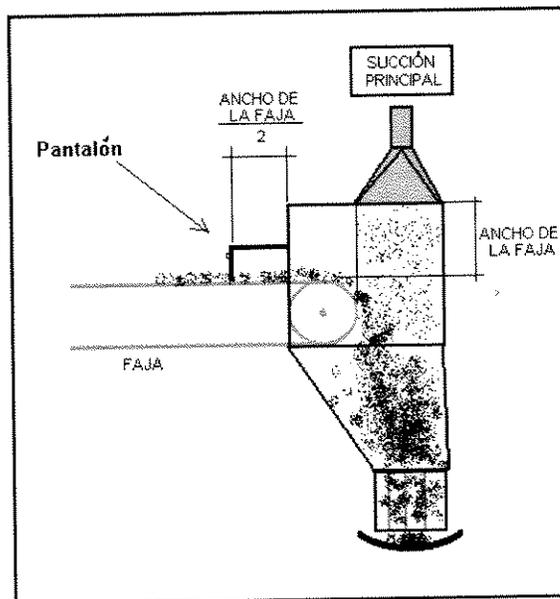
Fuente: Chemical Engineering; February 1996, 10-67

G.2.2 Lado descarga

Para el cálculo del caudal de aire para el desempolvamiento, se usan las mismas ecuaciones para la carga, solo que en este caso se refiere a la velocidad de la faja que descarga.

Figura 64

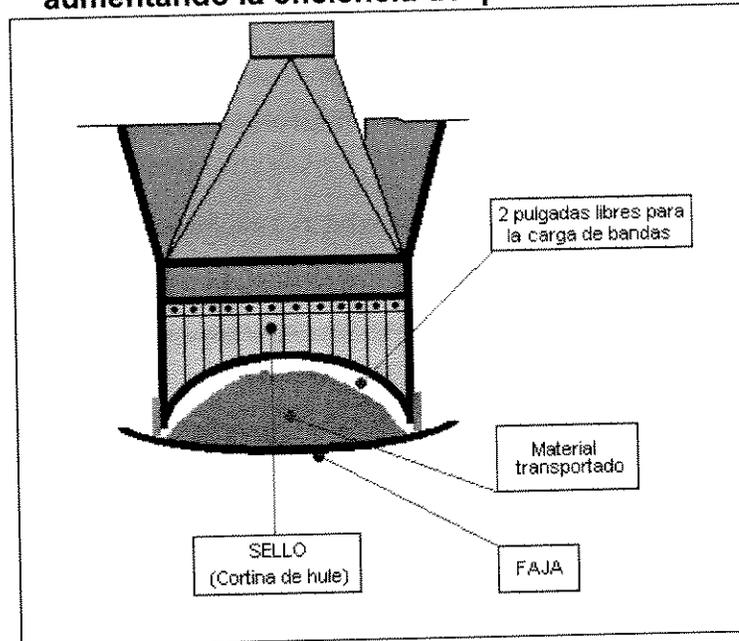
Ubicación y características de diseño en succión principal en descarga de fajas transportadoras de hule.



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 10-67

En la siguiente figura se presentan los detalles en la colocación de un sello en el extremo del pantalón, el cual disminuye la succión de aire falso, aumentando la eficiencia de desempolvamiento.

Figura 65 Sello en faldones para disminuir la entrada de aire falso y aumentando la eficiencia del punto de succión

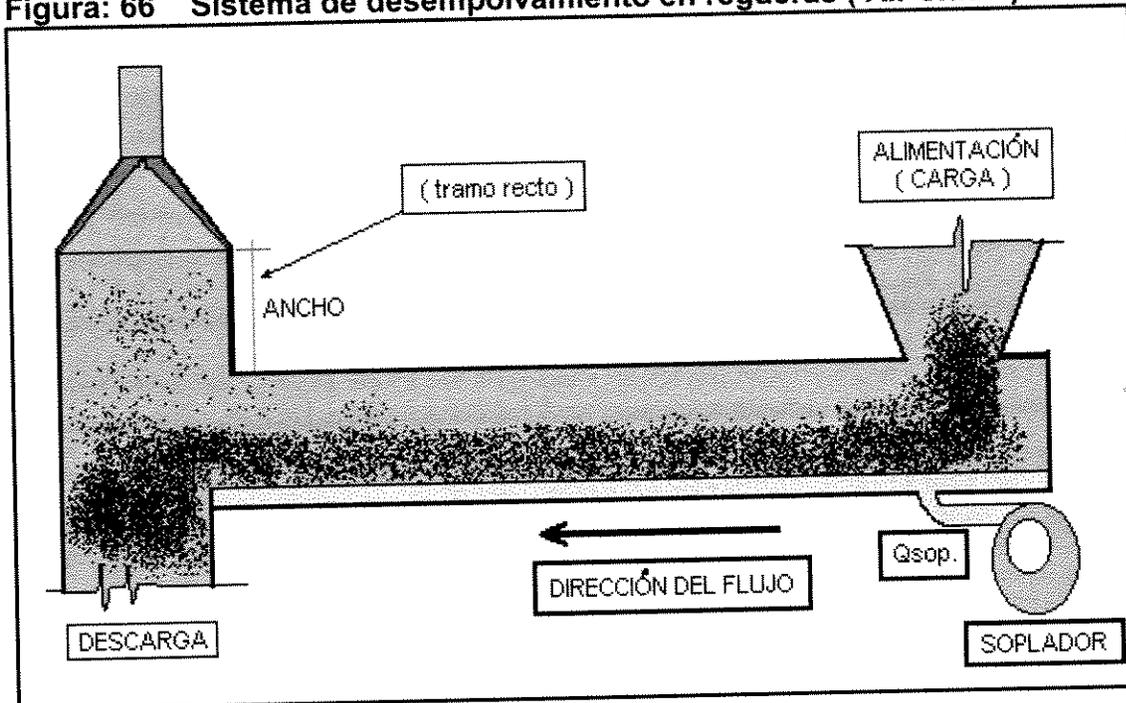


Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 10-67

G.3 Desempolvamiento en regueras

En este tipo de transporte es importante colocar desempolvamiento, debido a que se tiene una inyección de aire por medio de uno o varios sopladores; según los requerimientos, el cual debe de ser desalojado por medio de un desempolvamiento, evitando con esto una presión positiva en la cámara de material; lo que esta condición representa problemas en la operación. Se debe colocar un tramo de sección recta para la succión (ver figura No. G.7), con el motivo de disminuir la carga de polvo a succionar; evitar la succión de partículas grandes.

Figura: 66 Sistema de desempolvamiento en regueras (Air Slade)



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-3

Para el flujo de aire a succionar en el desempolvamiento según el caudal inyectado por el soplador se tiene la ecuación No. G.4

Ecuación No G-4

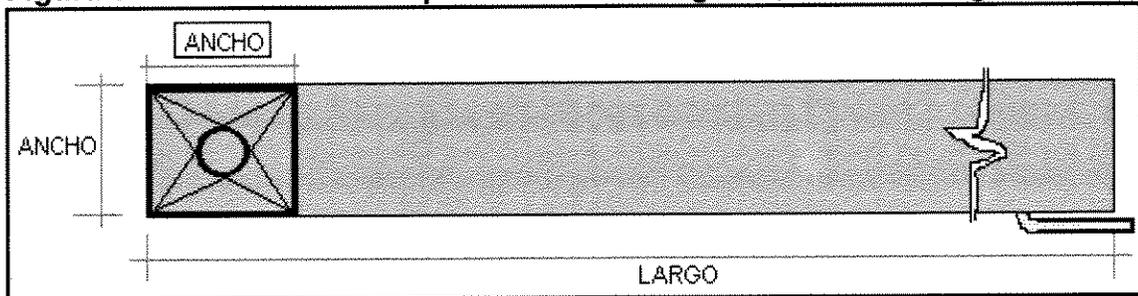
$$Q_{succ} = 1.1 * Q_{sop} \text{ (cfm)}$$

Si no se tiene el dato del caudal que inyecta el soplador; para el cálculo del caudal a succionar, existe otra forma en donde el caudal requerido de succión se basa en función del área transversal del cajón, ver ecuación No. G-5 y figura No G.8 para una mejor comprensión.

Ecuación No G-5

$$Q_{\text{succ}} = 10 \text{ (cfm/ pie}^2\text{)} * A_{\text{(trans)}} \text{ (pies}^2\text{)} \quad \therefore A_{\text{(trans)}} = \text{LARGO} \times \text{ANCHO}$$

Figura 67 Punto de desempolvamiento en reguera, lado descarga



Fuente: Chemical Engineering; February 1996 4, p 5-3

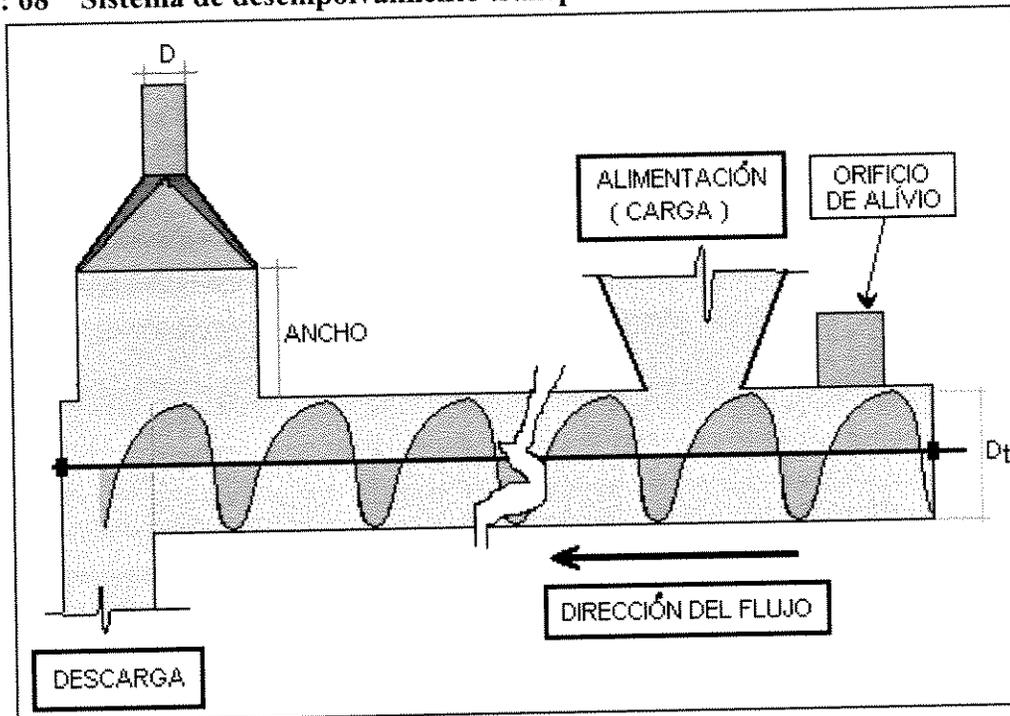
Si la reguera es extremadamente larga, se deben colocar una succión equivalente cada 100 pies comenzando desde la descarga. Esto se hace con el fin de no exceder la succión en la descarga. Si piensa que la succión en la descarga u otro punto se arrastrarán partículas grandes (innecesarias) o existe mucha turbulencia, se puede sobredimensionar la base de la sección recta; a criterio del diseñador, disminuyendo la velocidad del aire de succión en la tolva. Con esto se logra disminuir tanto el tamaño de partículas, como la carga del aire.

G.4 Desempolvamiento en gusanos

Aunque en este tipo de transporte no se acostumbra colocar desempolvamiento, en el caso de ser necesario se aconseja colocar; además de la succión, un orificio que sirva de alivio para evitar la compresión de la estructura y se pueda tener la limitación del aire succionado disminuyendo la velocidad en el ducto y creando problemas de taponamiento en el mismo. Al

igual que en el desempolvamiento de regueras, también se aconseja colocar un tramo de sección recta (ver figura 68), el cual realizará la misma función.

Figura: 68 Sistema de desempolvamiento transportadores helicoidales



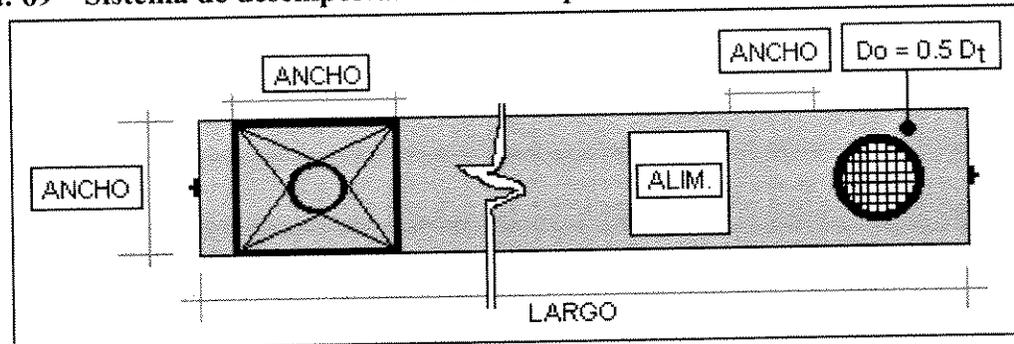
Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-3

La forma de calcular el caudal requerido de succión se basa en función del área transversal del cajón, ver ecuación No. G-6 y figura 69.

Ecuación No. G-6

$$Q_{\text{succ}} = 20 \text{ (cfm/ pie}^2\text{)} * A_{\text{(trans)}} \text{ (pies}^2\text{)} \quad \therefore A_{\text{(trans)}} = \text{LARGO} \times \text{ANCHO}$$

Figura: 69 Sistema de despolvamiento transportadores helicoidales



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-3

NOTA:

- La ubicación del orificio de alivio ayudará para que la dirección del aire contribuya al transporte del material y no ejerza resistencia al mismo.
- Si la caída de material en la descarga del gusano es brusca; provocando turbulencia, se aconseja colocar una válvula de descarga, la cual además de ejercer un sello; evitando la existencia de un flujo de aire soplando el material en dirección contraria, evitará la turbulencia.
- Por lo regular un flujo calculado no es muy exacto, de tal forma que puede ser insuficiente para las necesidades que se requieran. Al calcular un flujo, se tiene que evaluar las condiciones y concluir si cubre las necesidades de despolvamiento.

H. PROCEDIMIENTO PARA EL BALANCE DE RAMALES DE DESEMPOLVAMIENTOS

Para un mejor control se presenta la siguiente figura, en la cual se presentan todos los cálculos necesarios para el balance de los ramales de tubería para el desempolvamiento.

Figura 70 Hoja de cálculo, para el balance de tuberías de succión

Itm	Identificación de la sección del tubo		1 - A
1	Flujo volumétrico	cfm	3000
2	Velocidad mínima de transporte	fpm	3700
3	Diámetro del ducto	in	12 3/16
4	Área del ducto (EC. H-1)	sq ft	0.811
5	Velocidad actual en el ducto (EC. F-3)	fpm	3976
6	Temperatura del aire en el ducto	° F	150
7	Presión dinámica (VP) en el ducto	" wg	0.77
8	Flujo volumétrico real (4 * 5)		3224
9	Área abierta	sq ft	6.9
10	velocidad (8 / 9)	fpm	467
11	VP (EC. H-2)	" wg	0.011
12	Factor de pérdida de 1 a 1.78		1.5
13	Factor de pérdida por aceleración 0 o 1		1
14	Factor total de pérdida por VP (12 + 13)		2.5
15	Presión estática (SP) (11 * 14)	" wg	0.0276
16	Factor de pérdida por fricción (T - C-III)		0.25
17	Factor de aceleración 0 o 1		1
18	Factor de pérdida por VP (16 + 17)		1.25
19	Pérdida en el ducto (7 * 18)	" wg	0.96
20	Otras pérdidas	" wg	0
21	SP en la campana (15 + 19 + 20)	" wg	0.99
22	Longitud del ducto	ft	7
23	Factor de fricción (Hr) (EC. B-1)		0.018
24	Factor de pérdidas por VP en el ducto (22 * 23)		0.13
25	Número de codos de 90°		0.00
26	Pérdida en los codos por VP (25 * T - C-II)	" wg	0.00
27	Número de pasos		0
28	Pérdida en los pasos por VP (27 * T - C-I)	" wg	0.00
29	Ajustes especiales al factor de pérdidas por VP en la tubería		0.00
30	Pérdidas de fricción por VP en el ducto (24+26+28+29)		0.13
31	Pérdidas de SP en el Ducto (7 * 30)	" wg	0.10
32	Pérdidas de SP total en la sección (21 + 31)	" wg	1.09
33	SP acumulada en el ducto (- 32)	" wg	-1.34
34	SP gobernante	" wg	-1.34
35	Flujo corregido (EC. H-3)	cfm	3220
36	Ajuste por pérdidas de presión estática (BLAST GATE)	" wg	0.00
37	Diámetro del orificio instalado	in	??

Fuente: Chemical Engineering; February 1996 , p 5-19

H.1 Descripción de los incisos de la hoja de cálculo presentada en la figura H.1

“0”.....Es importante identificar en un plano los puntos en la tubería de desempolvamiento, de tal manera que se pueda comprender a que sección del tramo se esta refiriendo en el análisis. Se puede usar una nomenclatura numérica para los puntos de succión y una alfabética para las conexiones (pasos).

“1”.....Se refiere al flujo que se necesita o debe pasar por ese tramo de tubería, a condiciones de temperatura y presión del medio actual.

“2”.....Es un valor guía de la velocidad mínima del aire en el ducto, para evitar taponamientos o desgastar por abrasión, en pies por minuto.

“3”.....Se refiere al diámetro interno de la tubería en cuestión, en pulgadas.

“4”.....Aquí se presenta el cálculo del área transversal de la tubería, en base al diámetro de la tubería (inciso 3). En caso que la tubería no fuera redonda, utilizar la ecuación que se aplique según la forma geométrica del tubo.

Ecuación No H-1

$$A = \pi / 4 * D_{\text{tubo}}^2$$

“5”.....Aquí se presenta el cálculo de la velocidad real del aire en el ducto, utilizando la ecuación F-3. Para este cálculo se necesitan los datos de los incisos 6 y 7.

“6”.....Se refiere a la temperatura promedio del aire en la sección. Al tomar esta lectura se debe evitar la entrada de aire ambiente, ya que esto afectara la preescisión en la medición.

“7”.....Se refiere a la presión dinámica (presión de velocidad (VP)) del aire en la sección medida con el Tubo de Pitot. Al igual que en el inciso anterior, se debe evitar la entrada de aire falso por el registro.

“8”.....Se refiere al valor del flujo real de aire que está pasando por la sección. Este valor se calcula multiplicando la velocidad real del aire (inciso 5) y el área del ducto (inciso 4).

Los incisos del 9 al 15 se refieren a la ranura en la campana de succión.

“9”.....Se refiere al área abierta por donde se crea que entra el aire ambiente; el cual es succionado y arrastra el polvo, para ser recolectado.

“10”.....Es un cálculo a groso modo de la velocidad del aire en la ranura. Se calcula dividiendo el flujo real de aire succionado (inciso 8) dentro del área de la ranura (inciso 9).

“11”.....Se refiere a la presión dinámica del aire en la ranura. Debido a que es difícil de medirla con el Pitot por ser pequeña, es calculada en base a la velocidad (inciso 10) y temperatura del aire succionado

(inciso 6). Esta presión se obtiene utilizando la ecuación siguiente:

Ecuación No H-2

$$\Delta P = 0.000030806 * V^2 / (460 + t)$$

“12”.....Para este factor existe un rango desde 1 hasta 1.78, en el valor que puede tomar. Si se siente una buena succión; 0.5 pulgadas de presión estática en el cajón de la campana o más, tomara el valor máximo, de lo contrario se tomará el valor mínimo.

“13”.....Aquí también se tiene un rango de 0 a 1; si en la ranura se siente por lo menos un poco de succión tomará el valor de uno(1), de lo contrario será cero (0)

“14”.....El factor total de pérdidas por VP en la ranura se encuentra con la suma de los valores obtenidos en los incisos 12 y 13, representando las caídas de presión existentes en la ranura.

“15”.....La presión estática es calculada multiplicando el factor de pérdidas por SP (inciso 14) y la VP del ramal (inciso 11).

Los incisos del 16 la 21, se centran en el punto de succión.

“16”.....El valor del factor de pérdida se encuentra en la tabla C-III, debiéndose conocer el ángulo y forma de la campana.

“17”.....Si se tiene una campana en la que el ángulo “ θ ” es menor a 160° , el factor de aceleración será uno (1), de lo contrario es cero (0).

“18”.....El factor total de pérdida se obtiene con la suma de los factores de pérdidas por fricción y aceleración (incisos 16 y 17).

“19”.....La pérdida de SP por la estructura se obtiene con la multiplicación del factor total de pérdida y VP en el ducto, incisos 18 y 7 respectivamente.

“20”.....Otras pérdidas en la succión dependerán de la forma, tanto de la campana como de la ranura. Este valor queda a criterio del evaluador y por lo general toma el valor de cero (0), si esta bien diseñado y construido el sistema.

“21”.....Las pérdida total de SP en la sección, sería la suma de los incisos 15, 19 y 20; estos valores representan todas las pérdidas que se pueden tener en la campana y ranura.

Los incisos del 22 al 28, se centran en la tubería de succión.

“22”.....Aquí se refiere a la longitud del tramo en mención incluyendo los codos.

“23”.....Es el factor de pérdidas por fricción. Para esto se utiliza la ecuación No B-1 y se debe conocer el tipo de material con el que fué construida la tubería.

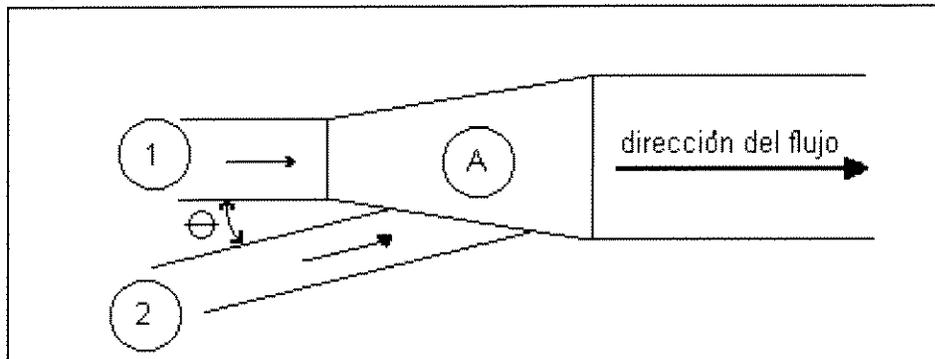
“24”.....El factor de fricción por VP en el ducto se obtiene multiplicando la longitud de la sección por el factor de fricción, incisos 22 y 23, respectivamente.

“25”.....El número de codos de 90° se obtiene del campo, en caso de que se tengan codos de 30° , 45° , 120° , etc. se toman como equivalentes de 90° , es decir 0.33, 0.50, 1.33 respectivamente.

“26”.....La pérdida de fricción ejercida por los codos se calcula multiplicando el número de codos de 90° y el factor de fricción por codo; este factor se encuentra en la tabla C-II y se debe conocer la relación entre el radio del arco que forma el codo y el diámetro del tubo.

“27”.....El número de pasos, se refiere al número ramales que se conecten en un punto de la tubería, en donde es desviando el flujo de aire para que continúe su trayecto. Por ejemplo en la figura 2, en la sección 1 ; no se tiene paso, y en la sección 2 ; existe uno.

Figura 71 Sección de paso



Fuente: Chemical Engineering; February 1996, p 5-11

“28”.....Las pérdidas de VP, se encuentra multiplicando el número de pasos por el factor por fricción encontrado en la tabla C-I, debiéndose conocer con anterioridad el ángulo θ . Ver figura 1.

“29”.....Este ajuste especial; al factor de fricción en el sistema de tubería, se deja a criterio del examinador, que por lo general toma el valor de cero (0). Si se tiene un mal montaje; porque las condiciones presentes del área no lo permitieron o cualquier otra causa, se debe colocar un valor en base a experiencia, en el grado de complejidad del tramo. También aquí se puede colocar el valor de la pérdida por fricción ejercida por la placa de orificio que se ha instalado (Blast Gate)

“30”.....El coeficiente de pérdida total por fricción en la sección se obtiene con la suma de los incisos 24, 26, 28 y 29.

“31”.....La pérdida total en la sección por la tubería y accesorios, se obtiene multiplicando el coeficiente de pérdida total (inciso 30) y la presión dinámica en el ducto (inciso 7).

“32”.....La pérdida total de presión estática en el ducto se refiere a la pérdida ejercida por la campana y la tubería en sí. Esta pérdida se obtiene con la suma de los valores de los incisos 21 y 31.

“33”.....Como la presión estática es una resistencia, se le cambia signo. Por lo que la restricción del ducto será el negativo del valor de las pérdidas totales de presión estática en la tubería (inciso 32).

“34”.....La presión estática gobernante, se refiere a la presión estática acumulada máxima entre los ramales que se conecten en un punto de paso.

“35”.....El caudal corregido se refiere a un dato de referencia, en el cual se pretende establecer si al no realizar ninguna modificación; como el balance, se estaría succionar lo esperado, por el efecto resultante

que ejercen las presiones acumuladas y la gobernantes en el sistema.

Ecuación No H-3

$$Q_{\text{corr}} = Q_{\text{dest}} * (SP_{\text{gob}} / SP_{\text{secc}})^{0.5}$$

NOTA: Se debe tener en consideración que el aumento o disminución del caudal en una sección del ramal, afecta disminuyendo o aumentando el caudal en la otra, respectivamente.

“36”.....Este valor es obtenido de la diferencia entre la presión estática acumulada y la gobernante, después se divide el resultado dentro de la velocidad dinámica. El valor obtenido será la resistencia que deberá ejercer la placa de orificio a instalar. El tamaño del orificio óptimo en la placa se obtiene por el método Blast Gate, éste método se presenta en el apéndice I.

“37”.....Este valor se encuentra por medio del método Blast Gate. Ver apéndice I.

I. MÉTODO BLAST GATE

Este es un método que se basa principal en cálculos de prueba y error. A continuación se presenta el cálculo del balance en el colector 510-TF1.

Problema resuelto para una mejor comprensión y descripción del procedimiento.

Se necesita instalar un orificio par que ejerza una caída de presión de 0.9 en la sección 1 – A de la figura No 4.1, para esto se tiene: un caudal de 3,000 cfm, una velocidad del aire en el ducto de 3702 fpm, el diámetro de la tubería es de 12.19 pulgadas y la densidad del aire es de 0.056 lb/pe^3 , a una temperatura de 150 °F y a una presión atmosférica de 695 mm Hg.

FIGURA 72 Hoja de cálculo en excel para el balance Blast Gate del punto 1 figura No 4.2 (d/D = 1)

Caudal.....	3,000	cfm		
Velocidad.....	3,702	fpm		
D.....	12.19	Pulg		
Presión..ATM..	695	mm Hg		
Temp.....	150	° F		
Densidad.....	0.056	Lb/pie ³		

Area orificio	0.810	pie ²
Vel. Orificio	3,702	fpm

d/D	d	k	Nre	h
1.00	12 3/16	1.5116	25,000	0.276

h cuando d/D=1.....	0.276
caída de presión	0.900
suma...	1.176

Resolver.....(= 0)	0.900
----------------------------	-------

Fuente: Hoja de cálculo

PROCEDIMIENTO

1. Sustituir un valor cualquiera en d/D; Por ejemplo “ 1.0 ”.
2. Calcular el valor de “ d ”, con $d = (d/D) * D$.
3. Con el Número de Reynolds igual a 25,000 y la relación d/D, buscar el valor de “k” en la tabla I-1; interpolando o extrapolando de ser necesario.(Ec. I-1)
4. Calcular “ h ”, con $h = \rho * (Q^2 / (6 * k * d^2)^2)$.
5. Este valor es nuestro nivel de referencia, por lo que se le suma al valor de caída necesario
6. Repetir el procedimiento hasta obtener

$$\text{Caída de presión} + h((d/D)=1) - h(d/D) = 0.$$

Ver figura 2 con la solución de las iteraciones.

FIGURA 73 Hoja de cálculo en excel para el balance Blast Gate del punto 1 figura No 43 ($d/D = 0.85$), balanceado

Caudal.....	3,000	cfm		
Velocidad.....	3,702	fpm		
D.....	12.19	Pulg		
Presión..ATM..	695	mm Hg		
Temp.....	150	° F		
Densidad.....	0.056	Lb/pie ³		

Area orificio	0.587	pie ²
Vel. Orificio	5,110	fpm

d/D	d	k	Nre	h
0.85	10 6/16	1.0098	25,000	1.177

h cuando d/D=1.....	0.276
caída de presión	0.900
suma...	1.176

Resolver.....(= 0)	0.001
---------------------------	-------

Fuente: Hoja de cálculo

Se toma como base el número de Reynolds de 25,000 dado que con este valor se encuentra el orificio mas pequeño y en la práctica se evaluó siendo los mejores resultados.

¿Porque es el mejor? Si tomáramos otro valor de Reynolds tendríamos un orificio mayor y al ubicarlo en el punto no se logró los resultado deseados, mientras que con el otro se obtienen los resultados mas cerca de los esperados.

Tabla XXXI Valores de “ k ” en función de “ d/D ” y “ Nre” para tuberías entre 2 y 14 pulgadas de diámetro.

d/D	Nre x 1000						
	25	50	100	230	500	1000	10000
0.10	0.605	0.601	0.598	0.597	0.596	0.595	0.595
0.20	0.607	0.603	0.600	0.599	0.598	0.597	0.597
0.30	0.611	0.606	0.603	0.603	0.601	0.600	0.600
0.40	0.621	0.615	0.611	0.610	0.609	0.608	0.608
0.45	0.631	0.624	0.619	0.617	0.615	0.615	0.615
0.50	0.644	0.634	0.628	0.626	0.624	0.623	0.623
0.55	0.663	0.649	0.641	0.637	0.635	0.634	0.634
0.60	0.686	0.668	0.658	0.653	0.650	0.649	0.649
0.65	0.717	0.695	0.680	0.674	0.670	0.668	0.668
0.70	0.755	0.723	0.707	0.699	0.694	0.692	0.691
0.75	0.826	0.773	0.747	0.734	0.726	0.723	0.721

Fuente: Bibliografía 4, p 9-22

Ecuación I-1

$$k = 2.9491 (d/D)^4 - 3.4595 (d/D)^3 + 1.7261 (d/D)^2 - 0.3286 (d/D) + 0.6245$$

Fuente: Graficación de datos tabla I-I, columna Nre= 25,0000

