



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

"Selección y Diseño de un Equipo de Control de la Contaminación  
del Aire en el área de ensamble de una Fábrica de Acumuladores  
Eléctricos Plomo - Ácido"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

(PROYECTO DE GRADUACIÓN)

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Gonzalo David Sánchez Bustamante

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme el regalo de la vida y una familia incondicional que me brindó todo su apoyo para la culminación de esta etapa en mi vida.

A mi esposa Evelin por su motivación constante y en especial al Ing. Mario Patiño Aroca, Director del Proyecto, por su invaluable ayuda.

## DEDICATORIA

A mi Padre y a mi Madre  
por creer siempre en mí,  
enseñándome que todo  
éxito en la vida requiere  
de perseverancia,  
esfuerzo y constancia.  
Este logro más que mío es  
de ustedes. Gracias.

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

Ing. Jorge Duque R.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Mario Patiño A.  
DIRECTOR DEL TFG

---

Ing. Jorge Duque R.  
VOCAL



## **DECLARACIÓN EXPRESA**

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Gonzalo David Sánchez Bustamante

## RESUMEN

El presente proyecto de graduación se centró en el área de ensamble de una fábrica de acumuladores eléctricos plomo – ácido, la cual cuenta con un equipo de control de la contaminación del aire, encargado de mantener bajo control la concentración de plomo en el puesto de trabajo y sus emisiones hacia el medio ambiente.

Se empezó realizando el análisis inicial del equipo instalado tomando como referencia estándares ambientales EPA y de seguridad laboral OSHAS concernientes a la fabricación de acumuladores eléctricos plomo - ácido, además se consideró parámetros de diseño recomendados para el polvo de óxido de plomo como velocidad de transporte en los conductos y velocidad de filtración en el filtro de mangas tipo pulse – jet; en donde se evidencio que el equipo no está diseñado correctamente y tiene falencias que se ven reflejadas en las mediciones de plomo realizadas en el puesto de trabajo y en la descarga del filtro de mangas tipo pulse – jet.

Conociendo el problema se evaluaron los diferentes tipos de equipos existentes para controlar la contaminación del aire y mediante una matriz de decisión, en donde se calificó cada uno de ellos, se seleccionó el filtro de manga tipo pulse – jet.

Una vez escogido el equipo se diseñó el filtro de mangas tipo pulse – jet respetando velocidad de filtración recomendada, recomendaciones de fabricantes y se utilizó una expresión matemática para estimar la caída de presión a través del filtro la cual dependió del tipo de medio filtrante que este caso fue de poliéster con un acabado superficial de PTFE.

Se diseñó la red de ductos propuesta aplicando el método de velocidad constante, el cual establece que la presión estática en un punto de convergencia deben ser iguales y se utilizaron velocidades de transporte que garantizan que el polvo de óxido de plomo no se sedimente.

Conociendo la presión estática en cada parte del equipo de control de la contaminación del aire se escogió el ventilador centrífugo con álabes inclinados hacia atrás el cual es el encargado de suministrar el caudal necesario de flujo de aire venciendo todas las restricciones del sistema.

Finalmente se evaluaron los costos de fabricación del equipo de control de la contaminación del aire propuesto y se determinó la factibilidad de fabricarlo localmente.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS.....	vii
SIMBOLOGÍA.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE PLANOS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPITULO 1</b>	
1. LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA INDUSTRIA.....	3
1.1 Organismos de Control de la Contaminación del Aire.....	4
1.2 Contaminación del Aire en el Ecuador.....	11
1.3 Legislación Ambiental en el Ecuador. ....	16
<b>CAPÍTULO 2</b>	
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE..	22
2.1 Teoría de material particulado.....	25
2.2 Clasificación del material particulado.....	37
2.3 Análisis fluido - dinámico del material particulado.....	39

2.4	Comportamiento fluido – dinámico de las partículas en el gas de transporte.....	48
2.5	Velocidad de captura de las partículas.....	51
2.6	Equipos de Control de la Contaminación del Aire.....	52

### **CAPITULO 3**

3.	PROCESO DE FABRICACIÓN DE ACUMULADORES ELÉCTRICOS	69
3.1	Producción de rejillas de plomo.....	71
3.2	Producción de óxido de plomo.....	74
3.3	Mezclado de pasta y empastado de rejillas.....	78
3.4	Curado de placas.....	82
3.5	Montaje de elementos armados.....	84
3.6	Formación de baterías.....	90
3.7	Embalaje, paletizado y despacho.....	92
3.8	Identificación de puntos de emisión de polvo de plomo.....	92
3.9	Contaminación por plomo.....	95

### **CAPITULO 4**

4.	SELECCIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE.....	106
4.1	Situación actual.....	106
4.2	Análisis del problema.....	118

4.3 Selección del Equipo de Control de Contaminación del Aire.....	134
4.4 Diseño del Equipo de Control de Contaminación del Aire.....	136
4.4.1 Parámetros de diseño.....	137
4.4.2 Cálculo del caudal total necesario.....	138
4.4.3 Cálculo de la caída de presión del equipo.....	139
4.4.4 Diseño de Forma.....	139
4.4.5 Dimensionamiento del Equipo.....	142
4.4.6 Cálculo del Sistema de Limpieza.....	148
4.4.7 Cálculo de la potencia del ventilador.....	154
4.4.8 Cálculo de la caída de presión en la red de ductos.....	155
4.5 Análisis de Costos de Fabricación del Equipo de Control de Contaminación del Aire.....	181

## **CAPITULO 5**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	190
5.1 Conclusiones.....	190
5.2 Recomendaciones.....	193

## **APÉNDICES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
EEA	European Environment Agency
EPA	Environmental Protection Agency
CFR	Code of Federal Regulations
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
PNCA	Plan Nacional de la Calidad del Aire
TULSMA	Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
PM	Material Particulado
HEPA	High Efficiency Particle Arresting
COS	Cast on Strap
SART	Sistema de Auditorías de Riesgos del Trabajo
OSHA	Occupational Safety Health Administration
DHHS	Department of Health and Human Services
IARC	International Agency for Research on Cancer
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
ASTM	American Society of Testing and Materials
SMACNA	Sheet Metal & Air Conditioning Contractors National Association

## SIMBOLOGÍA

$\mu g$	Microgramo
$m^3$	Metro cúbico
<i>Pb</i>	Plomo
$SO_2$	Dióxido de Azufre
$NO_2$	Dióxido de Nitrógeno
$CO$	Monóxido de Carbono
$PbO$	Monóxido de Plomo
As	Arsénico
Sb	Antimonio
Ca	Calcio
Sn	Estaño
Cd	Cadmio
Ni	Niquel
mg	Miligramo
kg	Kilogramo
Kw-h	Kilovatio hora.
ppm	Partes por millón
Mi	Peso Molecular
Pa	Pascales
K	Grados Kelvin
$\mu m$	Micrometro
$\sigma_g$	Desviación Geométrica Estándar
Re	Número de Reynolds
$F_D$	Fuerza de Arrastre



N	Newtons
$v_p$	Velocidad Partículas
$\rho_g$	Densidad del gas
$A_p$	Área Seccional Partícula
$C_D$	Coeficiente de Arrastre
$d_p$	Diámetro Partícula
$\mu_g$	Viscosidad del gas
$Re_p$	Número de Reynolds de la Partícula
$C_c$	Factor de Corrección de
T	Temperatura
$F_s$	Fuerza de Sustentación
g	Gravedad
$F_g$	Fuerza Gravitacional
$m_p$	Masa de la Partícula
$F_r$	Fuerza Resultante
$dv/dt$	Derivada de la Velocidad con respecto al tiempo
$v_t$	Velocidad Terminal
PEL	Límite de exposición permitido
dL	Decilitro
CFM	Pies cubicos por minuto
HP	Horse Power
" wg	Pulgadas de columna de agua
rpm	Revoluciones por Minuto
lb	libras
min	Minuto
ft <sup>3</sup>	pies cúbicos
dB	Decibeles

ft	pies
ft <sup>2</sup>	pies cuadrados
°F	Grados Fahrenheit
H <sub>2</sub> O	Agua
mm	milimetro
Hz	Hertz
psi	libras por pulgada cuadrada
ms	milisegundo
s	segundo
$\Delta P$	Caída de presión
Q	Caudal, flujo de aire
A <sub>c</sub>	Área Total de Filtración
N	Número total de Mangas
V <sub>f</sub>	Velocidad de Filtración
D <sub>b</sub>	Diámetro de la Manga
l <sub>b</sub>	Longitud de la Manga
V <sub>c</sub>	Velocidad de Asentamiento
A <sub>s</sub>	Área Seccional del Filtro de Mangas
V <sub>I</sub>	Velocidad Intersticial
A <sub>E</sub>	Área Espejo
P <sub>s</sub>	Máxima presión estática durante la limpieza
P	Presión del Pulso de Limpieza
K <sub>1</sub>	Resistencia de la Manga Limpia
K <sub>2</sub>	Resistencia al flujo del Depósito de Polvo
K <sub>3</sub>	Coeficiente de Limpieza de la Manga
K <sub>v</sub>	Coeficiente de Pérdida del Venturi a entrada de la Manga
w <sub>o</sub>	Densidad del Área del Pastel de Polvo
t <sub>f</sub>	Tiempo de Filtración.

cm	Centímetro
SP	Presión Estática
VP	Presión de Velocidad
V	Velocidad en Ductos
TP	Presión Total
$h_f$	Pérdidas por fricción en Ductos
k	Rugosidad del Material
f	Factor de Fricción
L	Longitud del Ducto
d	Diámetro del Ducto
$h_{en}$	Pérdidas en Accesorios
$F_{en}$	Factor de Pérdidas en Accesorios
$Q_{\text{corregido}}$	Caudal de Aire Corregido
E	Energía
°C	Grados Celsius

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Porcentajes de Municipios que Cuentan con Departamento Ambiental.....	13
Figura 1.2 Principales Fuentes de la Contaminación del Aire en el Ecuador.....	14
Figura 1.3 Total de Vehículos por Tipo de Combustible.....	15
Figura 1.4 Morbilidad de Enfermedades Transmitidas por el Aire.....	16
Figura 2.1 Condiciones y Rangos de Tamaños de Partículas.....	26
Figura 2.2 Impactador en Cascado de dos Etapas.....	29
Figura 2.3 Fracción de Masa Vs Tamaño de la Partícula.....	31
Figura 2.4 Distribución Normal – Logarítmica.....	32
Figura 2.5 Distribución Normal – Logarítmica.....	34
Figura 2.6 Mecanismos Básicos de Colección de Partículas.....	35
Figura 2.7 Coeficiente Arrastre para una Esfera Lisa en Función del Número de Reynolds.....	40
Figura 2.8 Corrección de Cunningham en Función del Tamaño de la Partícula y Temperatura.....	45
Figura 2.9 Efectos de la Sustentación en Diferentes Fluidos.....	46
Figura 2.10 Balance de Fuerzas.....	49
Figura 2.11 Cámara de Sedimentación.....	58
Figura 2.12 Eficiencia de los Ciclones.....	59
Figura 2.13 Esquema de Funcionamiento de un Ciclón.....	60
Figura 2.14 Filtro de Mangas.....	62
Figura 2.15 Precipitador Electrostático.....	63
Figura 2.16 Depurador Tipo Torre.....	64
Figura 2.17 Tamaño Óptimo de Partícula de Cada Dispositivo de Control.....	66
Figura 2.18 Eficiencia de Colección Vs Tamaño de Partícula (A: Cámara Sedimentación, B: Ciclones, d: Precipitadores Electrostáticos, E: Depuradores Húmedos, G: Filtros De Mangas).....	66
Figura 3.1 Diagrama de Flujos de Fabricación de Baterías.....	70
Figura 3.2 Fabricación de Rejillas por Gravedad.....	72
Figura 3.3 Fabricación de Rejillas de Manera Continua.....	72

Figura 3.4	Fabricación de Rejillas por Expansión.....	73
Figura 3.5	Tipos de Óxido de Plomo. ((A). Litargirio, (B.) Plomo Rojo, (C). Gris).....	74
Figura 3.6	Método de Obtención de Oxido de Plomo por Medio de Ball Mill.....	76
Figura 3.7	Mezcladora de Pasta Oxmaster.....	79
Figura 3.8	Especificaciones Técnicas de Pasta.....	80
Figura 3.9	Máquina de Empaste M.A.C.....	81
Figura 3.10	Horno Secador de Placas M.A.C.....	82
Figura 3.10	Horno Secador de Placas M.A.C.....	83
Figura 3.11	Cuartos de Curado Típico M.A.C.....	83
Figura 3.12	Placas con Exceso de Pasta seca.....	84
Figura 3.13	Cortadora de Placas M.A.C.....	85
Figura 3.14	Separador de Polietileno y Placa Aislada.....	86
Figura 3.15	Elementos Armados.....	87
Figura 3.16	Maquina de Sobres (Envelope Machine).....	87
Figura 3.17	Máquina de Soldado de Grupos Mac / Cos.....	89
Figura 3.18	Grupos Soldados y Sub – Procesos.....	90
Figura 3.19	Llenadora Volumétrica OMI.....	90
Figura 3.20	Sistema de Carga por Recirculación de Agua (Water Bath)...	91
Figura 4.1	Filtro de Mangas Tipo Pulse – Jet.....	111
Figura 4.2	Filtro de Mangas de la Fábrica de Baterías.....	112
Figura 4.3	Sistema de Limpieza del Filtro de Mangas.....	114
Figura 4.4	Secuencias de Limpieza en un Filtro de Mangas.....	114
Figura 4.5	Fallas Frecuentes por Exceso de Limpieza.....	115
Figura 4.6	Compuertas de Limpieza Interior de Ductos.....	118
Figura 4.7	Distribución de las Mangas dentro del Filtro de Manga.....	119
Figura 4.8	Equipo de Protección Personal.....	134
Figura 4.9	Esquema de Filtración Filtro Mangas.....	140
Figura 4.10	Diseño de Forma Filtro de Manga.....	142
Figura 4.11	Recomendaciones Espejo Porta Mangas.....	145
Figura 4.12	Espejo Portamangas 31 X 10.....	146
Figura 4.13	Detalle Espejo Portamangas.....	146
Figura 4.14	Dimensiones Promedio del Filtro de Mangas Tipo Pulse – Jet.....	148
Figura 4.15	Manifold de Aire Comprimido.....	150
Figura 4.16	Válvula de Diafragma.....	151
Figura 4.17	Unidad de Filtro – Regulador.....	152

Figura 4.18	Selección Preliminar del Ventilador.....	155
Figura 4.19	Diferencia entre SP y VP.....	159
Figura 4.20	Flujo de Aire en Varias Situaciones.....	161
Figura 4.21	Sistema Tipo de Ventilación Industrial.....	163
Figura 4.22	Diagrama de Moody.....	166
Figura 4.23	Pérdidas por Fricción cada 100 Pies de Ducto.....	158
Figura 4.24	Distribución Maquinarias en Piso Planta.....	170
Figura 4.25	Esquema de Red de Ductos.....	171
Figura 4.25	Gráfica de Selección del Ventilador.....	180

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Estándares de Calidad del Aire Europeos..... 6
Tabla 2	Estándares Nacionales de la Calidad del Aire EPA.....8
Tabla 3	Estándares de Calidad del Aire Ecuador..... 20
Tabla 4	Velocidad de Captura según Proceso de Generación.....52
Tabla 5	Procesos de Fabricación de Rejillas Según el Tipo y Polaridad de las Rejillas de Plomo..... 73
Tabla 6	Recomendaciones para Adultos Expuestos al Plomo..... 102
Tabla 7	Sistema de Extracción de Polvos de Plomo..... 107
Tabla 8	Características de los Ventiladores..... 108
Tabla 9	Características del Filtro de Tela..... 110
Tabla 10	Especificaciones Técnicas de las Válvulas Solenoides..... 112
Tabla 11	Velocidades Mínimas de Transporte en Ductos..... 117
Tabla 12	Velocidades de Filtración Recomendadas..... 121
Tabla 13	Constantes Para Superficies Filtrantes..... 126
Tabla 14	Cálculo de La Velocidad de Filtración.....126
Tabla 15	Cálculo de La Can Velocity E Intersticial..... 127
Tabla 16	Cálculo de La Caída De Presión A Través dl Filtro..... 127
Tabla 17	Emisiones de Plomo..... 129
Tabla 18	Costos de Mantenimiento del Filtro Mangas Actual..... 130
Tabla 19	Velocidades en Ducto Principal Línea 1 – 17000 Cfm..... 131
Tabla 20	Velocidades en Ducto Principal Línea 2 – 14000 Cfm..... 131
Tabla 21	Concentración de Plomo en los Tres Procesos Operacionales. 133
Tabla 22	Matriz de Decisión..... 136
Tabla 23	Caudales Requeridos por Maquinaria.....138
Tabla 24	Válvulas de Diafragma..... 153
Tabla 25	Diferentes Valores de K..... 165
Tabla 26	Componentes de La Red de Ductos..... 172
Tabla 27	Dimensiones de La Red de Ductos..... 178
Tabla 28	Resumen del Equipo de Contaminación del Aire.....181
Tabla 29	Costos de Fabricación de La Red de Ductos..... 183
Tabla 30	Costos de Fabricación de Accesorios..... 184
Tabla 31	Costos de Fabricación del Filtro de Mangas Tipo Pulse – Jet... 186
Tabla 32	Costos de Fabricación del Ventilador Centrífugo.....187

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Diseño Espejo Porta - Mangas
PLANO 2	Lay –out de Maquinarias Instaladas
PLANO 3	Esquema de Red de Ductos
PLANO 4	Diseño de Red de Ductos
PLANO 5	Esquema del Filtro de Mangas



# INTRODUCCIÓN

El desarrollo del siguiente TFG abarca principalmente lo siguiente:

En el capítulo 1 se describe brevemente los antecedentes de la contaminación del aire en la industria, mencionando organismos de control internacionales tales como la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA). Además se menciona la situación de la contaminación del aire en el Ecuador y su legislación vigente.

En el capítulo 2 se establecen los fundamentos teóricos de la contaminación del aire que gobiernan sobre el material particulado, su comportamiento en el gas de transporte y se describen los diferentes equipos de control de la contaminación del aire.

En el capítulo 3 se describe el proceso de fabricación de acumuladores eléctricos identificándose los puntos de emisión de polvo de plomo, relacionando los mismos con estándares de calidad de aire ambiente exterior e interior. Adicional se presenta la problemática de la contaminación por plomo y sus repercusiones en la salud.

Con estos antecedentes, en el capítulo 4 se selecciona y diseña el equipo de control de la contaminación del aire que comprende de una red de ductos, un dispositivo de control de la contaminación del aire y un ventilador centrífugo. Se empieza analizando la situación actual del equipo instalado, donde se

identifican sus falencias. Utilizando una matriz de decisión se selecciona el dispositivo de control de la contaminación del aire de acuerdo las características del contaminante, condiciones del gas de transporte y funcionalidad. El dispositivo seleccionado fue un filtro de mangas tipo pulse – jet.

Aplicando criterios de diseño de filtros de mangas y apegándose a velocidades de filtración recomendadas se dimensionó el filtro de mangas y se determinó su caída de presión la cual se estima se encuentre alrededor de 4 pulgadas de columna de agua.

La red de ductos fue dimensionada utilizando velocidades de transporte recomendadas para polvo de óxido de plomo, que evite problemas de sedimentación en el interior de los mismos, y utilizando el método de velocidad constante.

El ventilador centrífugo fue seleccionado utilizando un software de selección de ventiladores de la compañía Aerovent en base al caudal necesario y la presión estática del equipo (red de ductos – filtro de mangas tipo pulse – jet). Al final de esta sección se analizan los costos de fabricación del equipo de control de la contaminación del aire.

Finalmente en el capítulo 5 se darán las respectivas conclusiones y recomendaciones del equipo de control de la contaminación del aire propuesto.

# CAPÍTULO 1

## 1. LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA INDUSTRIA

Reportes actuales de los medios podrían llevar a pensar que la contaminación del aire en la industria empezó a mediados del siglo XX, pero esto no es totalmente cierto. La clase de contaminación que los seres humanos han estado expuestos ha cambiado con el tiempo, pero la contaminación del aire ha sido conocida en las grandes ciudades; al menos desde el siglo XIV en donde las personas usaban carbón para calentar sus hogares [1].

Procesos de fabricación, que involucren generación de contaminantes tales como: humos, vapores, gases, material particulado, etc., deben contar con equipos de control capaces de captar el contaminante, para mantener dentro de estándares establecidos las emisiones hacia el medio ambiente y la calidad del aire en los sitios de trabajo; por consiguiente el manejo, reciclaje, re-trabajo se lo debe realizar de una

manera adecuada, procurando una producción más limpia, mitigando impactos ambientales y generando un bienestar social.

### **1.1 Organismos de Control de la Contaminación del Aire**

Hoy en día el tema de contaminación del aire tiene relevancia lo cual ha dado cabida a que los diferentes países implementen o sigan a organismos competentes para controlar y regular sus actividades industriales. En la actualidad existen muchos organismos con las competencias necesarias en temas de contaminación del aire de los cuales se mencionará los más importantes a continuación:

**EEA – European Environment Agency.** La Agencia Europea de Medio ambiente es un ente medioambiental que regula los países de la unión europea. La tarea de esta agencia es suministrar información sólida sobre el medio ambiente, siendo la fuente principal de información para los responsables del desarrollo, la aprobación, la ejecución y la evaluación de las políticas medio ambientales.

La Agencia Europea de Medio Ambiente es la encargada de establecer los límites de contaminación ambiental y tiene la

autoridad legal de verificar el cumplimiento de los estándares vigentes establecidos dentro del territorio de la comunidad europea [4].

Ha desarrollado un extenso cuerpo legal estableciendo estándares basados en la salud y ha establecido ciertos valores para un número de contaminantes en el aire. Estos estándares se muestran resumidos en la tabla 1 abajo mostrada y son aplicables sobre diferentes periodos de tiempo debido a impactos en la salud observados asociados con los diferentes contaminantes que ocurren en diferentes tiempos de exposición.

**TABLA 1**  
**ESTANDARES DE CALIDAD DEL AIRE EUROPEOS**

<b>Contaminante</b>	<b>Concentración</b>	<b>Promedio por Periodo</b>	<b>Excesos Permitidos por año</b>
Partículas Finas (PM 2.5)	25 µg/m <sup>3</sup>	1 año	n/a
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	350 µg/m <sup>3</sup>	1 hora	24
	125 µg/m <sup>3</sup>	24 horas	3
Dióxido de Nitrogeno (NO <sub>2</sub> )	200 µg/m <sup>3</sup>	1 hora	18
	40 µg/m <sup>3</sup>	1 año	n/a
PM 10	50 µg/m <sup>3</sup>	24 horas	35
	40 µg/m <sup>3</sup>	1 año	n/a
Plomo (Pb)	0.5 µg/m <sup>3</sup>	1 año	n/a
Monóxido de Carbono (CO)	10 µg/m <sup>3</sup>	Máximo Media 8 horas día	n/a
Benzeno	5 µg/m <sup>3</sup>	1 año	n/a
Ozono	120 µg/m <sup>3</sup>	Máximo Media 8 horas día	Promedio 25 días sobre 3 años
Arsénico (As)	6 ng/m <sup>3</sup>	1 año	n/a
Cadmio (Cd)	5 ng/m <sup>3</sup>	1 año	n/a
Níquel (Ni)	20 ng/m <sup>3</sup>	1 año	n/a
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	1 ng/m <sup>3</sup>	1 año	n/a

**Referencia [5].**

Estos valores de concentraciones corresponden a los que se encuentran en el medio ambiente. También existen estándares para la descarga de contaminantes a la atmósfera que a su vez depende del tipo de proceso, industria que esté generando el contaminante pero para efectos de esta tesis no se profundizará mucho en este

organismo regulador ya que se registrará en los establecidos por la US EPA para la fabricación de baterías de arranque plomo – ácido.

**US EPA – Environmental Protection Agency.** Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, encargada de velar por la seguridad ambiental, estableciendo procedimientos, normativas que mantengan bajo control los procesos industriales de tal forma que se encuentre dentro de los parámetros permitidos acorde a la actividad de los mismos.

Las leyes o normativas de la US EPA siempre están en constante revisión y cada vez los parámetros de cumplimiento de sus normativas son más exigentes, de tal forma que la industria se vea obligada directamente a utilizar procesos más limpios con finalidad de reducir el impacto producido al medio ambiente debido a su actividad. Si bien es cierto la US EPA regula el territorio de los Estados Unidos ha sido acogida (donde aplique) en muchos países alrededor del mundo como base para la elaboración de sus leyes, entre ellos incluido el Ecuador [2].

La US EPA ha establecido Estándares Nacionales de Calidad de Aire Ambiental (National Ambient Air Quality Standards) para

contaminantes considerados perjudiciales para la salud pública y el medio ambiente. En la tabla 2 se muestran estándares para seis contaminantes principales denominados “criterio”.

**TABLA 2**  
**ESTANDARES NACIONALES DE LA CALIDAD DEL AIRE EPA**

Contaminante		Primario/ Secundario	Tiempo Promedio	Nivel	Forma
Monóxido de Carbono		Primario	8 horas	9 ppm	No debe ser excedida más de una vez al año
			1 hora	35 ppm	
Plomo		Primario y secundario	Promedio Móvil de 3 meses	0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	No debe ser excedido
Dióxido de Nitrógeno		Primario	1 hora	100 ppb	Promedio Anual
		Primario y secundario	Anual	53 ppb	
Ozono		Primario y secundario	8 horas	0.075 ppm	Cuarta más alta concentración máxima de 8 horas al día anual, como promedio durante 3 años
Material Particulado	PM 2.5	Primario	Anual	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media anual como media de 3 años
		Secundario	Anual	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media anual como media de 3 años
		Primario y secundario	24 horas	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	98 percentil como media de 3 años
	PM 10	Primario y secundario	24 horas	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	No podrá excederse más de una vez al año en promedio sobre 3 años
Dióxido de Azufre		Primario	1 hora	75 ppb	No puede ser excedido más de una vez al año
		Secundario	3 horas	0.5 ppm	

Referencia [3].



Así mismo la US EPA ha establecido estándares que regulan cualquier proceso que emita contaminantes perjudiciales hacia el medio ambiente de los cuales se citará como alcance de esta tesis los relacionados a la actividad de fabricación de baterías de arranque de plomo - ácido.

En el código de regulaciones federales (Code of Federal Regulations) se encuentran inscritas todas las leyes o normas que han sido aprobadas previamente con su respectivo ente regulador encargado de cada una de ellas.

En el título 40 - Protección del Medio Ambiente, parte 63 – Normas Nacionales de Emisión de Contaminantes Atmosféricos Peligrosos para categorías de fuentes (National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories) establece que toda persona que tenga u opera una planta de fabricación de baterías plomo – ácido debe cumplir con los estándares de emisiones de plomo establecidos en el numeral 60.372 de la parte 60 – Normas de Rendimiento para las nuevas fuentes fijas (Standards of Performance for New Stationary Sources), subparte KK - Estándares de Desempeño de Fábricas de baterías plomo -ácido de batería de Manufactura (Standards of Performance for Lead - Acid

Battery Manufacturing Plants) y por ningún motivo deberá causar una descarga a la atmosfera superior a los siguientes valores: [6][7]

1. De ninguna instalación de fundición de rejillas, ningún gas que contenga plomo que exceda a los 0.40 miligramos de plomo por metro cúbico de aire.
2. De ninguna instalación de empastado, ningún gas que contenga en exceso 1 miligramo de plomo por metro cúbico de aire.
3. De ninguno de los tres procesos operacionales (Corte de Placas, Armado de grupos, Encajonado), ningún gas que contenga en exceso 1 miligramo de plomo por metro cúbico de aire.
4. De ninguna instalación productora de óxido de plomo, ningún gas que contenga en exceso 5 miligramos de plomo por kilogramo de plomo usado.

En el Capítulo 3 se relacionará estos valores con los diferentes procesos involucrados en la fabricación de baterías plomo – ácido, que es el foco central y motivo de esta tesis.

## **1.2 Contaminación del Aire en el Ecuador**

La contaminación del aire constituye en la actualidad uno de los principales problemas ambientales de las zonas urbanas en el mundo, tanto en los países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo; en los primeros, por un alto volumen y diversificación de la producción industrial y un flujo intenso de vehículos automotores, mientras que en los segundos por causa del desarrollo no planificado de las escasas industrias, el uso de tecnologías obsoletas en la producción, los servicios y el transporte, la mala calidad del saneamiento básico y el crecimiento urbanístico no planificado.

En el Ecuador, la contaminación del aire tiene sus causas en las deficiencias de algunos aspectos relacionados con la planificación territorial de los asentamientos humanos, las industrias, la utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y de transporte, mala calidad de los combustibles, explotaciones mineras a cielo abierto entre otras.

La situación de la gestión ambiental de la calidad del aire en el país presenta profundas falencias, de acuerdo con estudios oficiales publicados por la SENPLADES en el año 2007, la gestión ambiental

presenta problemas tales como: la falta de seguimiento de contratos suscritos, dispersión legislativa, dispersión de jurisdicción y competencias, debilidad institucional y presupuestaria del MAE.

Adicionalmente, los entes involucrados en la gestión ambiental del aire mantienen información dispersa, escasa y poco confiable, siendo Quito a través de la CORPAIRE la única ciudad del país que mantiene sistematizada, verificada y controlada la información sobre emisión vehicular y la calidad del aire. El problema se acrecienta si se toma en cuenta que, adicionalmente a Quito, solo Guayaquil y Cuenca han involucrado en sus planes de desarrollo ambiental municipal al componente aire y que el Ecuador cuenta con 16 centros poblados con más de 100000 habitantes [8].

Según el INEC todavía existen municipios que no cuentan con departamento ambiental, lo que busca el PNCA es que cada gobierno provincial tenga su autoridad competente en materia de medio ambiente.

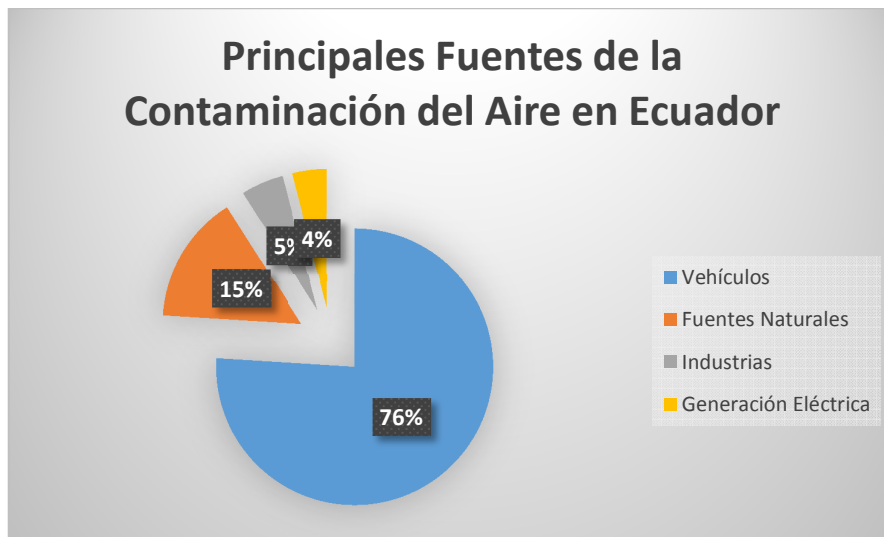


**FIGURA 1.1 PORCENTAJES DE MUNICIPIOS QUE CUENTAN  
CON DEPARTAMENTO AMBIENTAL**

Referencia [9]

Es indispensable para el Ecuador que las acciones desarrolladas por diferentes instituciones en apoyo a la gestión de la calidad del aire, se encuentren enmarcadas en las políticas y estrategias de la calidad ambiental que el Ministerio del Ambiente ha determinado en el ámbito nacional para la sustentabilidad ambiental del desarrollo del país, con este objetivo el Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE ha elaborado el “Plan Nacional de la Calidad del Aire” (PNCA)

el mismo que servirá de marco para una adecuada regulación, seguimiento, control, y coordinación de los actores involucrados en la gestión de la calidad del aire.

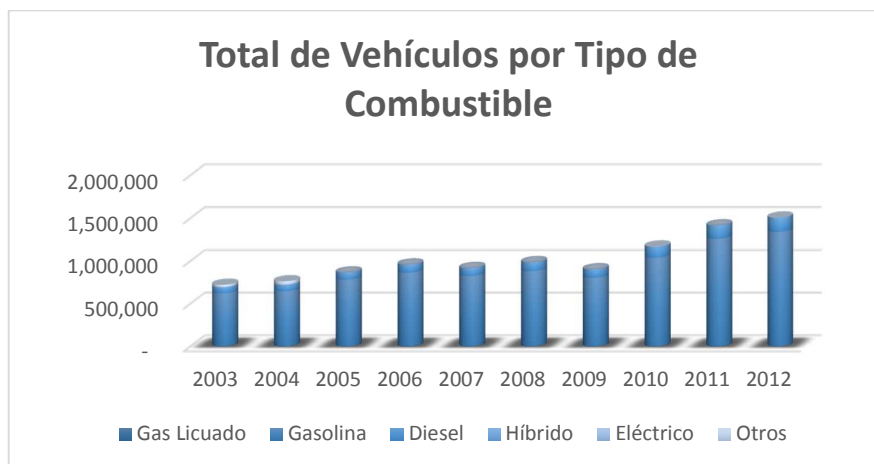


**FIGURA 1.2 PRINCIPALES FUENTES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL ECUADOR**

Referencia [10]

En la figura 1.2 se observa que la mayor incidencia la tiene el parque automotor que se estima es de aproximadamente 2 millones de vehículos (Ver figura 1.3) y entre los gases contaminantes que se generan en el Ecuador están: dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), material particulado

(PM2.5,PM10) e hidrocarburos no consumidos (HC) de los cuales el dióxido de carbono y los óxidos de nitrógenos contribuyen al efecto invernadero que actualmente se ha vuelto un tema preocupante para las futuras generaciones.



**FIGURA 1.3 TOTAL DE VEHÍCULOS POR TIPO DE COMBUSTIBLE**

**Referencia [9]**

Estos contaminantes han ocasionado problemas a la salud, principalmente de tipo respiratorio durante estos años pero debido a la implementación del PNCA se ha podido observar que a partir del 2010 la tendencia de la morbilidad de enfermedades transmitida por el aire a nivel nacional es a la baja (ver figura 1.4).



**FIGURA 1.4 MORBILIDAD DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AIRE.**

**Referencia [9]**

El PNCA tiene proyectos que espera terminar a mediano (4 años) y largo plazo (10 años) y al final espera haber alcanzado una gestión ambiental adecuada de la calidad del recurso aire para proteger la salud humana, los recursos naturales y el patrimonio cultural, contribuyendo así al mejoramiento de la calidad de vida de la población del Ecuador [8].

### **1.3 Legislación Ambiental en el Ecuador**

Con la promulgación de la Constitución Política de la República del Ecuador en 1998, que reconoce a las personas, el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de



contaminación; de forma a preservar el medio ambiente y de esta manera garantiza un desarrollo sustentable fue promulgada la Ley de Gestión Ambiental LEY NO. 37. RO/ 245 DE 30 DE JULIO DE 1999 para cumplir con dichos objetivos.

La Ley de Gestión Ambiental constituye el cuerpo legal específico más importante atinente a la protección ambiental en el país. Esta ley está relacionada directamente con la prevención, control y sanción a las actividades contaminantes a los recursos naturales y establece las directrices de política ambiental, así como determina las obligaciones, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones dentro de este campo.

La promulgación de la Ley de Gestión Ambiental en el año de 1999, confirmó que el Ministerio del Ambiente, creado en el año de 1996, es la autoridad nacional ambiental y estableció un Marco general para el desarrollo y aprobación de la normativa ambiental, dentro de los principios de desarrollo sustentable, establecidos en la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, y ratificados en la Constitución Política de la República.

En el año 2003 se publica el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) que unifica la legislación secundaria ambiental, para facilitar a los ciudadanos el acceso a la normativa requerida. Constituye un texto reglamentario bastante amplio de la normativa ecuatoriana vigente en la Ley de Gestión Ambiental y con lo que queda en vigor de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Se trata, pues, de una herramienta legal de desarrollo detallado, en el nivel reglamentario de la legislación relacionada al tema ambiental en general, a los impactos ambientales, al régimen forestal y afines, etc.

El Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente fue aprobado inicialmente por el Decreto Ejecutivo N° 3.399 del 28 de noviembre del 2002, fue publicado en el Registro Oficial No. 725 de 16 de diciembre de 2002 donde se establece en su Art. 2 de la derogatoria de varias normas secundarias entre las cuales el decreto Ejecutivo No. 1802 publicado en el Registro Oficial No. 456 del 7 de junio de 1994, que contenía las Políticas Básicas Ambientales del Ecuador (Decreto N° 1.802 - Políticas básicas ambientales).

En vista que el Texto Unificado no se publicó en su totalidad, se expidió el Decreto Ejecutivo N° 3.516 del 27 de diciembre de 2002, que decretó la publicación inmediata del texto completo de la legislación ambiental en el Registro Oficial y su vigencia, así como aplicación a partir del 16 de diciembre del 2002, fecha de la publicación del Decreto Ejecutivo N 3.399 en el Registro Oficial. Por lo cual, el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Decreto N° 3.516, se publicó en la Edición Especial No. 2 del Registro Oficial, con fecha 31 de marzo del 2003, ratificando su plena vigencia y aplicabilidad en todo el territorio nacional.

El presente Decreto expide el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente que está compuesto de nueve libros con sus respectivos anexos de los cuales se enfocará en el libro VI - Calidad Ambiental, Anexo IV – Norma de Calidad del Aire Ambiente puesto que establece los estándares vigentes en el territorio ecuatoriano.

En la tabla 3 se muestra los estándares de calidad del aire vigentes hoy en día.

**TABLA 3**  
**ESTANDARES DE CALIDAD DEL AIRE ECUADOR**

Contaminante		Tiempo Promedio	Nivel ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Restricción
Monóxido de Carbono		8 horas	10000	No debe ser excedida más de una vez al año
		1 hora	30000	
Dióxido de Nitrógeno		1 hora	200	Promedio Anual
		Anual	40	
Ozono		8 horas	100	Más de una vez al año.
Material Particulado	PM 2.5	Anual	15	Percentil 98 de las concentraciones en 24h durante un periodo anual en cualquier estación monitoreada sea mayor a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		24 horas	50	
	PM 10	Anual	50	Percentil 98 de las concentraciones en 24h durante un periodo anual en cualquier estación monitoreada sea mayor a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		24 horas	100	
Dióxido de Azufre		24 horas	125	No puede ser excedido más de una vez al año
		Anual	60	

Referencia [11]

Como se puede observar en la tabla 3, en la legislación ambiental del Ecuador no se ha considerado un valor estándar que regule las concentraciones de plomo en el aire ambiente y mucho menos estándares para fuentes fijas que estén relacionadas con las

emisiones del mismo. Sin embargo en la ley se menciona que de no existir un estándar para un contaminante específico se recurrirá a una normativa internacional. Por lo tanto para desarrollo de esta tesis se utilizará estándares de la US EPA.

# CAPÍTULO 2

## 2. FUNDAMENTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Anteriormente los sectores industriales consideraban que era más económico descargar a la atmósfera los desechos antes que controlarlos sin considerar sus efectos posteriores sobre los seres vivos y el medio ambiente. A raíz de esto, en la actualidad hay grandes problemas de contaminación ambiental que ha obligado al sector industrial a tener una nueva perspectiva acerca del uso del medio ambiente como un sumidero para los desechos industriales, priorizando así una producción más limpia y ambientalmente sustentable.

El TULSMA en el libro VI – Calidad Ambiental, Anexo IV – Normas de Calidad del Aire Ambiente define contaminación del aire como [11]:

*“La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente,*

*por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente”*

Hoy muchas de estas sustancias están directamente relacionadas con los productos de la combustión que emiten las industrias, los medios de transporte y la generación de energía eléctrica. La preocupación actual es tratar de reducir la concentración de contaminantes en la atmósfera controlando la emisión de los mismos después de que se hayan generado, es decir, durante el proceso, a través de equipos de control o utilizando materiales y métodos que reduzcan o eliminen la producción de desechos en el mismo punto donde se generan [12].

### **Términos Básicos de Contaminación Industrial**

Para indicar el grado de contaminación que se tiene, la cantidad de contaminantes que se emiten a la atmósfera o la cantidad permitida por las entidades de control se necesita definir al factor de emisión, la tasa de emisión y la emisión estándar [13].

**FACTOR DE EMISIÓN.-** Es la emisión de un contaminante expresada en términos de masa de contaminante por masa de materia prima usada en el proceso; sus unidades son kg/ton de materia prima ó kg/KWh consumido.

**TASA DE EMISIÓN.-** Es la emisión de una partícula contaminante expresada en términos de masa de contaminante por unidad de tiempo. Sus unidades son kg/s, kg/h o kg/año.

**EMISIÓN ESTÁNDAR.-** Es una regulación estandarizada por alguna agencia gubernamental (ej.: EPA) u organismo apropiado para controlar o limitar la emisiones instantáneas de una o varias fuentes tanto industriales como no industriales.

**DIÁMETRO AERODINÁMICO.-** Para una partícula específica, es el diámetro de una esfera con densidad unitaria (densidad del agua) que se sedimenta en aire quieto a la misma velocidad de la partícula en cuestión.

**ESTÁNDAR DE CALIDAD DEL AIRE.-** Es la concentración máxima de un contaminante en el aire ambiental durante un tiempo de muestreo, dicho estándar es fijado por una agencia gubernamental; se la define como la masa del contaminante por unidad de volumen de aire (usualmente de un metro cúbico), expresada a una temperatura y presión estándar; sus unidades son  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  y ppm (partes por millón). Para poder pasar de una unidad a otra se utiliza la ecuación:



$$\mu g / m^3 = \frac{ppm * Mi}{24.5} * 10^3 \quad E. c. 2. 1$$

A condiciones estándar de 25°C y 1 atm. de presión, donde Mi es el peso molecular del contaminante; o usando:

$$\mu g / m^3 = \frac{ppm * Mi * P}{8.314 * T} \quad E. c. 2. 2$$

Para cualquier presión en [Pa] y temperatura en [K].

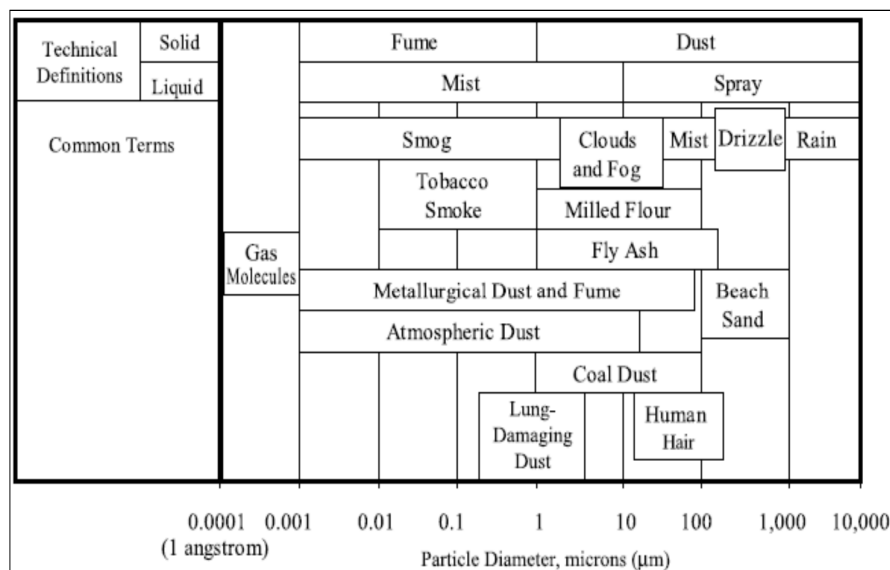
## 2.1 Teoría del Material Particulado.

El TULSMA en el libro VI – Calidad Ambiental, Anexo IV – Normas de Calidad del Aire Ambiente define al material particulado como [11]:

*“Material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera. Se designa como PM2.5 al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2.5 micrones. Se designa como PM10 al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones. En condiciones normales. “*

La composición química de estas partículas puede variar ampliamente, dependiendo de las fuentes de emisión y la posibilidad de reaccionar con la atmósfera para formar otros compuestos. Muchas formas de material particulado existe de manera natural como: polen, esporas, polvo, cenizas volcánicas y productos de la combustión de los incendios forestales [13].

Las partículas en la atmósfera varían típicamente dentro del rango de 0.1  $\mu\text{m}$  – 50  $\mu\text{m}$ , la figura 2.1 muestra algunas condiciones y términos para categorizar las partículas.



Referencia [14].

**FIGURA 2.1 CONDICIONES Y RANGOS DE TAMAÑOS DE PARTICULAS.**

Se puede observar que el rango de partículas considerado dañino para los pulmones se encuentra aproximadamente dentro del rango de  $0.7 \mu\text{m} - 7 \mu\text{m}$ . El polvo dentro de este rango entra a los pulmones y es el más difícil de recolectar con equipos de control de material particulado [14].

Un número de factores son importantes a menudo para determinar la mejor manera de controlar las emisiones de material particulado, estos incluyen: la densidad de la partícula, distribución del tamaño de la partícula, forma, pegajosidad, corrosividad, reactividad y toxicidad. Por lo tanto es muy importante muestrear las partículas en la descarga de una corriente de gas para determinar estas propiedades y asegurar que las emisiones se encuentren dentro de los estándares establecidos. Las propiedades del gas de transporte también son importantes, estas incluyen: temperatura, presión, velocidad, viscosidad, humedad y flameabilidad [15].

### **Medición del Tamaño de la Partícula.**

Información acerca del tamaño de las partículas es una consideración muy importante en el diseño de dispositivos de control de material particulado, ya que un diseño apropiado depende directamente de esta información. Varios métodos son

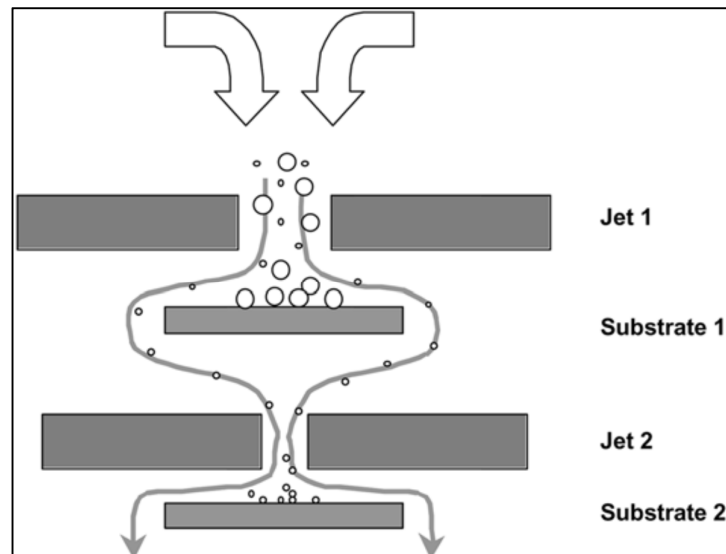
usados para obtener información acerca del tamaño de la partícula, entre ellos existen [16]:

- Microscopio.
- Contador óptico.
- Analizador de aerosoles electrónico.
- Clasificador de micro partículas Bahco.
- Impactador en cascada.

De los anteriores equipos mencionados se hablará en más detalle del Impactador en cascadas.

**Impactador en Cascada.-** Es un dispositivo muy sencillo que emplea el mecanismos de impactación para recolectar sucesivamente tamaños de partículas pequeñas. Este es comúnmente usado en las industrias para determinar la distribución de las partículas en la corriente de gases. Los impactadores típicos consisten en una serie de etapas con superficies colectoras, que dependiendo de los requerimientos estas superficies tienen tantos agujeros según sean necesarios de igual forma y diámetro que varían en forma decreciente a medida que aumentan las etapas.

El rango efectivo de medición se encuentra entre  $0.3 - 20 \mu\text{m}$  y es considerado uno de los dispositivos más útiles para determinar el tamaño de las partículas; esto se debe al arreglo compacto, estabilidad mecánica y a su habilidad por tomar una muestra directamente de la chimenea. Adicionalmente puede medir el diámetro aerodinámico de las partículas, información que es muy útil al momento de diseñar dispositivos de control, especialmente colectores mecánicos depende de fuerzas de arrastre aerodinámicas para la recolección de partículas [16].



Referencia [17].

**FIGURA 2.2 IMPACTADOR EN CASCADO DE DOS ETAPAS.**

### **Presentación del Tamaño de las Partículas.**

Existen algunas maneras para analizar o reducir la información obtenida por los métodos anteriormente descritos, entre los más importantes se tiene:

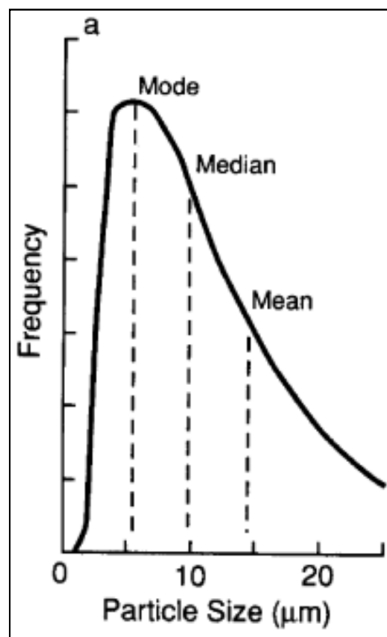
- Curva de Distribución de Frecuencia. (Histogramas)
- Curva de Distribución Acumulada.
- Curva de Distribución Normal Logarítmica.

Estas representaciones gráficas cuentan con un eje que representa al tamaño partículas y otro que indica la cantidad de partículas que puede ser expresada en masa o número. Para efectos de esta tesis se utilizará la Curva de Distribución Normal Logarítmica.

### **Curva de Distribución Normal Logarítmica.**

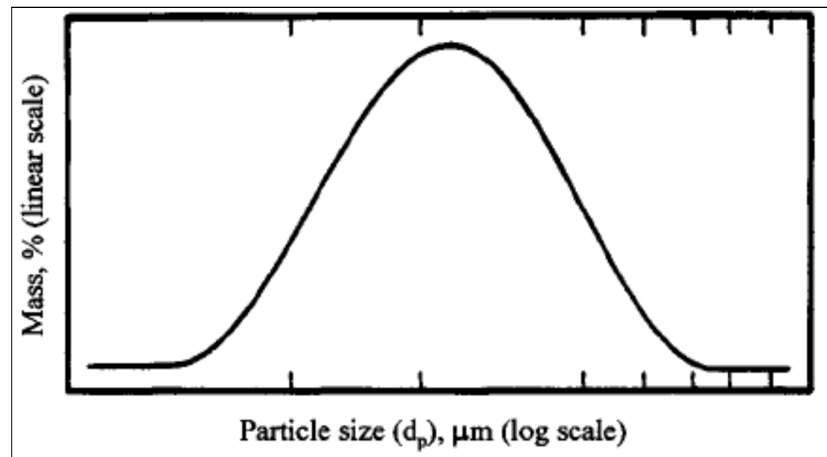
Cuando se miden polvos desde fuentes industriales, el grafico de distribución del tamaño de partículas muestra una variación logarítmica. Si la distribución sigue una relación normal – logarítmica, entonces la gráfica resultará en una línea recta; esta relación de linealidad permite describir estadísticamente la distribución con un mínimo de observaciones individuales [16].

Una gráfica típica (normalizada) es la de fracción de masa vs tamaño de la partícula que se muestra en la figura 2.3, con una gráfica como esta resulta menos conveniente trabajar que con una distribución normal (Gausiana). Afortunadamente, en algunos casos, si se dibuja la fracción de masa vs el logaritmo del diámetro de la partícula, el resultado es una distribución normal – logarítmica, como se muestra en la figura 2.4 [18].



Referencia [17].

**FIGURA 2.3 FRACIÓN DE MASA VS TAMANO DE LA  
PARTÍCULA.**



Referencia [16].

#### FIGURA 2.4 DISTRIBUCIÓN NORMAL – LOGARÍTMICA.

Una Distribución normal – logarítmica puede ser caracterizada por dos parámetros: la media geométrica y la desviación estándar geométrica, en este caso la relación entre la media y la desviación estándar es como sigue:

$$\log(d_{84.1}) = \log(d_{50}) + \log(\sigma_g) \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$\log(d_{15.9}) = \log(d_{50}) - \log(\sigma_g) \quad \text{Ec. 2.4}$$

Dónde:



**$d_{84.1}$** : Diámetro tal que las partículas que constituye el 84.1% del total de la masa de partículas son más pequeñas que este tamaño.

**$d_{50}$** : Diámetro Medio Geométrico.

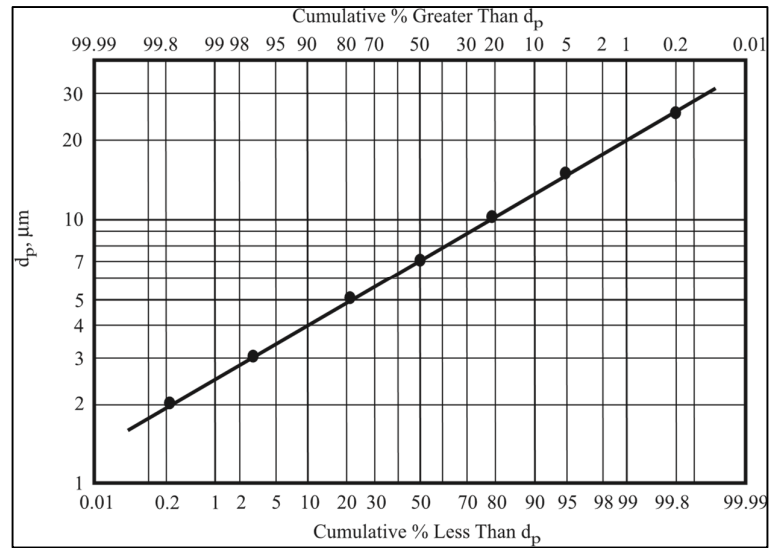
**$d_{15.9}$** : Diámetro tal que las partículas que constituyen el 15.9% del total de la masa de partículas son menores a este tamaño.

**$\sigma_g$** : Desviación Geométrica Estándar.

Las ecuaciones 2.3 y 2.4 pueden escribirse juntas como:

$$\sigma_g = \frac{d_{84.1}}{d_{50}} = \frac{d_{50}}{d_{15.9}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

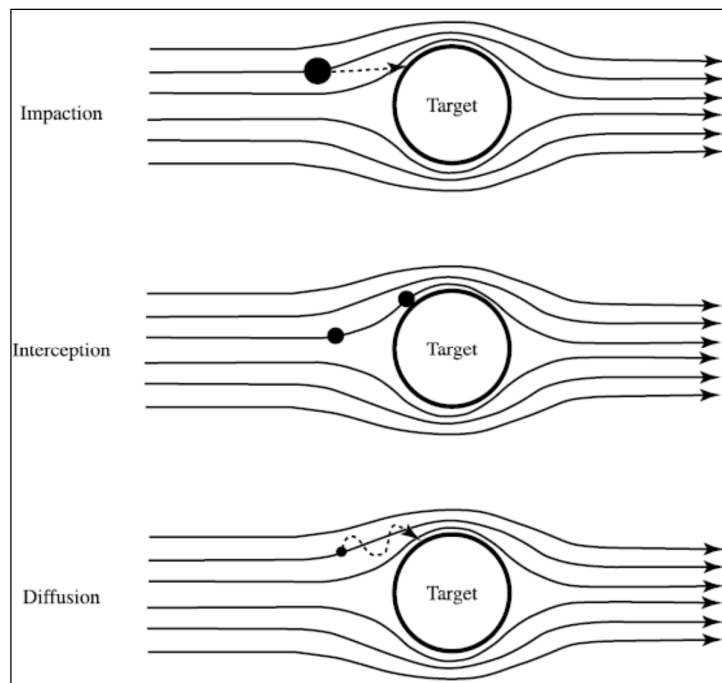
Cuando solo existen una cantidad limitada de datos experimentales de muestras de partículas y la distribución no es normal, es difícil relacionar de manera sencilla los diámetros de las partículas con los datos encontrados; sin embargo la experimentación muestra que la mayoría de los polvos obedecen una distribución log – normales. Ajustando línea recta a los datos sobre una gráfica logarítmica de probabilidad se puede determinar  $d_{50}$  y  $\sigma_g$ , donde en el eje Y se coloca el diámetro de la partícula y en el X el porcentaje acumulado de la muestra [12], [19].



**FIGURA 2.5 DISTRIBUCIÓN NORMAL – LOGARÍTMICA.**

### **Mecanismos de Colección de Partículas.**

**Impactación.-** En el mecanismo denominado impactación, largas partículas que se mueven hacia el objetivo tienen masa; por lo tanto momentum, lo que causa que las partículas viajen en línea recta hacia el objetivo. Las partículas dejan las líneas de corriente a medida que estas se doblan alrededor del objetivo y mientras más grandes estas sean más fácilmente se moverán en línea recta. Otro factor fundamental a considerar es el radio de curvatura de las líneas de corriente, ya que un radio corto causará que las partículas difícilmente sigan una línea recta, por consiguiente entre más pequeño sea el objetivo tiene más posibilidad de ser impactado.



Referencia [14].

**FIGURA 2.6 MECANISMOS BÁSICOS DE COLECCIÓN DE PARTÍCULAS.**

**Intercepción.-** Es un mecanismo en cual partículas entre  $0.1 - 1$   $\mu\text{m}$  de diámetro son transportadas por la corriente de gases lo suficientemente cerca de la superficie del objetivo tal que puedan entrar en contacto. Estas partículas no tienen la suficiente inercia para dejar la corriente de gas y serán transportados con los gases. Este mecanismo es muy pobre comparado con el de impactación y difusión ya que coincidentemente la trayectoria de las líneas de flujo y las partículas están cerca del objetivo, por esta razón las

partículas dentro de este rango son difíciles de coleccionar comparadas con partículas largas y pequeñas.

**Difusión.-** Difusión de partículas extremadamente pequeñas es el resultado del movimiento Browniano; por lo tanto colisiones aleatorias con partículas de aire hacen que reboten alrededor. Estas son movidas de una línea de gas hacia otra por movimiento aleatorio. Si suficiente tiempo es permitido, y si la distancia hacia el objetivo es pequeña, entonces difusión puede ser un mecanismo de colección efectivo. Esta es la razón de porqué los filtros de mangas pueden ser efectivos para coleccionar partículas del orden de los submicrones y a los depuradores húmedos se les dificulta.

#### **Otros Mecanismos de Colección de Partículas.**

**Atracción Electroestática.-** Si las partículas adquieren una carga y pasan a través de un campo eléctrico, una fuerza electroestática moverá las partículas del flujo de gases. Para partículas pequeñas la fuerza puede ser muy grande, por lo que lo hace un mecanismo efectivo. Este mecanismo es utilizado en los precipitadores electroestáticos.

**Atracción Gravitatoria.-** La fuerza de la gravedad es lo suficientemente fuerte para captar las partículas en una corriente de gases. Algunos mecanismos separadores manejan velocidades lentas de flujo lo que le permite a las partículas sedimentarse. Este mecanismo es usado en cámaras de sedimentación.

**Fuerza Centrífuga.-** La forma o curvatura del colector causa que la corriente de gases gire en forma espiral, lo que hace que las partículas de mayor tamaño vayan hacia la pared exterior por su momentum. Estas pierden energía cinética y son separadas de la corriente de gases. Este mecanismo es propio de los ciclones [14].

## **2.2 Clasificación del Material Particulado.**

El material particulado en la atmósfera puede ser dividido en dos categorías:

- Material Particulado Primario
- Material Particulado Secundario

El primario incluye partículas que son emitidas directamente a la atmósfera y a su vez partículas que se condensan rápidamente en ellas. Por otro lado las partículas secundarias son aquellas que se forman debido a reacciones atmosféricas, dentro de estas están el

sulfato de amonio y nitrato de amonio. Aunque existen muchos tamaños de partículas se remitirá a las siguientes que son las que afectan directamente al sistema respiratorio de los seres vivos.

De acuerdo al TULSMA en el libro VI – Calidad Ambiental, Anexo IV – Normas de Calidad del Aire Ambiente que existen [11]:

**PM<sub>10</sub>**.- Consiste en material particulado de 10  $\mu\text{m}$  de diámetro o menos, en donde establece que el promedio aritmético de la concentración de PM<sub>10</sub> de todas las muestras en un año no deberá exceder de 50  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  y la concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras recolectadas, no deberá exceder 150  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , valor que no podrá ser excedido más de dos veces en un año.

**PM<sub>2.5</sub>**.- Consiste en material particulado de 2.5  $\mu\text{m}$  de diámetro o menos, en donde establece que el promedio aritmético de todas las muestras en un año no deberá exceder de 15  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ . La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder 65  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , valor que no podrá ser excedido más de dos veces en un año.

### **2.3 Análisis Fluido dinámico del Material Particulado.**

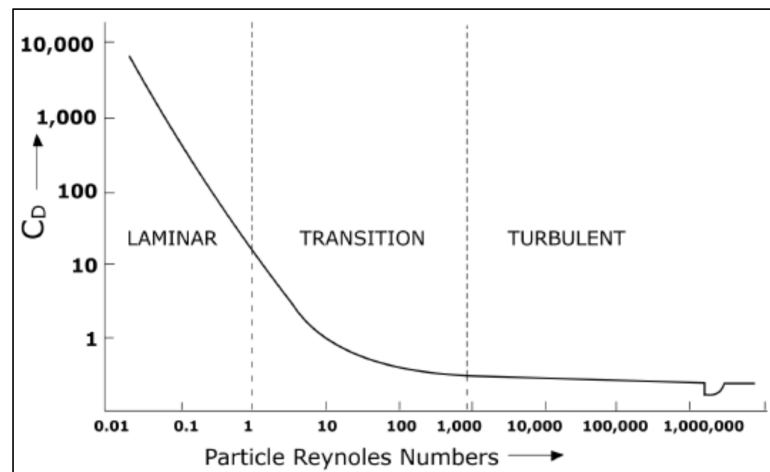
El comportamiento de las partículas en un fluido gaseoso es tal como el de una esfera sumergida, la cual experimenta fuerzas de corte (de fricción) y de presión que producen la fuerza neta debido al fluido; esta fuerza se descompone en sus componentes paralela al movimiento denominada fuerza de arrastre y en otra perpendicular denominada fuerza de sustentación o boyantes, además se considera la fuerza debida a la acción de la gravedad denominada fuerza gravitacional.

La separación del fluido sobre la esfera por la presencia de un gradiente de presión adverso prohíbe la determinación analítica de la fuerza actuante sobre la partícula por lo que hay que apelar a coeficientes medidos experimentalmente para obtener la sustentación y el arrastre.

Para Reynolds ( $Re$ ) menores a la unidad no hay separación de flujo dando una estela laminar y el arrastre es predominantemente de fricción llamándose a esta zona régimen de Stokes.

Al aumentar el número de Reynolds, el arrastre disminuye de forma continua generándose una combinación de arrastre por fricción y

por presión como resultado de la separación de flujo y además, el arrastre por fricción va disminuyendo conforme aumenta el número de Reynolds, como se observa en la figura 2.6 que describe el comportamiento de diferentes cuerpos en el aire.



Referencia [20].

**FIGURA 2.7 COEFICIENTE ARRASTRE PARA UNA ESFERA LISA EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS**

Sin embargo el tamaño de partículas que se estudian son de diámetros menores a 100  $\mu\text{m}$  siendo un valor determinante al evaluar el número de Reynolds con estos tamaños muy pequeños se obtienen valores de Reynolds menores de 5, indicando que el comportamiento de las partículas se rige en la zona laminar.



### **Análisis de Fuerzas sobre una Partícula.**

La colección de partículas sólidas o líquidas en los dispositivos de control de contaminación del aire está basada en el movimiento de una partícula en la corriente de gases. Para que una partícula sea capturada debe estar sujeta a fuerzas externas lo suficientemente fuertes que las separen de flujo de gases, entre las cuales se tiene [20]:

- Fuerza de Arrastre.
- Fuerza de Sustentación o Boyantes.
- Fuerza Gravitacional.

### **Fuerza de Arrastre.**

En cuanto la partícula comienza a moverse, la componente horizontal de la fuerza neta que ejerce el fluido sobre la partícula en la dirección del fluido se llama arrastre, la cual se resiste al movimiento de la misma, está definida como:

$$F_D = \frac{A_p \rho_p v_p^2 C_D}{2} = \frac{\pi d_p^2 \rho_g v_p^2 C_D}{8} \quad \text{Ec. 2.6}$$

En donde:

$F_D$  = Fuerza de Arrastre (N).

$V_p$  = Velocidad partículas (m/s).

$\rho_g$  = Densidad del gas (kg/m<sup>3</sup>).

$d_p$  = Diámetro partículas (m).

$A_p$  = Área seccional partícula (m<sup>2</sup>).

$C_D$  = Coeficiente de Arrastre.

Cuando una partícula se mueve a través de un gas, esta inmediatamente desplaza el aire enfrente de ella, impartiendo momentum al gas. La cantidad de energía que se transmite desde  $v_p$  a  $v_g$  está relacionada con el factor de fricción al cuál se llama coeficiente de arrastre  $C_D$ .

### **Coeficiente de Arrastre.**

El valor de  $C_D$  está relacionado con la velocidad de la partícula y el patrón de flujo alrededor de la partícula. Como se sabe el patrón de flujo lo da el número de Reynolds, por lo tanto el coeficiente de arrastre es una función del número de Reynolds de la partícula.

$$Re_p = \frac{d_p v_p \rho_g}{\mu_g} \qquad \text{Ec. 2.7}$$

En donde:

$Re_p$  = Número Reynolds

$\mu_g$  = Viscosidad del gas (kg/m.s).

De la experimentación se conoce que existen tres tipos de régimen: laminar (Stokes), transición y turbulento (Newtoniano), el coeficiente de arrastre se lo puede determinar gráficamente utilizando la figura 2.7 o aplicando las expresiones matemáticas 2.8, 2.9 y 2.10 según el tipo de régimen de flujo.

$$\text{Flujo laminar } (Re < 1); C_D = \frac{24}{Re_p} \quad \text{Ec. 2. 8}$$

$$\text{Transición } (1 < Re < 1000); C_D = \frac{18.5}{Re_p^{0.6}} \quad \text{Ec. 2. 9}$$

$$\text{Turbulento } (Re > 1000); C_D = 0.44 \quad \text{Ec. 2. 10}$$

### **Factor de Corrección de Cunningham**

Si el tamaño de las partículas son mayores a 3  $\mu\text{m}$  en diámetro, el fluido es continuo alrededor de la partícula, es decir no es afectada por la colisión con las moléculas de aire; sin embargo si las partículas son iguales o más pequeñas que 3  $\mu\text{m}$ , el fluido es discontinuo y son afectadas por la colisión de las moléculas de aire. Estas colisiones causarán el movimiento de las partículas en una dirección relacionada con la acción de fuerzas combinadas (movimiento Browniano), por lo que ahora tienden a deslizarse junto a las moléculas del gas.

Cunningham dedujo que el coeficiente de arrastre debería reducirse debido al fenómeno descrito anteriormente en partículas muy pequeñas, por consiguiente el coeficiente de arrastre queda corregido por el factor de Cunningham como se observa en la siguiente ecuación (flujo laminar):

$$C_D = \frac{24}{Re_p C_c} \quad \text{Ec. 2.11}$$

El factor de corrección de Cunningham puede ser estimado por:

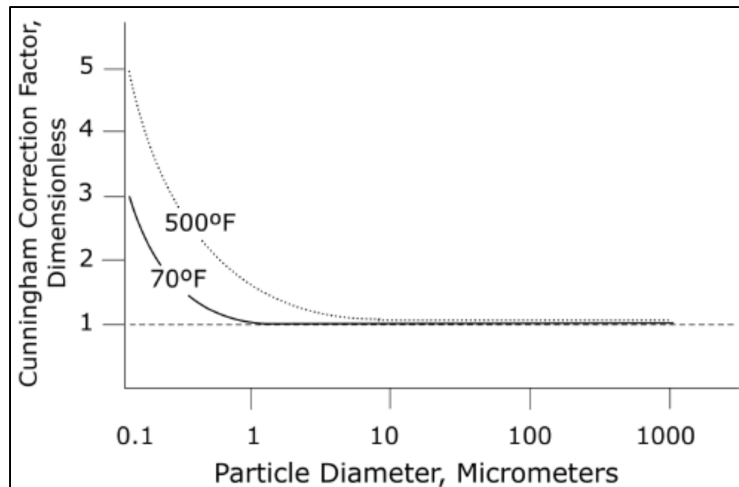
$$C_c = 1 + \frac{6.21 \times 10^{-4} T}{d_p} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Dónde:

T = Temperatura absoluta (K).

C<sub>c</sub> = Factor Corrección de Cunningham.

En la figura 2.7 se ilustra el efecto del tamaño de la partícula y la temperatura del gas sobre el factor de corrección de Cunningham.



Referencia [20].

**FIGURA 2.8 CORRECIÓN DE CUNNINGHAM EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA Y TEMPERATURA.**

Una vez definido el coeficiente de arrastre y el factor de corrección de Cunningham la fuerza de arrastre para cada régimen de flujo queda como sigue:

$$\text{Flujo laminar; } F_D = \frac{3\pi\mu_g v_p d_p}{C_c} \quad \text{Ec. 2.13}$$

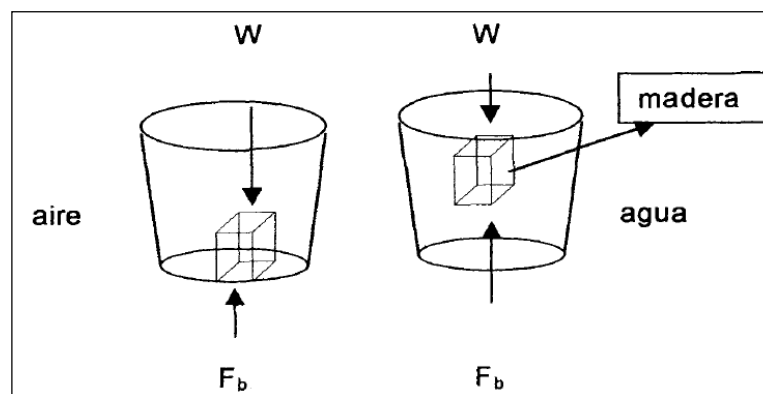
$$\text{Transición; } F_D = 2.30(d_p v_p)^{1.4} \mu_g^{0.6} \rho_g^{0.4} \quad \text{Ec. 2.14}$$

$$\text{Turbulento; } F_D = 0.05\pi(d_p v_p)^2 \rho_g \quad \text{Ec. 2.15}$$

### Fuerza de Sustentación (Boyantes).

La componente perpendicular al movimiento del aire de la fuerza resultante producida por el flujo sobre las partículas se la conoce como fuerza de sustentación o boyantes, la misma que produce la suspensión de las partículas en el aire; se la define como el peso del volumen desplazado, este concepto se lo puede visualizar a través del siguiente ejemplo en la figura 2.8.

En la figura se puede observar que en el aire la fuerza de sustentación es nula mientras que en el agua, debido a que su densidad es mayor, produce un empuje mayor.



Referencia [20].

**FIGURA 2.9 EFECTOS DE LA SUSTENTACIÓN EN DIFERENTES FLÚIDOS.**

Para partículas muy pequeñas el fluido gaseoso produce la fuerza suficiente para mantenerlas en suspensión durante un largo o corto periodo tiempo en función de la velocidad de asentamiento y del tamaño de la partícula. La fuerza de sustentación entonces se la puede expresar como:

$$F_S = m_g g = \rho_g V_g g \quad \text{Ec. 2. 16}$$

La componente perpendicular al movimiento del aire de la fuerza Como las partículas se encuentran sumergidas dentro de todo el gas, la ecuación anterior queda descrita de la siguiente manera:

$$F_S = \frac{\pi \rho_g d_p^3 g}{6} \quad \text{Ec. 2. 17}$$

En donde  $g$  es la aceleración de la gravedad.

### **Fuerza Gravitacional.**

Esta es la fuerza que experimenta todo cuerpo que se encuentra dentro de la atmósfera terrestre, que es generalmente el peso del cuerpo. Para las partículas esta fuerza puede ser expresada como:

$$F_G = m_p g \quad \text{Ec. 2. 18}$$

Como la masa de la partícula es igual a la densidad multiplicada por su volumen y considerándola como una partícula esférica se la puede escribir como:

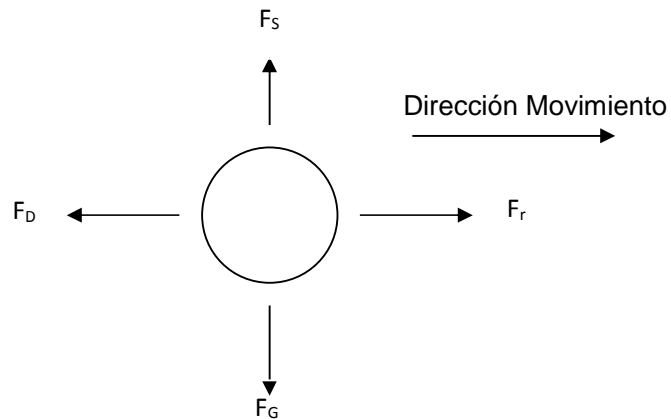
$$F_G = \frac{\pi\rho_p d_p^3 g}{6} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Comparando las ecuaciones de fuerza de sustentación y gravedad se puede apreciar que son muy similares, con diferencia en sus densidades. Se tiene que la densidad de las partículas suspendidas es mucho mayor que la densidad del gas por lo que para efectos de balance de fuerzas se considera despreciable a la fuerza de sustentación.

#### **2.4 Comportamiento Fluídodinámico de la Partícula en el gas de transporte.**

Una partícula en movimiento en el fluido (aire) está afectada por las fuerzas ya discutidas en este capítulo. Por lo que se puede aplicar la Segunda Ley de Newton que establece que la aceleración de la masa de una partícula producida por una fuerza externa es proporcional a la fuerza y en la dirección de la misma. La figura 2.9 muestra el diagrama de cuerpo libre en donde interactúan las fuerzas sobre la partícula en movimiento.





**FIGURA 2.10 BALANCE DE FUERZAS.**

Aplicando la segunda ley del movimiento de Newton se tiene:

$$\Sigma F = m \frac{dv}{dt} \quad \text{Ec. 2.20}$$

El vector suma de fuerzas es igual a la fuerza resultante  $F_r$  que puede ser descrito como:

$$F_r = F_G - F_S - F_D = m \frac{dv}{dt} \quad \text{Ec. 2.21}$$

Como ya se mencionó anteriormente la densidad de la partícula es mucho mayor que la densidad del aire, por lo que la fuerza de sustentación puede despreciarse en la ecuación 2.22. La fuerza de arrastre sobre la partícula aumenta a medida que aumenta la velocidad, hasta que dicha fuerza sea tan grande como las otras

fuerzas; en este punto la fuerza resultante será cero y la partícula no se continuará acelerando. Si la partícula no se acelera entonces se mueve con una velocidad constante donde todas las fuerzas están balanceadas [20]. Este balance de fuerzas se da en la velocidad terminal de asentamiento o de sedimentación, es decir durante la velocidad constante descendente que alcanza la partícula. De acuerdo con lo anterior se tiene:

$$F_G - F_S - F_D = m \frac{dv}{dt} \quad \text{Ec. 2.22}$$

$$F_G = F_D \quad \text{Ec. 2.23}$$

Sustituyendo los valores respectivos y resolviendo para la velocidad de la partícula se obtiene su velocidad de asentamiento. A continuación se detallan las ecuaciones de velocidad de asentamiento según el tipo de régimen:

$$\text{Laminar; } v_t = \frac{\pi C_c \rho_p d_p^2}{18 \mu_g} \quad \text{Ec. 2.24}$$

$$\text{Transición; } v_t = \frac{0.153 g^{0.71} \rho_p^{0.71} d_p^{1.14}}{\mu_g^{0.43} \rho_g^{0.29}} \quad \text{Ec. 2.25}$$

$$\textit{Turbulento}; v_t = 1.74 \left( \frac{g \rho_p d_p}{\rho_g} \right)^{0.5} \quad \textit{Ec. 2.2}$$

## 2.5 Velocidad de Captura de las Partículas

La velocidad de captura de una partícula es la velocidad del aire en un punto frente a la campana en donde se está generando el contaminante, induciéndolo a que entre a la corriente de aire y puede ser capturado por la campana. Los diseñadores usan la velocidad de captura para seleccionar el flujo de aire que va a ser extraído por la campana. En la tabla 4 se muestran velocidades de captura de acuerdo al tipo de proceso.

**TABLA 4**  
**VELOCIDAD DE CAPTURA SEGÚN PROCESO DE**  
**GENERACIÓN.**

Condiciones de dispersión del Contaminante	Ejemplos	Velocidad de control (m/s)
I - Liberado casi sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación desde depósitos; desengrase, etc.	0,25 - 0,5
II - Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pintura; llenado Intermitente de recipientes; transferencias entre cintas transportadoras a baja velocidad; soldadura; recubrimientos superficiales; pasivado.	0,5 - 1,0
III - Generación activa en una zona de rápido movimiento.	Cabinas de pintura poco profundas; llenado de barriles; carga de cintas transportadoras.	1,0 - 2,5
IV - Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire.	Desmolde en fundiciones, chorros de aire abrasivos.	2,5 - 10

En cada una de las condiciones citadas se indica un rango para los valores de la velocidad de control. La selección del valor adecuado depende de los siguientes factores:

Límite inferior	Límite superior
1. Corrientes de aire en el local mínimas o favorables a la captura del contaminante.	1. Corrientes de aire que distorsionan la captura del contaminante.
2. Contaminantes de baja toxicidad o molestos.	2. Contaminantes de alta toxicidad.
3. Producción de contaminantes baja o intermitente.	3. Gran producción, uso continuo.
4. Campana de gran tamaño o con una gran masa de aire en movimiento.	4. Campana pequeña, únicamente control local.

Referencia [21], [22].

## 2.6 Equipos de Control de la Contaminación del Aire

La aplicación de la tecnología de control a los problemas de contaminación del aire por material particulado, asume que la fuente puede ser reducida a valores predeterminados que cumplan con las leyes ambientales; esto no se aplica a fuentes inestables como es el

caso de una erupción de un volcán, tampoco se puede esperar controlar completamente una fuente hasta reducir sus emisiones a cero. Los Sistemas de Control de Material Particulado pueden ser generalmente descritos como tecnología de separación; el contaminante, sea gaseoso, aerosoles o partículas sólidas pasa por un dispositivo de control, el cual lo separa del flujo de gases, que usualmente es aire, para su disposición final y libera el aire limpio a la atmósfera [23], [16].

### **Factores Importantes para la Selección de Equipos de Control de la contaminación del aire.**

**Concentración de la Partícula.-** El nivel y la fluctuación de la concentración son muy importantes, ya que algunos dispositivos de control son afectados por la variación de esta como es el caso de los precipitadores electrostáticos; que no funcionan efectivamente con fluctuaciones muy elevadas. Otro problema puede ocurrir cuando la velocidad de escape de los gases cambia rápidamente, debido que esto puede afectar a la eficiencia de colección del equipo.

**Característica de la Partícula.-** Características de la partícula como el tamaño, la forma, la densidad deben ser consideradas. El

tamaño de la partícula es usualmente expresado en términos del diámetro aerodinámico, el cual describe como la partícula se va a mover en el flujo de gases. Las partículas con un diámetro aerodinámico mayor a 60  $\mu\text{m}$  pueden ser recolectados con dispositivos simples como las cámaras de sedimentación, partículas mayores a 5  $\mu\text{m}$  pueden ser colectadas en ciclones. Partículas pequeñas, menores a 5  $\mu\text{m}$  deben ser recolectadas en equipos más complejos; como son los depuradores, baghouse y los precipitadores electrostáticos. Además de esto el tamaño juega un papel importante en la eficiencia del equipo.

**Propiedades Físicas y Químicas.-** Afectan la selección del dispositivo de control. Propiedades eléctricas pueden ser un obstáculo y una ayuda en la colección; la electricidad estática puede crear acumulación de sólidos en los filtros de mangas. La capa de polvo en las manga, como resultado de fuerzas electrostáticas pueden ser difíciles de disgregar. Por otro lado en los precipitadores electrostáticos la colección depende de la habilidad de cargar las partículas.

**Higroscopicidad.-** Es la tendencia de un material a absorber agua, siendo una característica de algunas partículas, la cual causa

cambios en la estructura cristalina a medida que el agua es agregada. Esto afecta el rendimiento de los colectores mecánicos causando deposiciones de polvo en las superficies internas y afecta el sistema de limpieza de los filtros de mangas en donde la capa de polvos es difícil de remover.

**Toxicidad de la Partícula.-** Influye en la localización del equipo de control y el movimiento del aire del sistema. Una alta toxicidad requiere el uso de presión negativa en el sistema, con esto se mantiene que las fugas de aire se contengan dentro del colector, el uso de presiones positivas pueden causar emisiones fugitivas creando problemas de salud ocupacional. En presiones negativas el ventilador es colocado al final del sistema y el volumen de aire a ser manejado puede incrementarse ligeramente por fugas de aire dentro del colector.

**Propiedades del Gas de Transporte.-** Es un factor importante en el diseño de dispositivos de control. La temperatura del flujo de gases afecta a un sin número de variables y el tamaño, el costo dependerá de la temperatura a de los gases de escape que hayan sido tratados. Adicional a esto si la temperatura de los gases es

inferior a su punto de rocío puede ocasionar condensaciones de otros contaminantes dentro del colector.

**Eficiencia.-** El equipo de control debe ser diseñado para cumplir con las leyes ambientales de emisión de partículas, a un bajo costo y una alta confiabilidad. Los factores principales para esto son la eficiencia de colección y la caída de presión que puede ser representada como los requerimientos de energía a través del dispositivo de control. Colectores con alta caída de presión necesitan ventiladores más grandes para poder suplir el sistema. En otras palabras a mayor eficiencia mayor será la energía utilizada en los sistemas de control

#### **Tipos de Sistemas de Control de la Contaminación del Aire.**

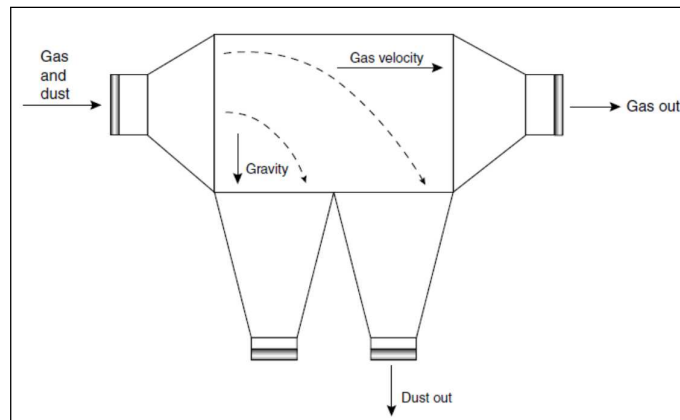
Los sistemas de control de contaminación del aire pueden ser agrupados generalmente en dos grandes clases: sistemas de control de material particulado y sistemas de control de vapores y gases. Para efectos de esta tesis se remitirá a los sistemas que involucran material particulado, estos reflejan el proceso físico utilizado para separar los contaminantes de la corriente de gases. Entre ellos se tiene [24]:



- Cámaras de Sedimentación (Velocidad).
- Ciclones (Fuerzas Centrífuga).
- Filtración (Separación inercial y nucleación).
- Precipitadores Electrostáticos (Fuerza Electrostática).
- Depuradores Húmedos (Separación inercial y Nucleación)

### **Características de los Sistemas de Control de la Contaminación del Aire.**

**Cámaras de Sedimentación.-** Uno de los más simples sistemas de control de material particulado son las cámaras de sedimentación; tienen la forma de largas cámaras que permiten la reducción de la velocidad del gas a tal punto que las partículas simplemente caen fuera de los gases de escape. Una aplicación típica es en los molinos, calcinadores, hornos que generalmente producen partículas grandes. En la figura 2.10 se puede apreciar un modelo de cámara de sedimentación.

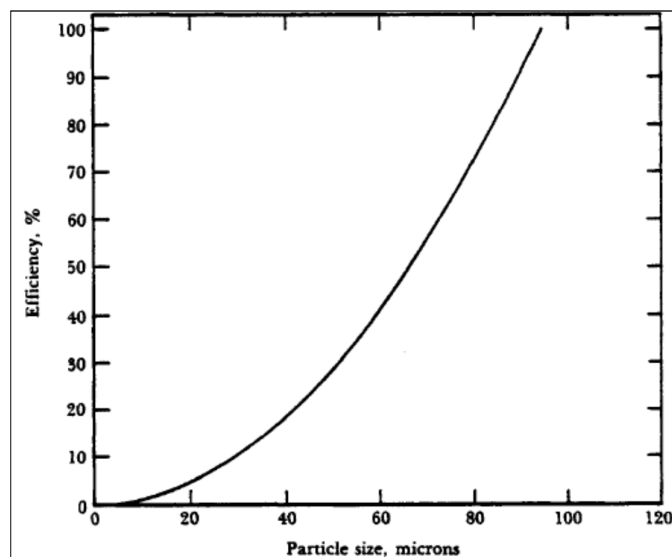


Referencia [25].

**FIGURA 2.11 CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN.**

**Ciclones.-** En este sistema el aire cargado de polvo entra tangencialmente por la parte superior cilíndrica. La corriente de aire, sigue una trayectoria en espiral, primero se dirige hacia el fondo del cono, ascendiendo después por el centro del mismo. El aire, una vez depurado, abandona el ciclón por la parte superior. Las partículas separadas, se descargan por el fondo del ciclón [12], [25].

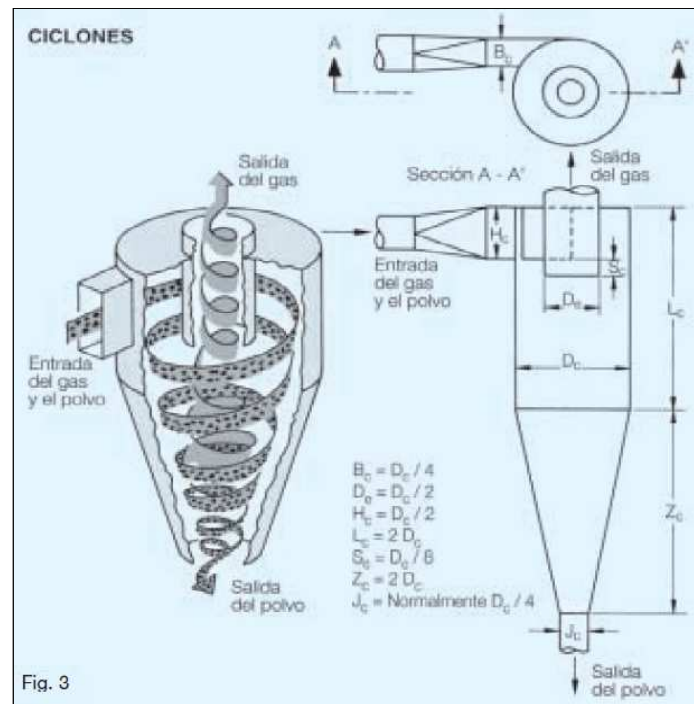
El rendimiento de un ciclón depende del diámetro del mismo y del tamaño de las partículas a separar; tal como se puede ver en la figura 2.11.



Referencia [16].

**FIGURA 2.12 EFICIENCIA DE LOS CICLONES**

Otro parámetro fundamental para un óptimo rendimiento de este tipo de separador de polvos, es el correcto dimensionamiento del mismo. En la figura 2. 12 se han dibujado dimensiones relativas para el diseño de un ciclón.



Referencia [26].

**FIGURA 2.13 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN CICLÓN.**

Entre las características principales de este tipo de dispositivos existen [18], [25]:

- Su mecanismo de colección es la fuerza centrífuga
- Se usan para partículas mayores 25  $\mu\text{m}$ .
- Habilidad para trabajar a altas temperaturas.
- Mantenimiento sencillo.
- Bajo costo de construcción

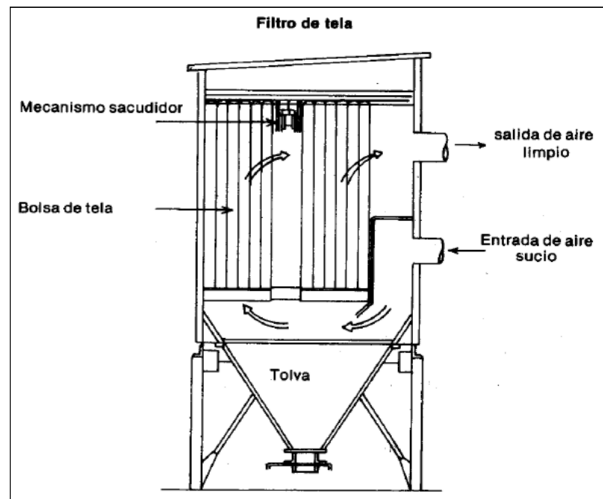
- A partículas muy finas la eficiencia decae.
- Los costos operacionales pueden ser altos debido a la caída de presión.

**Filtración.-** Es un método aceptable para la separación de partículas de una corriente de gases (usualmente aire o productos de la combustión). Su mecanismo de colección es a través por impactación por inercia, intersección directa y difusión, por lo que puede separar una gran gama de polvos. En la figura 2.13 se muestra un tipo de filtros de mangas comúnmente utilizado en la industria.

Entre las principales características de este tipo de dispositivos existen [18], [25]:

- Tienen una alta eficiencia de colección incluso para partículas pequeñas.
- Pueden operar con una amplia gama de polvos
- Pueden operar con una amplia gama de flujos de aire.
- Requieren de grandes espacios para su instalación.
- Los filtros pueden ser dañados debido a las altas temperaturas y a la corrosión química.

- No puede trabajar con gases húmedos.



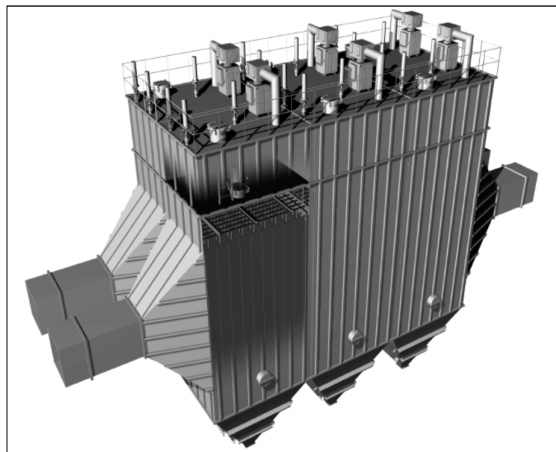
Referencia [14].

**FIGURA 2.14 FILTRO DE MANGAS**

**Precipitadores Electrostáticos.-** Son usados para remover partículas secas del flujo de gases, estos básicamente aplican una carga electrostática a la partícula, asegurando la suficiente área superficial para que la partícula migre a las placas de colección siendo capturada. Las placas de colección son sacudidas periódicamente para coleccionar las partículas dentro de una tolva. En resumen este equipo implica la ionización del aire contaminado entre dos electrodos, la carga, migración y colección de las partículas contaminantes y la remoción de las partículas de las placas. En la figura 2.14 muestra un precipitador electrostático.

Entre las principales características de este tipo de dispositivo existen [18], [25]:

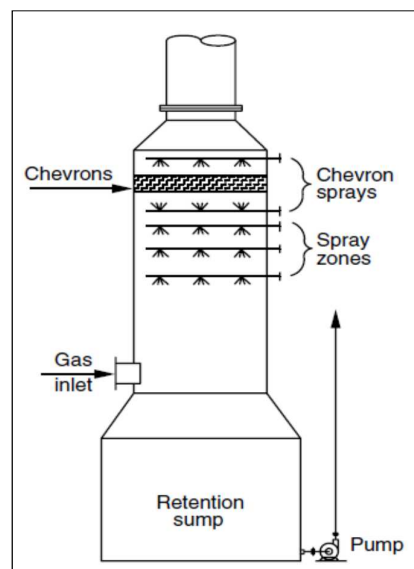
- Alta eficiencia, incluso para partículas pequeñas.
- Manejo de altos caudales con caídas de presión bajas.
- Aplicable para colección para partículas húmedas y secas.
- Trabaja para rangos amplios de temperaturas.
- Bajos costos operacionales, excepto para altas eficiencias.
- Altos costos de capital.
- No controla emisiones gaseosas.
- No es muy flexible a cambios operacionales.
- No trabaja correctamente con partículas con alta resistividad eléctrica.



Referencia [25].

**FIGURA 2.15 PRECIPITADOR ELECTROSTATICO**

**Depuradores Húmedos.-** Dispositivos de colección húmeda para humos, nieblas y polvo suspendido son denominados depuradores. Estos equipos colectan el contaminante por contacto directo con un líquido (usualmente agua) y por lo general se los usa para partículas menores a  $5\ \mu\text{m}$  que no necesitan ser recuperadas. La figura 2.15 muestra un tipo de depurador húmedo.



Referencia [25].

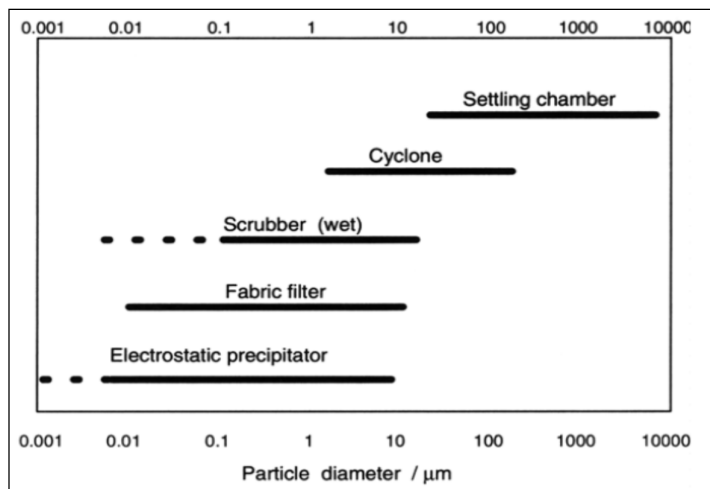
**FIGURA 2.16 DEPURADOR TIPO TORRE**

Entre las principales características de este tipo de dispositivos se tiene [18], [25]:



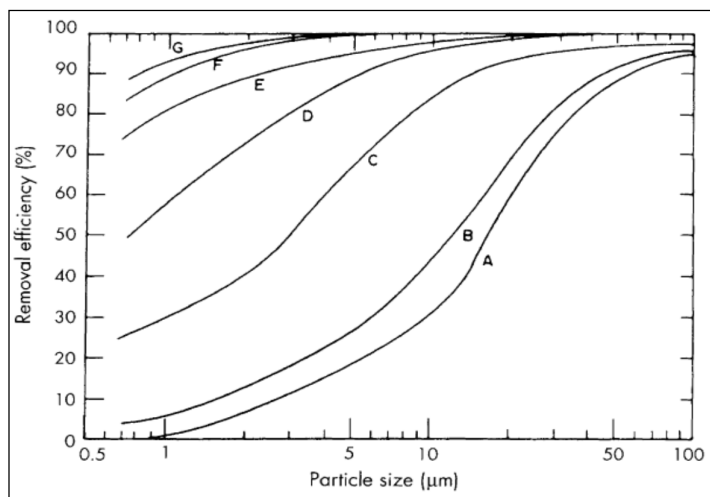
- Puede manejar polvos explosivos e inflamables con un riesgo mínimo.
- Provee absorción del gas y colección del polvo en una sola unidad.
- Maneja nieblas.
- Provee enfriamiento de gases con altas temperaturas.
- Eficiencia de colección puede ser variable.
- Gases y polvos corrosivos pueden ser neutralizados.
- Costos de mantenimiento elevado
- Alto potencial para tener problemas de corrosión
- Fugas de líquido pueden causar problemas de contaminación industrial.

A continuación, en la figura 2.16 se muestra el rango óptimo de tamaños de partículas de cada dispositivo descrito, mientras que en la figura 2.17 se muestra la eficiencia de cada equipo respecto al tamaño de la partícula [17].



Referencia [17].

**FIGURA 2.17 TAMANO ÓPTIMO DE PARTICULA DE CADA  
DISPOSITIVO DE CONTROL**



Referencia [17].

**FIGURA 2.18 EFICIENCIA DE COLECCIÓN VS TAMANO DE  
PARTÍCULA (A: Cámara Sedimentación, B: ciclones, D:  
precipitadores electrostáticos, E: Depuradores húmedos, G:  
Filtros de mangas).**

**Problemas Causados por el No control de Material Particulado.**

Para material particulado existen un sinnúmero de estudios epidemiológicos que muestran incremento de mortalidad y morbilidad (admisiones hospitalarias, síntomas respiratorios, disminución de la función pulmonar, etc. [27] [14]). Desde este punto de vista, las partículas que mayor interés tienen son las partículas con diámetros menores a  $10\ \mu\text{m}$  ya que son fácilmente respirables y penetran en los pulmones. Las partículas de tamaño comprendido en el intervalo  $2.5 - 10\ \mu\text{m}$  se depositan en la tráquea, bronquios y bronquiolos. Las partículas de tamaño inferior a  $2.5\ \mu\text{m}$ , incluyendo las nano partículas, con medidas del orden de micrómetros, son capaces de llegar al interior de los alvéolos pulmonares, donde las más hidrosolubles se disuelven y las menos hidrosolubles se depositan. En general todas estas partículas pueden acumularse en el sistema respiratorio y producir diversos efectos negativos en la salud que se expresan en el aumento de enfermedades respiratorias como la bronquitis y exacerbar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares.

En efecto, estudios sistematizados por la Organización Mundial de la Salud y otras fuentes reportan que al aumentar en  $10\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  PM10 se genera un incremento de por lo menos el 8% en el número

de consultas por enfermedad respiratoria en los niños entre 5 y 14 años de edad [14].

Por otro lado, el depósito de las partículas sedimentables de origen industrial sobre suelos agrícolas origina modificaciones frecuentemente perjudiciales para los cultivos, y como consecuencia, incide sobre la salud del hombre y los animales.

Adicionalmente, niveles elevados de material particulado afectan la visibilidad y con ello la aeronavegación y también provocan un deterioro más rápido de muchos materiales estructurales o de uso humano [28].

# CAPÍTULO 3

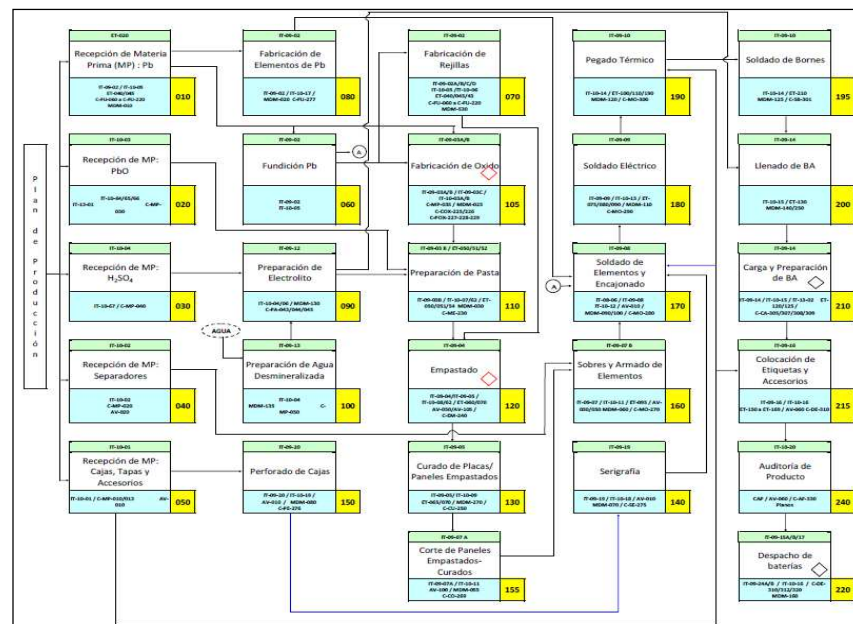
## 3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE ACUMULADORES ELÉCTRICOS.

La industria de las baterías está dividida en dos sectores principales: las baterías de arranque y las baterías de descarga profunda o de tracción. Las baterías de arranque son usadas principalmente en los automóviles, mientras que las baterías de descarga profunda son usadas para suministrar energía continua a vehículos, como por ejemplo los montacargas [29].

En el Ecuador las baterías de mayor consumo son las de arranque, esto se debe a que en los últimos 10 años el parque automotor ha tenido un incremento del 110 % y sigue en aumento [30]. El consumo de plomo actualmente es producto del reciclaje de baterías chatarra, con esto se busca asegurar que el producto cumpla su ciclo desde la venta hasta el

reciclaje; es más para poder obtener una batería algunos distribuidores no venden una nueva sino se retorna la usada.

Para la fabricación de baterías plomo – ácido los componentes principales son las aleaciones de los lingotes de plomo, el óxido de plomo y el ácido sulfúrico. En la figura 3.1 se puede observar el diagrama de flujo de fabricación en la cual intervienen estos tres componentes [31].



**FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE FLUJOS DE FABRICACIÓN DE BATERÍAS**

Referencia [31].

### 3.1 Producción de Rejillas de Plomo.

El proceso de fundición de rejillas es uno de los más extremos en la elaboración de baterías, debido a las altas temperaturas de trabajo a la cual los operadores están expuestos. Actualmente existen tres tipos de tecnologías para la producción de rejillas de plomo, estos son: fundición por gravedad, fundición continua y por expansión. La fundición por gravedad consiste en cargar los lingotes de plomo dentro de un crisol hasta que se encuentren completamente en estado líquido, las temperaturas normales de operación de estos crisoles son entre 510 – 515 °C. Una vez en estado líquido el plomo es bombeado hacia un pequeño recipiente denominado canoa, la cual vierte el plomo en el molde que le da la forma a la rejilla (figura 3.2). La fundición continua a diferencia de la por gravedad, consiste en bombear el plomo líquido directamente hacia el molde (rodillo) el cual produce una cinta que tiene la forma de la rejilla, esta se enrolla en un carrete metálico formando rollos de rejillas (figura 3.3). El proceso de rejillas expandidas no utiliza un crisol para fundir el plomo, sino consiste en utilizar un rollo de plomo en forma de cinta, el cual al pasar por las diferentes etapas va aumentando en su ancho hasta llegar al deseado (figura 3.4). Al igual que a la fundición continua esta se enrolla en rodetes metálicos [32], [29].



**FIGURA 3.2 FABRICACIÓN DE REJILLAS POR GRAVEDAD.**

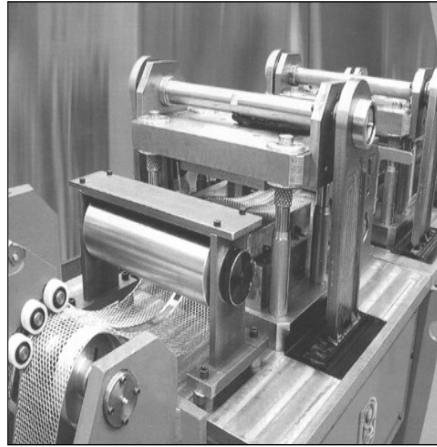
Referencia [33]



**FIGURA 3.3 FABRICACIÓN DE REJILLAS DE MANERA  
CONTINUA.**

Referencia [33].





**FIGURA 3.4 FABRICACIÓN DE REJILLAS POR EXPANSIÓN.**

Referencia [33]

En la tabla 5 se resumen los tres procesos de fabricación según el tipo y la polaridad de las rejillas de plomo.

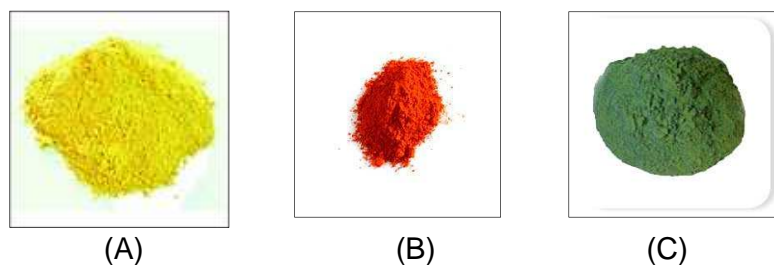
**TABLA 5**  
**PROCESOS DE FABRICACIÓN DE REJILLAS SEGÚN EL TIPO**  
**Y POLARIDAD DE LAS REJILLAS DE PLOMO**

<b>Proceso</b>	<b>Tipo de Plomo</b>	<b>Polaridad</b>
Por gravedad	Pb-Sb Pb-Ca-Sn Pb-Ca	+ / -
Continua	Pb-Ca	-
Expandida	Pb-Ca-Sn	+

Como se puede ver en la tabla 5 según la polaridad de la rejilla, positiva o negativa será la aleación de plomo usada. El método de fabricación de rejillas por gravedad es el más versátil ya que se pueden producir ambas rejillas, con la desventaja de sus velocidades bajas de producción y alto porcentaje de desperdicio.

### 3.2 Producción de Óxido de Plomo.

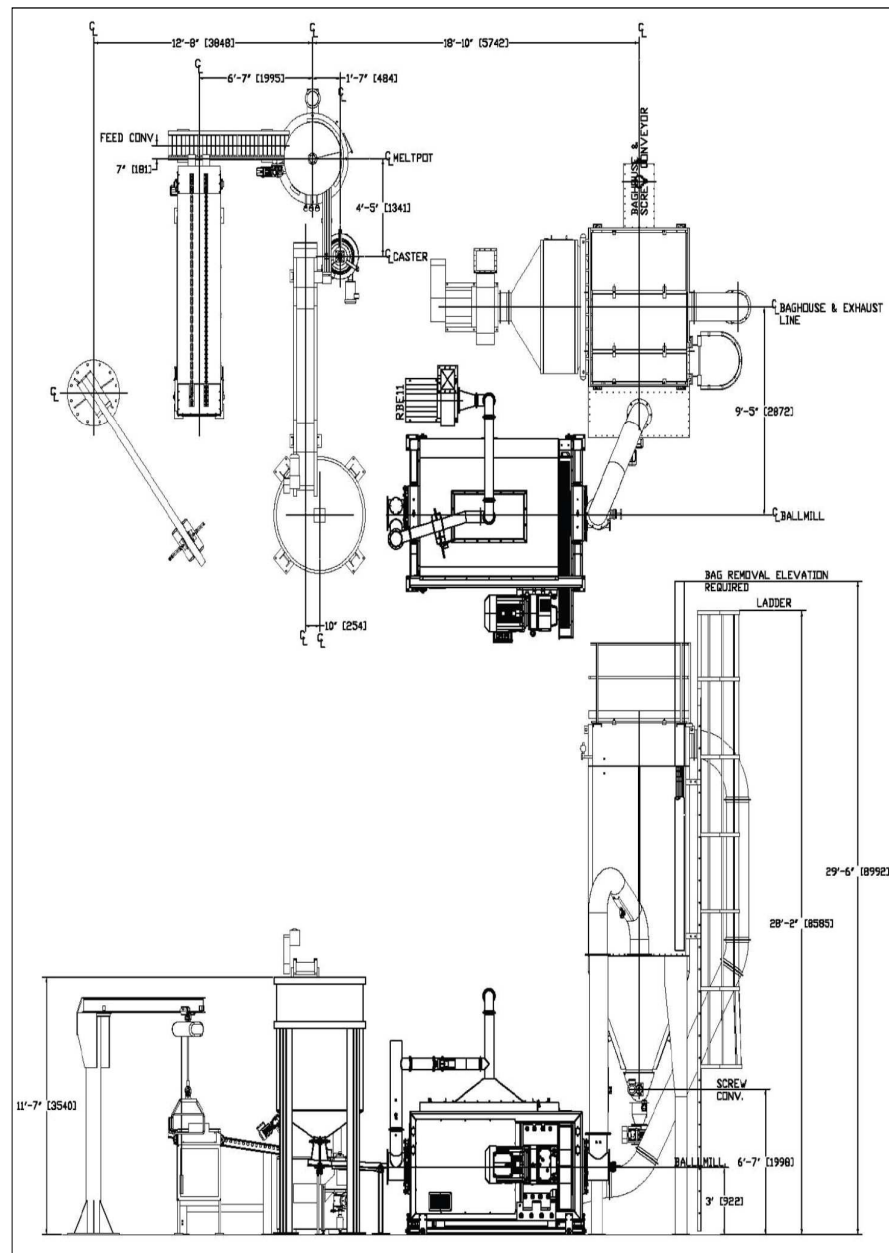
El óxido de plomo es un término general que hace referencia al monóxido de plomo o litargirio ( $\text{PbO}$ ); tetra óxido de plomo o plomo rojo ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ); o al óxido gris que es una mezcla de 70 % de monóxido de plomo y 30 % de plomo libre. Este último es usado específicamente en la fabricación de baterías plomo – ácido, lo que hace al monóxido de plomo el más importante compuesto en dicha industria de baterías.



**FIGURA 3.5 TIPOS DE ÓXIDO DE PLOMO. ((A). LITARGIRIO, (B.) PLOMO ROJO, (C). GRIS).**

Referencia [34].

Para la obtención del óxido gris existen dos métodos usando lingotes de plomo con un 99 % de pureza; el óxido tipo Ball Mill y el óxido tipo Bartón. En la figura 3.6 se muestra un esquema del proceso en el óxido tipo Ball Mil, aquí los lingotes de plomo son fundidos en un crisol y mediante una bomba es llevado hacia un tambor giratorio enfriado por agua, el cual moldea pequeños cilindros de plomo. Los cilindros son transportados hacia un silo de almacenamiento donde se mantiene un stock apropiado.



**FIGURA 3.6 MÉTODO DE OBTENCIÓN DE OXIDO DE PLOMO  
POR MEDIO DE BALL MILL.**

Referencia [34]

Los cilindros son medidos y pesados dentro del tambor giratorio del Ball Mill a una tasa que satisface el ritmo de producción de óxido. A medida que los cilindros pequeños de plomo caen dentro del Ball Mill, se oxidan en su superficie formando óxido de plomo, estas partículas se desprenden de los cilindros siendo molidas por la acción del movimiento de la masa dentro del Ball Mill.

La fricción entre los cilindros genera calor que sirve como catalizador en el proceso de oxidación, luego después que el proceso de oxidación ha sido establecido, una gran cantidad de calor es generada por la reacción exotérmica del plomo convirtiéndose en óxido. Estas elevadas temperaturas elevan a temperatura de la masa dentro del Ball Mill, lo que acelera el proceso.

Una corriente de aire a través del Ball Mill lleva el óxido generado hacia el sistema de colección. Partículas grandes permanecen en el Ball Mill hasta que son lo suficientemente pequeñas y puedan ser llevadas por la corriente de aire. El sistema de colección (Baghouse) está equipado con filtros que resisten altas temperaturas, puestos de manera vertical que son limpiados por pulsos de aire. El óxido es depositado en una tolva anexada al

baghouse, y continuamente transportado mediante un sinfín y una válvula rotatoria. Este finalmente es almacenado en silos usando varios métodos de transporte.

Los gases de escape del baghouse pasa a través de un filtro HEPA antes de salir del sistema, con esto se asegura que el sistema cumpla con las normativas del medio ambiente. Actualmente es uno de los procesos más controlados [32].

### **3.3 Mezclado de Pasta y Empastado de Rejillas.**

#### **Mezclado de Pasta.**

El mezclado de la pasta consiste prácticamente en combinar el óxido de plomo y una solución de ácido sulfúrico lo que da como resultado una pasta denominada material activo. Al inicio la composición inicial es la misma para ambos electrodos (positivo y negativo). En la figura 3.7 se puede observar el dispositivo para mezclado.



**FIGURA 3.7 MEZCLADORA DE PASTA OXMASTER**

**Referencia [33].**

El proceso de mezclado es por lote lo cual tomo un tiempo de espera mientras se mezclan los ingredientes. Los ingredientes usados son principalmente agua desmineralizada, electrolito de alta pureza ( $\rho = 1400 \text{ kg / m}^3$ ), óxido de plomo, expansor (carbón granulado) y fibra. Estos dos últimos, la cantidad usada en proporción de cada uno dependerá que electrodo se formen; positivo o negativo. El equipo consta con un sistema de extracción equipado con un filtro HEPA, el cual sirve para mantener la temperatura estable y garantizar que no existan emisiones hacia el ambiente. En la figura 3.8 se muestran algunas especificaciones de pasta.

PASTA POSITIVA	Unidad	Sin Aguada	Con Aguada
		(PbO) Ball Mill % Pb = $28 \pm 2$	(PbO) Ball Mill % Pb = $28 \pm 2$
Oxido de plomo	kg	1000	1000
Electrolito 1400	kg	140	140
Agua	l	$126 \pm 5$	$116 \pm 5$
Aguada**	l	-	10
Fibra (50% de 1/4" + 50% de 1/8")	gr	1000	1000

PASTA NEGATIVA	Unidad	Sin Aguada	Con Aguada
		(PbO) Ball Mill % Pb = $28 \pm 2$	(PbO) Ball Mill % Pb = $28 \pm 2$
Oxido de plomo	kg	1000	1000
Electrolito 1400	kg	120	120
Agua	l	$106 \pm 4$	$96 \pm 4$
Aguada**	l	-	10
Fibra (50% de 1/4" + 50% de 1/8")	gr	1000	1000
Expansor	gr	10000	10000

**FIGURA 3.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PASTA**

Referencia [35]

### **Empastado de Rejillas.**

El proceso de empastado a diferencia del mezclado es un proceso continuo, una vez preparada la pasta; esta es depositada poco a poco en la tolva de la máquina de empaste (figura 3.9) la cual se encarga de rellenar los orificios de las rejillas con la cantidad exacta de pasta, a la rejilla una vez empastada se la conoce con el nombre de placa. El proceso no se ve interrumpido debido a que cuando una mezcla se está consumiendo, paralelamente la mezcladora está elaborando otro lote. Por lo general mezcladora y empastadora viene en un solo conjunto.





**FIGURA 3.9 MÁQUINA DE EMPASTE M.A.C**

**Referencia [36].**

A medida que las rejillas son empastadas son introducidas dentro de un horno (figura 3.10) por el cual circula una corriente de aire caliente que elimina el exceso de humedad presente en las placas; quedando finalmente con una humedad del 10% aproximadamente lo que es indicador de que este proceso está correcto. Los gases de escape del horno pasan a través de un filtro HEPA antes de ser descargados a la atmosfera para garantizar que no exista impacto en el ambiente. A la salida del horno se encuentra la zona de descarga en donde las placas son recogidas y agrupadas en rums; colocándose en pallets metálicos para su disposición para el siguiente proceso, el curado.

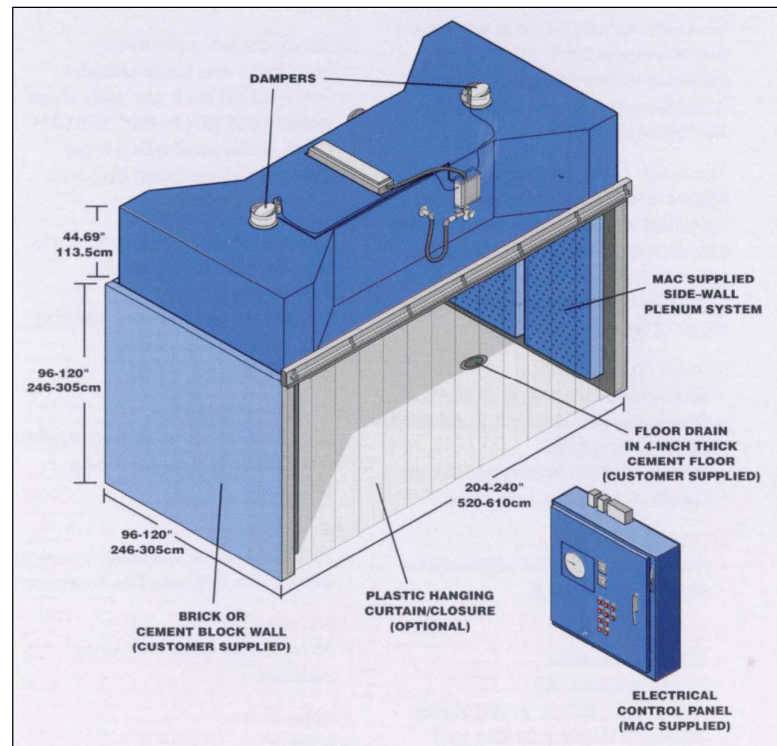


**FIGURA 3.10 HORNO SECADOR DE PLACAS M.A.C**

Referencia [36].

### **3.4 Curado de Placas.**

El proceso de curado o también llamado de hidro-fijación en el cuál el plomo en estado libre de las placas producto de una transformación química forma óxido de plomo y sulfato. En la figura 3.11 se muestra una cámara típica de curación de placas.



**FIGURA 3.11 CUARTOS DE CURADO TÍPICO M.A.C**

**Referencia [36].**

En estas cámaras los pallets metálicos provenientes del proceso de empastado son ingresados hasta completar el espacio. Una vez lleno el cuarto los pallets de placas son sometidos a un proceso de atmosfera controlada. El proceso de curado dura 48 horas, está dividido en dos partes: humedad y secado; con una duración de 24 horas cada uno. El proceso de humedad es el más crítico, debido que aquí mediante la pulverización de una combinación de agua y aire a través de un sistema de boquillas se genera una neblina la

cual mediante la ayuda de un ventilador se hace recircular por todo el cuarto para que la reacción pueda llevarse a cabo. El proceso de secado consiste en la eliminación total, en lo posible, de la humedad remanente de las placas. Valores comunes de humedad al final del ciclo son del 0,01 % y valores de plomo permisible en las placas menores al 5 %. Una vez terminado el ciclo las placas se encuentran listas para el proceso de montaje de elementos armados.

### **3.5 Montaje de Elementos Armados.**

Es prácticamente el área más sucia en el proceso de fabricación debido al manipuleo de placas secas. El montaje de elementos armados consiste en tres etapas: corte de placas, armado de grupo y encajonado de elementos armados. En la figura 3.12 se muestra el estado en que las placas llegan a la zona de montaje.



**FIGURA 3.12 PLACAS CON EXCESO DE PASTA SECA.**

### **Corte de Placas.**

Es la zona donde las placas que salen del cuarto de curado son cortadas para luego ser almacenadas en carros transportadores hacia la etapa de armado de grupos. Esto se lo puede realizar de dos maneras mediante una máquina cortadora de placas (figura 3.13) o manualmente.



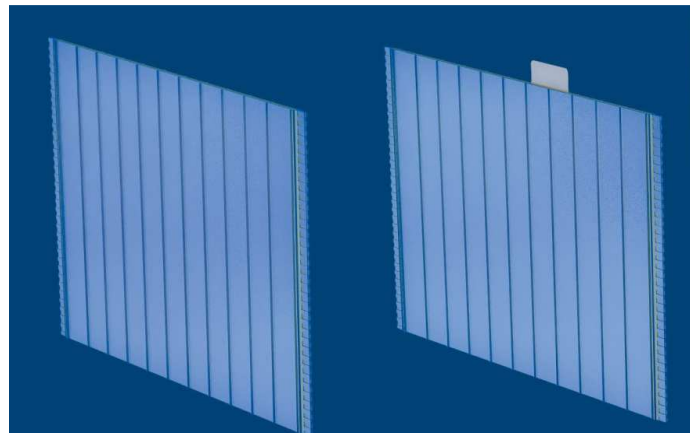
**FIGURA 3.13 CORTADORA DE PLACAS M.A.C**

**Referencia [36].**

Este proceso genera bastante desperdicio y emisiones al ambiente de trabajo por cuál debe estar controlado por un sistema de control de contaminación del aire que cumpla con las regulaciones ambientales vigentes. El control puede realizarse mediante un sistema de ductos que transporte el contaminante hasta un equipo de control común o tener su equipo de control de manera individual. Los equipos comunes usados son los baghouse.

### **Armado de Grupos.**

Se denominan grupos al conjunto de placas positivas y negativas que componen cada celda de las baterías; no importa lo grandes que estas sean, el total de celdas serán siempre de seis. El tamaño del grupo, es decir el número total de placas que tenga dependerá de la capacidad eléctrica deseada en la batería. Las placas deben estar intercaladas una con otra, es decir una placa positiva, una negativa, y así sucesivamente; pero para que no exista un corto circuito una de ellas debe estar aislada mediante el uso separadores de polietileno que resistan el ataque corrosivo del electrolito. Por lo general la placa aislada es la negativa. En la figura 3.14 se muestra un separador y una placa debidamente aislada, mientras que en la figura 3.15 se muestra el grupo una vez armado.



**FIGURA 3.14 SEPARADOR DE POLIETILENO Y PLACA AISLADA**



**FIGURA 3.15 ELEMENTOS ARMADOS**

Este proceso es realizado con la ayuda de unas máquinas que envuelven y agrupan el número de placas previamente configurado (figura 3.16). El operador únicamente se encarga de alimentar la máquina con placas positivas y negativas. Estas máquinas son denominadas localmente como máquinas de sobres (Envelope Machine).



**FIGURA 3.16 MAQUINA DE SOBRES (ENVELOPE MACHINE)**

Referencia [37]

Por ser un proceso en donde existe la manipulación de placas, polvo es generado en el ambiente de trabajo por lo que se hace necesario controlarlo mediante el uso de un sistema de control. El sistema debe ser localizado, pudiendo capturarse el contaminante mediante el uso de una red de ductos el cual lo lleva a un sistema común o mediante un equipo independiente. El equipo comúnmente utilizado el baghouse.

### **Encajonado.**

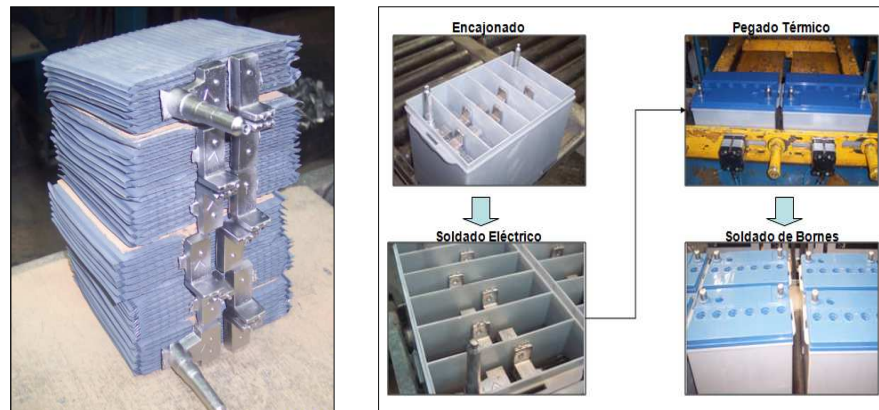
Los grupos armados para poder ser colocados en las celdas de las baterías deben estar unidos por un puente denominado lápida. Para lograr esto se utiliza un equipo denominado COS (figura 3.17) por sus siglas en inglés (cast on strap); este equipo consta de 4 estaciones: carga de grupos armados, cepillado / baño de fundente, soldado de grupos en las lápidas de plomo y finalmente la descarga. El soldado a la lápida de plomo dependerá del molde que se esté usando.





**FIGURA 3.17 MÁQUINA DE SOLDADO DE GRUPOS MAC / COS**  
**Referencia [36].**

Los grupos soldados son encajonados; colocando cada uno de ellos en la celda correspondiente de la batería, luego pasan por subprocesos como el soldado eléctrico entre celdas, el pegado térmico y el soldado de terminales o bornes. El producto terminado hasta aquí recibe el nombre de batería seca, la cual está lista para admitir carga. En la figura 3.18 se puede observar esto.



**FIGURA 3.18 GRUPOS SOLDADOS Y SUB – PROCESOS.**

### 3.6 Formación de Acumuladores Eléctricos.

Las baterías seca es tomada de las perchas de almacenamiento y es llevada a la zona de llenado y con la ayuda de una máquina volumétrica de llenado (figura 3.19); se coloca la cantidad exacta de electrolito en cada celda para luego procede con el proceso de carga.



**FIGURA 3.19 LLENADORA VOLUMÉTRICA OMI**  
Referencia [38].

Las baterías llenadas con electrolito son ingresadas una a una a las tinas de polipropileno de alta densidad, una vez llena la tina se llenan de agua y cada borne se conecta a una línea de carga; estas líneas son accionadas mediante cargadores eléctricos que se encargan de llevar la batería hasta sus condiciones finales de corriente y voltaje. Este proceso de tinas con agua se lo conoce como "water bath"; y no es más que un sistema de enfriamiento por recirculación de agua para mantener las baterías a un máximo de 50 °C, ya que si la batería es expuesta a temperaturas mayores puede presentar fallas en su funcionamiento. En la figura 3.20 se puede apreciar esta configuración.



**FIGURA 3.20 SISTEMA DE CARGA POR  
RECIRCULACIÓN DE AGUA (WATER BATH).**

Referencia [38].

Todo proceso de carga de baterías genera gases sulfurosos por eso es necesario contar con un sistema de extracción localizado que se encargue de direccionar estos gases al sistema de control respectivo. Por lo general los sistemas usados en un proceso de carga de baterías son los depuradores de gases (scrubbers).

### **3.7 Embalaje, Paletizado y Despacho.**

La batería una vez que termina su proceso de carga, pasa a la zona de preparación; en la cual la batería es lavada, secada y debidamente etiquetada. Antes de seguir con la etapa final todas las baterías sin excepción, pasan por un equipo el cual somete a la batería a una descarga para comprobar que el voltaje y la corriente se encuentran dentro de lo especificado. Si alguna batería no pasa la prueba es separada y evaluada para determinar la causa de su fallo. Las baterías que pasan satisfactoriamente la prueba son codificadas, paletizadas y embaladas, para posteriormente ser despachadas a los diferentes puntos de ventas.

### **3.8 Identificación de Puntos de Emisión de Polvo de Plomo.**

Actualmente en Ecuador no existen leyes, normativas que regulen las emisiones de plomo al ambiente ni al sitio de trabajo. En el TULSMA no figura en ningún lado el plomo como contaminante que

rige en el país por tal motivo se tomará como referencia la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Según la EPA 40 CFR 63 sub – parte PPPPPP - Estándares Nacionales para Emisiones Peligrosas de la Fabricación de Baterías Plomo – ácido (Apéndice A), establece que todo dueño u operario debe cumplir como lo establecidos en la EPA 40 CFR 60 sub – parte KK (Apéndice B). De esta sección el numeral 60.372 - Estándares para Plomo, establece que ningún dueño u operario de una planta de producción de baterías plomo – ácido debe causar una descarga a la atmosfera:

5. De ninguna instalación de fundición de rejillas, ningún gas que contenga plomo que exceda a los 0.40 miligramos de plomo por metro cúbico de aire.
6. De ninguna instalación de empastado, ningún gas que contenga en exceso 1 miligramo de plomo por metro cúbico de aire.
7. De ninguno de los tres procesos operacionales (Corte de Placas, Armado de grupos, Encajonado), ningún gas que contenga en exceso 1 miligramo de plomo por metro cúbico de aire.

8. De ninguna instalación productora de óxido de plomo, ningún gas que contenga en exceso 5 miligramos de plomo por kilogramo de plomo usado.

De este proceso de fabricación los puntos de emisión de plomo son claramente identificables y se definen a continuación:

- Fundición de Rejillas.- Incluye los crisoles y las máquinas usadas para la fabricación de rejillas.
- Fabricación de Óxido.- Incluye el crisol, instalaciones para producir óxido a partir de lingotes de plomo, incluyendo la recuperación de producto.
- Empastado – Mezclado.- Incluye los silos de almacenamiento de óxido, transporte, empastado de placas, secado y apilado.
- Tres Procesos Operacionales.- Incluyen los procesos que involucran corte de placas, armado de grupos y encajonado.

Todos estos puntos todos están controlados por sistemas de control de contaminación del aire como lavadores de humos y lavadores de gases, pero el filtro de mangas que está encargado de los tres procesos operacionales muestra señales de mal funcionamiento. Esta tesis se centrará en los tres procesos operacionales y el filtro de mangas.

### **3.9 Contaminación por Plomo.**

El plomo es un metal tóxico que anteriormente era comúnmente usado en productos que se encuentran en los hogares, como ollas, sartenes, etc; pudiendo ser emitido al aire desde fuentes industriales y gasolina para aviones con plomo. Además puede entrar al agua por medio de las tuberías de las redes de distribución.

El plomo puede causar muchos efectos en la salud, desde problemas de comportamiento y problemas de aprendizaje hasta convulsiones y muerte. Siendo los más vulnerables los niños menores a seis años.

En la manipulación del plomo inorgánico en la industria las posibles vías de entrada en el organismo son la respiratoria y la digestiva, la penetración por esta última se debe a la falta de higiene personal o hábitos inadecuados de fumar, comer o beber en el puesto de trabajo o sus proximidades. Luego de que ingresa el plomo al organismo, la absorción del plomo es mayor en los pulmones que en el sistema digestivo, lo que llevo a concluir que es la contaminación ambiental de los puestos de trabajo el principal factor de intoxicación [39].

### **Control y Regulaciones de Emisiones de Plomo en el Sitio de Trabajo.**

La contaminación por plomo a nivel industrial en el país se menciona como enfermedad profesional en el Reglamento General del Seguro de Riesgos del Trabajo, Título I de los Riesgos de Trabajo, Capítulo I de los Accidentes de Trabajo y de las Enfermedades Profesionales, artículo # 6; pero no indica valores permisibles o recomendados de exposición a la cuál debe estar expuesto el trabajador; sin embargo en la Resolución 333 el Reglamento para el Sistema de Auditorias de Riesgos de Trabajo (SART) Art. 9 – Gestión Técnica establece identificar los factores de riesgos de trabajo utilizando métodos nacionales o internacionales en ausencia de los primeros. Por tal motivo se mencionará el valor recomendado por la OSHA (Occupational Safety Health Administration), los cuales serán valores de referencia para esta tesis.

Según OSHA, el patrono debe asegurar que ningún trabajador este expuesto a una concentración mayor a  $50 \mu\text{g} / \text{m}^3$  en un periodo de ocho horas de trabajo; si un empleado está expuesto a más de ocho horas de exposición en cualquier día de trabajo, el límite de



exposición permitido (PEL) debe ser ponderado, reducido por la siguiente expresión [40]:

$$PEL \left( \frac{\mu g}{m^3} \right) = \frac{400}{\text{horas trabajadas en el día}} \quad E. c. 3. 1$$

Además de la OSHA existen otros organismos internacionales, pero como se indicó anteriormente el valor de referencia para el desarrollo de este trabajo serán las normas OSHA.

### **Problemas a la Salud Causados por Contaminación por Plomo.**

Aunque la toxicidad del plomo ha sido conocida por más de 2000 años, el conocimiento de la compleja relación entre la exposición al plomo y la respuesta del organismo está siendo todavía refinado.

Las disposiciones de los estándares de plomo en la industria están fundadas en dos criterios principales: el primero, la prevención de los efectos adversos a la salud por la exposición al plomo a través del tiempo de trabajo requiere que los niveles del plomo en la sangre se mantengan o estén por debajo de 40  $\mu g / dl$  y segundo, que el nivel de plomo en la sangre de los trabajadores masculinos y femeninos, que tengan la intención de tener hijos en un futuro

cercano los niveles deben mantenerse por debajo de los 30  $\mu\text{g} / \text{dl}$  con la finalidad de minimizar los efectos en el desarrollo del feto.

El espectro de los efectos adversos en la salud causados por la exposición al plomo pueden ser variados y no importa si la persona respira, traga o absorbe partículas de plomo los síntomas son los mismos; sin embargo el sistema absorbe más plomo cuando lo respira. Dentro del cuerpo el plomo es absorbido y almacenado en los huesos, sangre y tejidos [41].

### **Efectos del Plomo en la Salud por un Corto Plazo de Exposición**

Envenenamiento por plomo puede ocurrir si una persona está a expuesta a niveles elevados por un lapso corto de tiempo. Cuando esto ocurre la persona puede sentir:

- Dolor Abdominal.
- Estreñimiento.
- Cansancio Excesivo.
- Dolores de Cabeza.
- Irritabilidad.
- Pérdida del Apetito.
- Pérdida de la Memoria.

- Dolor en las manos y pies.
- Debilidad.

Debido a que estos síntomas pueden presentarse lentamente o ser causados por otras cosas, el envenenamiento por plomo puede ser pasado por alto fácilmente. Estar expuestos a niveles altos podría causar anemia, problemas renales y daño cerebral. En el peor de los casos la muerte.

Generalmente, el plomo afecta más a los niños que a los adultos, los niños tienden a mostrar signos de intoxicación a niveles bajos de exposición. Esta puede ocurrir accidentalmente porque los padres llevan ropa a la casa que contenga polvo de plomo. Efectos neurológicos y retardo mental son los problemas que suelen presentarse en niños cuyos padres tengan trabajos relacionados con exposición al plomo [41].

### **Efectos del Plomo en la Salud por Exposición Prolongada.**

Una persona que haya estado expuesta al plomo prolongadamente puede sentir:

- Dolor Abdominal.
- Estreñimiento.

- Depresión.
- Falta de Concentración.
- Pérdida de Memoria.
- Irritabilidad.
- Nauseas.

Personas con un prolongado tiempo de exposición pueden también correr el riesgo de sufrir de presión alta, enfermedades cardiacas, enfermedades renales y reducción de la fertilidad.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) y la Agencia Internacional de Investigaciones del Cáncer (IARC) han determinado que el plomo es una posible causa de cáncer en los seres humanos [41].

### **Cuidados Personales para la Manipulación de Plomo.**

En industrias donde se fabriquen acumuladores eléctricos que utilicen plomo como materia prima, las vías por las cuales un individuo puede estar expuesto son variadas; pudiendo ser por medio de la respiración de gases - polvos de plomo, mediante la ingestión de polvo de plomo y estando en contacto directamente

con el polvo de plomo. Por lo tanto el personal que labore dentro de estas instalaciones debe de tener los siguientes cuidados [41]:

- Comer o tomar los alimentos en lugares donde el plomo no esté siendo procesado.
- Usar un jabón anti – metal que permita la remoción del plomo de una manera eficiente.
- Ducharse siempre después de haber terminado la jornada laboral para reducir al mínimo el plomo remanente.
- No mezclar la ropa del trabajo con su vestimenta personal, así evitará exponer a su familia.
- Usar el equipo de protección personal respectiva, gafas, guantes, mascarilla, etc. Este deberá ser entregado por el empleador.
- En lo posible haber desayunado, esto impedirá que su organismo absorba el plomo en mayores cantidades.

### **Tratamientos Médicos para Desechar el Plomo del Organismo.**

Diagnosticar envenenamiento por plomo puede ser una tarea difícil, puesto como se indicó los síntomas son muy generales y parecidos a otros dolores. El doctor deberá hacerle algunas preguntas y realizarle un exámen físico en busca de posiblemente intoxicación por plomo, en caso de tener sospechas el afectado deberá

realizarse una prueba de sangre para determinar si tienen un nivel de plomo por encima del máximo permisible ( $40 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ); del nivel que se detecte dependerá las acciones a tomar. En la tabla 3 se muestra varios valores de contenido de plomo en la sangre y las recomendaciones que debería hacerse en cada caso [42].

**TABLA 6**

**RECOMENDACIONES PARA ADULTOS EXPUESTOS AL PLOMO**

<b>Nivel de Pb (<math>\mu\text{g} / \text{dL}</math>)</b>	<b>Riesgos Corto Plazo (&lt; 1 año)</b>	<b>Riesgos Largo Plazo (&gt; 1 año)</b>	<b>Recomendaciones</b>
< 5	Nada documentado	Nada documento	Nada Indicado
5 – 9	Posible aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido.	Posible aborto espontáneo. Reducción del recién nacido. Hipertensión y disfunción renal.	Discutir los riesgos para la salud. Disminuir exposición para mujeres que quieren salir embarazadas.
10 – 19	Posible aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido. Peso reducido del recién nacido.	Posible aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido. Peso reducido del recién nacido. Hipertensión y disfunción renal. Posible deficiencia neurocognitivas	Reducir la exposición al plomo. Incrementar el monitoreo biológico.
20 – 29	Posible aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido. Peso reducido del recién nacido.	Posible aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido. Peso reducido del recién nacido.	Remover de la exposición al plomo si el nivel en la sangre permanece $\geq 20 \mu\text{g}/\text{dL}$ después de 4 semanas.

		Hipertensión y disfunción renal.	
30 – 39	Aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido. Peso reducido del recién nacido.	Aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido. Peso reducido del recién nacido. Hipertensión y disfunción renal. Posibles deficiencias neurocognitivas.	Remover de la exposición al plomo.
40 – 79	Aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido. Peso reducido del recién nacido. Deficiencias neurocognitivas. Anomalías en el esperma.	Aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido. Peso reducido del recién nacido. Hipertensión y disfunción renal. Deficiencias neurocognitivas. Anomalías en el esperma. Disfunción renal. Anemia. Cólicos.	Considerar terapia de quelación para valores mayores de 50 µg/dL.
≥ 80	Aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido. Peso reducido del recién nacido. Hipertensión y disfunción renal. Deficiencias neurocognitivas. Anomalías en el esperma. Disfunción renal. Anemia. Cólicos. Encefalopatía.	Aborto espontáneo. Posible retraso en el crecimiento del recién nacido. Peso reducido del recién nacido. Hipertensión y disfunción renal. Deficiencias neurocognitivas. Anomalías en el esperma. Disfunción renal. Anemia. Cólicos. Encefalopatía. Neuropatía Periférica.	Remover de la exposición al plomo. Realizar urgente una evaluación médica. Posible terapia de quelación.

Referencia [43].

Como se puede observar en la tabla 6 no se puede especificar un valor claro en donde el nivel de plomo no sea nocivo para la salud sin embargo obtener valores por debajo de lo máximo permisible se puede lograr con una dieta balanceada, una cultura de aseo personal y eliminando vicios como el cigarrillo y el alcohol. Una dieta balanceada incluye cantidades adecuadas de hierro, calcio y vitamina C. Una persona con este régimen alimenticio es propensa a absorber menos plomo que una con un régimen inadecuado.

Cuando una persona se encuentra sobre los límites permisibles debe inmediatamente ser retirarla del medio de exposición y considerar la terapia de la quelación. Esta consiste en usar unos agentes quelantes que hacen que el plomo se adhiera a estos para poder ser eliminados posteriormente del cuerpo mediante la orina. La desventaja de este tratamiento es que incrementa la capacidad de absorber metales pesados del cuerpo por lo que debe de asegurarse de que no exista ninguna fuente de exposición al plomo, además pueden presentarse efectos secundarios. Este método es recomendable para personas que tengan valores de plomo mayores a 45  $\mu\text{g/dL}$  de sangre. Cabe mencionar que los efectos al sistema nervioso, neurológico son irreversibles con cualquier método que se



utilice lo único que se obtendría es no incrementar el daño causado por la excesiva exposición al plomo [43].

# **CAPÍTULO 4**

## **4. SELECCIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE.**

En este capítulo se describirá el equipo de control de contaminación del aire que se encuentra instalado en las instalaciones para capturar el polvo de plomo, su conformación y estado de operación. En base a esto se seleccionará y diseñará el equipo de control de contaminación del aire que garantice y asegure el cumplimiento de estándares de calidad de aire en ambiente laboral y estándares de emisiones hacia el medio ambiente. Finalmente se analizará la factibilidad de implementarlo en sitio analizando su costo beneficio.

### **4.1 Situación Actual.**

Actualmente el equipo de control de contaminación del aire que se encuentra instalado en la fábrica de acumuladores eléctricos plomo – ácido es un filtro de mangas tipo pulse jet y su función es

mantener la concentración de plomo que se emite hacia el medio ambiente dentro de estándares permitidos en las normativas ambientales legales.

El filtro de mangas tipo pulse jet es parte del sistema de extracción de polvos de plomo el cual opera veinticuatro horas diarias de lunes a viernes y dieciséis horas diarias sábados y domingos.

El sistema de extracción de polvos como tal está compuesto por dos líneas de extracción que se conectan directamente al filtro; las que se detallan a continuación.

**TABLA 7**

**SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVOS DE PLOMO**

<b>Línea # 1</b>	<b>Línea # 2</b>
Ventilador: 17000 CFM	Ventilador: 14000 CFM
Potencia motor: 60 HP	Potencia Motor: 50 HP
Filtro de Mangas Pulse Jet	
Red Ductos	Red Ductos

**Ventiladores.** Los ventiladores son los equipos que suministran la potencia al sistema para que el movimiento del aire pueda capturar el contaminante, transportándolo a través de la red de ductos y filtro para su disposición final.

Para sistemas de extracción localizada los ventiladores usados son los de tipo centrífugo debido a que manejan presiones altas y caudales moderados.

En la tabla 8 se muestran sus principales características. Los ventiladores son accionados por motores eléctricos trifásicos de 60 y 50 Hp respectivamente.

**TABLA 8**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS VENTILADORES.**

<b>Ventilador # 1</b>		<b>Ventilador # 2</b>	
Clase	3	Clase	3
Material	Acero	Material	Acero
Ancho Rueda	100 %	Ancho Rueda	100 %
Max. Temp. Diseño	94 °C	Max. Temp. Diseño	94 °C
Caudal	17100 CFM	Caudal	14000 CFM
Presión Estática	11.00 WG	Presión Estática	11.00 WG
Velocidad Ventilador	2270 rpm	Velocidad Ventilador	2078 rpm
Potencia	43.01 Hp	Potencia	32.35 Hp

Presión Negativa de Entrada	11.00 WG	Presión Negativa de Entrada	11.00 WG
Temp. de Operación	25 °C	Temp. de Operación	25 °C
Densidad de Operación	0.0730 lb/ft <sup>3</sup>	Densidad de Operación	0.0730 lb/ft <sup>3</sup>
Velocidad a la Salida	4103 ft/min	Velocidad a la Salida	3359 ft/min
Decibeles	70 dB	Decibeles	70 dB

**Filtro de Mangas Tipo Pulse Jet.** Como se observa en la tabla # 7 el sistema comparte una misma casa de filtros, esta se encuentra dividida internamente en dos cámaras las cuales contienen 48 mangas cada una para manejar cada línea de extracción respectivamente. Las mangas tienen 6" de diámetro, 10 pies de largo y están hechas de fieltro de poliéster con un acabado de teflón en el exterior. Este tipo de medio filtrante es comúnmente utilizado en el control de polvo de plomo debido a su capacidad para cumplir con las regulaciones más exigentes. [44]

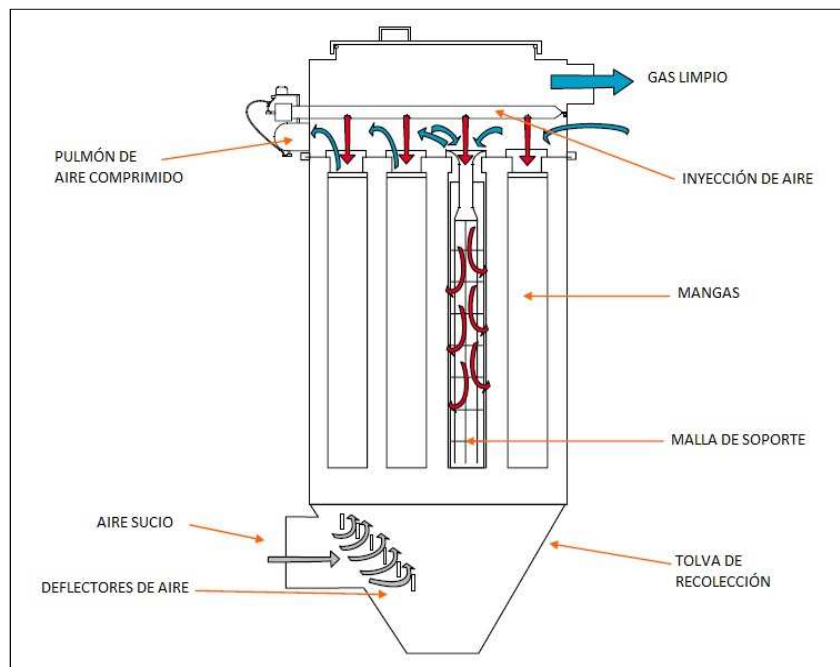
En la Tabla 9 se muestran las características del medio filtrante.

**TABLA 9**  
**CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO DE TELA**

Estilo	Filtro de Poliéster de doble densidad
Fibra	100% de Filtro de Poliéster
Construcción	Densidad dúo de poliéster.
Acabado	Membrana expandida de teflón
Peso	509 – 576 gr /m <sup>2</sup>
Permeabilidad	4 – 10 ft <sup>3</sup> /min/ft <sup>2</sup> @ 0.5 "H <sub>2</sub> O
Rango de Operación	
Temperatura	275 °F (135 °C)
Estabilidad Térmica	3% máx. @ 350 °F (176°C)

Referencia [44]

El tipo de limpieza en este tipo de filtros es por medio de pulsos de aire comprimido, el cual es distribuido a cada una de las mangas por medio de electroválvulas que se encargan de permitir el paso de aire en intervalos de tiempo sincronizados. En la figura 4.1 se muestra un esquema representativo de los filtros tipo pulse jet.



**FIGURA 4.1 FILTRO DE MANGAS TIPO PULSE – JET.**

**Referencia [45]**

En la figura 4.2 se muestra como luce el filtro de mangas, este cuenta con 16 electroválvulas marca SMC (Apéndice C), cada una de ellas controla una fila de 6 mangas respectivamente para efectuar la limpieza.

En la tabla 10 se muestran las especificaciones técnicas de las mismas.



**FIGURA 4.2 FILTRO DE MANGAS DE LA FÁBRICA DE  
BATERÍAS**

**TABLA 10  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS VÁLVULAS  
SOLENOIDES**

Modelo	VXF2160 – 10 – 3DZ
Diámetro	1" (27 mm)
Coefficiente flujo (Cv)	18
Orificio Efectivo (mm <sup>2</sup> )	330
Presión máxima (psi)	145
Presión mínima (psi)	4
Temperatura fluido (°C)	-10 y 60
Voltaje	110 VAC
Frecuencia (Hz)	60



### **Apéndice C.**

Las electroválvulas son accionadas por un controlador programado en función del tiempo de apertura de la válvula (en milisegundos), la presión de descarga (de limpieza) y el número de mangas a ser limpiado por cada válvula (número de orificios por inyector). Las condiciones de funcionamiento son las siguientes:

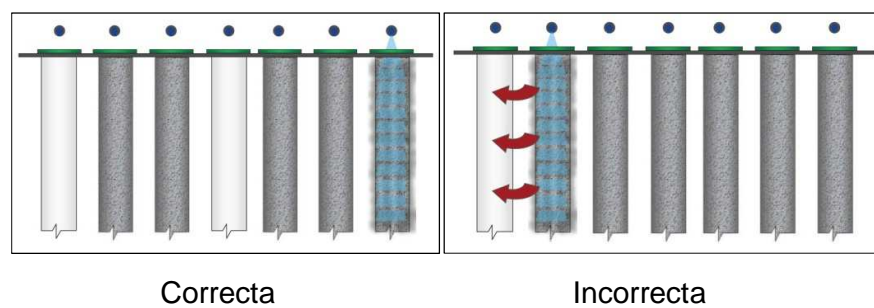
- Presión de Limpieza = 80 psi.
- Tiempo de apertura = 150 ms.
- Número de mangas por fila = 6
- Diámetro del orificio de salida del aire presurizado = 6 mm
- Número total de mangas = 96

El conjunto de válvulas es alimentado por medio de un tanque cilíndrico de 8 pulgadas de diámetro y una longitud de 3.5 metros (figura 4.3); la presión de operación es de 100 psi y tiene un volumen de 100 litros de capacidad.



**FIGURA 4.3 SISTEMA DE LIMPIEZA DEL FILTRO DE MANGAS**

Un factor que influye directamente en la eficiencia de colección y la vida útil del medio filtrante (mangas) es la secuencia y la frecuencia de accionamiento de las válvulas que permiten el paso de aire comprimido para realizar la limpieza. En la figura 4.4 se muestra como se debe de realizar la secuencia de limpieza de manera correcta.



**FIGURA 4.4 SECUENCIAS DE LIMPIEZA EN UN FILTRO DE MANGAS.**

Referencia [45].

Actualmente la frecuencia y secuencia de accionamiento de las válvulas ha sido establecida de manera empírica, evidenciándose un incorrecto funcionamiento. Esto se debe a que no existe una medida y controlador (referencia) que le indique a las válvulas cuando accionarse, en este caso sería un medidor de caída de presión ( $\Delta P$ ) a través del filtro de mangas.

Esto ha ocasionado que repetidas veces se hayan presentado problemas de roturas de mangas por desgaste prematuro de las mismas acarreado en costos de mantenimiento y emisiones fuera de valores permitidos. En la figura 4.5 se muestra fallas que se presentan en las mangas por exceso de limpieza.



**FIGURA 4.5 FALLAS FRECUENTES POR EXCESO DE LIMPIEZA**

Referencia [45].

Debido al problema indicado la frecuencia de mantenimiento de limpieza y cambio de mangas

**Red de Ductos.** La recolección del polvo de óxido de plomo de los focos de emisión descritos en el capítulo 3 se la realiza por medio de tomas de captaciones conectadas a la red de ductos de las líneas de extracción los cuales transportan el polvo hasta el filtro de mangas para su disposición final.

Los puntos de captación y red de ductos deben estar bien diseñados con velocidades de captura y transporte bien escogidas con la finalidad de evitar que el polvo se sedimente al momento de ser transportado. Existen velocidades mínimas recomendadas de transporte las cuales garantizan que la partícula transportada se mantenga suspendida en todo momento; esto se muestra en la tabla 11 a continuación.

**TABLA 11**  
**VELOCIDADES MÍNIMAS DE TRANSPORTE EN DUCTOS**

<b>Naturaleza del Contaminante</b>	<b>Ejemplos</b>	<b>Velocidad Mínima (m/seg)</b>
Vapores, gases, humos, polvos livianos	VOC, gases ácidos	10 - 13
Polvos Secos de densidad media	Algodón, madera, granos, caucho, polimeros	12 - 15
Polvo Industrial Promedio	Lana, madera, arena virutas de madera.	18 - 20
Polvos Pesados	Plomo, emisiones de fundición, limaduras de metal.	20 - 23

Referencia [21].

Se puede observar que para el caso; polvos de plomo; se recomienda una velocidad mínima de transporte entre 20 – 23 m/s (4000 – 4500 ft/min). Actualmente esta condición no se cumple y se ha visto reflejado en la acumulación de polvo dentro de los conductos por lo que ha sido necesario instalar compuertas de limpieza para evitar sedimentos y pérdidas de carga en el sistema. En la figura 4.6 se muestra lo indicado.



**FIGURA 4.6 COMPUERTAS DE LIMPIEZA INTERIOR DE  
DUCTOS**

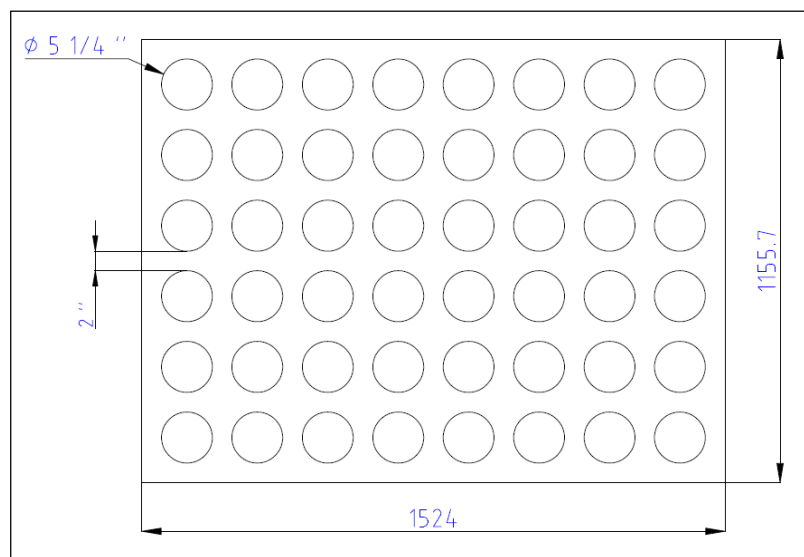
#### **4.2 Análisis del Problema.**

De la descripción presentada del equipo de control de contaminación del aire se pueden deducir dos situaciones de riesgo que debe mantener bajo control.

- a. Emisiones de Plomo hacia el medio ambiente (de los tres procesos operacionales) por encima del límite permitido según EPA 40 CFR 63 sub – parte PPPPPP - Estándares Nacionales para Emisiones Peligrosas de la Fabricación de Baterías Plomo – ácido.

- b. Concentración de plomo en los puestos de trabajo (tres procesos operacionales) por encima del límite establecido por OSHA.

La primera situación de riesgo está relacionada directamente con el funcionamiento y desempeño del filtro de mangas tipo pulse jet. Si se analiza en mayor detalle el mismo; como se indicó anteriormente, cuenta con 96 mangas repartidas de manera equitativa, esto se muestra en la figura 4.7.



**FIGURA 4.7 DISTRIBUCIÓN DE LAS MANGAS DENTRO DEL  
FILTRO DE MANGA.**

Conociendo los caudales de cada línea de extracción (**Q**) y el área total de filtración (**A<sub>c</sub>**), el cual depende del número total de mangas del arreglo (**N**), se puede determinar la velocidad de filtración del filtro (**V<sub>f</sub>**). La velocidad de filtración, también conocida como la relación tela – aire (air to cloth ratio) se define como la relación entre el caudal total que atraviesa el filtro por unidad de superficie, quedando expresado de la siguiente manera [16]:

$$V_f = \frac{Q}{A_c} \quad 4.1$$

En donde:

**V<sub>f</sub>**: Velocidad de Filtración (ft/min).

**Q**: Caudal Total de Aire a través del filtro de mangas (ft<sup>3</sup>/min)

**A<sub>c</sub>**: Área Total de Filtración (ft<sup>2</sup>).

El área total de filtración se la determina de la siguiente forma:

$$A_c = N\pi D_b l_b \quad 4.2$$

En donde:

**A<sub>c</sub>**: Área Total de Filtración (ft<sup>2</sup>).

**N**: Número total de Mangas del Filtro.

**D<sub>b</sub>**: Diámetro de la Manga (pulgadas).

**l<sub>b</sub>**: Longitud de la manga (pies).

La velocidad de filtración es uno de los parámetros de diseño fundamentales en el desempeño de los filtros de mangas, por lo



general se establece por experiencia y junto con el caudal de aire total a tratar se define la superficie filtrante a emplear. El valor de la velocidad de filtración debe ser un valor de compromiso, ya que si es bajo aumenta la superficie filtrante y si es demasiado alto aumenta la frecuencia de limpieza, acortando la vida útil del filtro y provocando una compactación excesiva de la capa de polvo depositada. En la tabla 12 (Apéndice D) se listan velocidades de filtración recomendadas según el tipo de contaminante.

**TABLA 12**  
**VELOCIDADES DE FILTRACIÓN RECOMENDADAS**

Dust	Shaker/woven	
	Reverse-air/woven	Pulse jet/fel
Alumina	2.5	8
Asbestos	3.0	10
Bauxite	2.5	8
Carbon black	1.5	5
Coal	2.5	8
Cocoa, chocolate	2.5	12
Clay	2.5	9
Cement	2.0	8
Cosmetics	1.5	10
Enamel frit	2.5	9
Feeds, grain	3.5	14
Feldspar	2.2	9
Fertilizer	3.0	8
Flour	3.0	12
Fly ash	2.5	5
Graphite	2.0	5
Gypsum	2.0	10
Iron ore	3.0	11
Iron oxide	2.5	7
Iron sulfate	2.0	6
Lead oxide	2.0	6
Leather dust	3.5	12
Lime	2.5	10
Limestone	2.7	8
Mica	2.7	9
Paint pigments	2.5	7
Paper	3.5	10
Plastics	2.5	7
Quartz	2.8	9
Rock dust	3.0	9
Sand	2.5	10
Sawdust (wood)	3.5	12
Silica	2.5	7
Slate	3.5	12
Soap detergents	2.0	5
Spices	2.7	10
Starch	3.0	8
Sugar	2.0	7
Talc	2.5	10
Tobacco	3.5	13
Zinc oxide	2.0	5

Referencia [47]

Además de la velocidad de filtración existen otros factores que influyen en el buen desempeño de los filtros de mangas. Estos son la velocidad intersticial, la velocidad de asentamiento (can velocity) y la caída de presión a través del filtro.

La velocidad de asentamiento denominada también “can velocity” es la velocidad adyacente dentro del filtro considerando como si no hubiese mangas colocadas, entre menor sea mejor el polvo se desprenderá de las mangas mejorando su separación. Mientras que la velocidad intersticial es la velocidad que existe entre las mangas filtrantes; si es demasiado alto el polvo no podrá desprenderse y caer de entre las mangas. Pueden ser determinadas con las siguientes expresiones [44]:

$$V_c = \frac{Q}{A_s} \quad 4.3$$

En donde:

**V<sub>c</sub>**: Velocidad de Asentamiento (can velocity) (ft/min).

**Q**: Caudal Total de Aire a través del filtro de mangas (ft<sup>3</sup>/min)

**A<sub>s</sub>**: Área seccional del filtro de mangas (ft<sup>2</sup>).

$$V_I = \frac{Q}{A_E} \quad 4.4$$

En donde:

**V<sub>i</sub>**: Velocidad Intersticial (ft/min).

**Q**: Caudal Total de Aire a través del filtro de mangas (ft<sup>3</sup>/min)

**A<sub>E</sub>**: Área espejo (ft<sup>2</sup>).

El área espejo se la determina de la siguiente forma:

$$A_E = A_S - N \frac{\pi D_b^2}{4} \quad 4.5$$

En donde:

**A<sub>E</sub>**: Área espejo (ft<sup>2</sup>).

**N**: Número total de Mangas del Filtro.

**D<sub>b</sub>**: Diámetro de la Manga (pulgadas).

En la práctica para que no se presenten problemas en el funcionamiento del filtro de mangas la velocidad de asentamiento (can velocity) debe estar dentro del rango de 150 – 210 ft/min y la velocidad intersticial entre 250 - 325 ft/min [14].

La caída de presión a través del baghouse es la medida de la resistencia del aire a medida que pasa por las mangas filtrantes y la estructura del mismo. Entre más elevada es la caída de presión mayor será la energía que deberá suministrar el ventilador para vencerla. Normalmente se expresa en milímetros de columna de agua (mm H<sub>2</sub>O) o en pulgadas de columna de agua (pulgadas

H<sub>2</sub>O) y se encuentra dentro del orden de 4" – 6" de columna de agua (100 – 150 mm de columna H<sub>2</sub>O).

Una forma de estimar la caída de presión en un filtro de mangas está definida por la siguiente expresión que relaciona el arrastre en la superficie filtrante limpia y la energía de limpieza [47]:

$$\Delta P = \frac{P_S + K_1 V_F - \sqrt{(P_S - K_1 V_F)^2 - 4w_0 V_F K_2 / K_3}}{2} + K_V V_F^2 \quad 4.6$$

En donde:

**K<sub>1</sub>**: Resistencia de la manga limpia

**V<sub>F</sub>**: Velocidad de Filtración

**K<sub>2</sub>**: Resistencia al flujo del depósito de polvo

**K<sub>3</sub>**: Coeficiente de eficiencia de limpieza de la manga

**K<sub>V</sub>**: Coeficiente de pérdida del Venturi a entrada de la manga

**w<sub>0</sub>**: Densidad de área del pastel de polvo.

**P<sub>S</sub>** esta dado en pascales (Pa) y puede ser determinada por la siguiente expresión:

$$P_S = 164 (P)^{0.6} \quad 4.7$$

En donde:

**P<sub>s</sub>**: Máxima presión estática alcanzada durante la limpieza

**P**: Presión del pulso de limpieza en kPa.

**W<sub>o</sub>** es la densidad de área del pastel de polvo el cual depende de la velocidad de filtración, la concentración a la entrada y el tiempo de filtración. Puede ser determinada por la siguiente expresión.

$$w_o = C_i V_F t_F \quad 4.8$$

En donde:

**w<sub>o</sub>**: Densidad de Área del pastel de polvos

**V<sub>F</sub>**: Velocidad de Filtración

**t<sub>F</sub>**: Tiempo de filtración.

Las constantes **K<sub>1</sub>**, **K<sub>2</sub>** y **K<sub>3</sub>** son constantes que dependen de las propiedades de la superficie del medio filtrante, las cuales se muestran en la tabla 13, y la constante **K<sub>v</sub>** tiene un valor de alrededor de 60000 Pas<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>.

**TABLA 13**  
**CONSTANTES PARA SUPERFICIES FILTRANTES**

Tratamiento de la superficie	$K_1$ (Pa s m <sup>-1</sup> )	$K_2 / K_3$ (Pa s <sup>-1</sup> )
Filtro no tratado	712	$0.674 \times 10^{10}$
Filtro Pre-quemado	613	$0.444 \times 10^{10}$
PTFE filtro laminado	1530	$1.880 \times 10^{10}$

Referencia [47]

Conociendo los siguientes datos y reemplazándolos en las ecuaciones mencionadas se obtiene los siguientes valores los cuales se resumen en las siguientes tablas.

**TABLA 14**  
**CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN**

$A_b = \pi D_b L_b$	$A_c = N_b A_b$	$V_f = Q_g / A_c$
$D_b = 6$ in	$A_b = 15,71$ ft <sup>2</sup>	
$L_b = 10$ ft	$A_c = 753,9822$ ft <sup>2</sup>	
$N_b = 48$ mangas	$V_{f1} = 22,54695$ ft / min	
$Q_{g1} = 17000$ ft <sup>3</sup> /min	$V_{f2} = 18,56808$ ft / min	
$Q_{g2} = 14000$ ft <sup>3</sup> /min		

TABLA 15

## CÁLCULO DE LA CAN VELOCITY E INTERSTICIAL

$A_E = A_S - (N_b \pi D_b^2)/4$	$V_C = Q_g / A_S$	$V_I = Q_g / A_E$
$A_S$ = 18,94685 ft <sup>2</sup>	$V_{C1} =$ 897,2468 ft / min	
$A_E$ = 9,522072 ft <sup>2</sup>	$V_{C2} =$ 738,9091 ft / min	
	$V_{I1} =$ 1785,326 ft / min	
	$V_{I2} =$ 1470,268 ft / min	

TABLA 16

## CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN A TRAVES DEL FILTRO

$\Delta P = \frac{P_S + K_1 V_F - \sqrt{(P_S - K_1 V_F)^2 - 4w_0 V_F K_2 / K_3}}{2} + K_V V_F^2$		
$P_S = 164 (P)^{0.6}$		$w_0 = C_i V_F t_F$
$P =$ 100 psi		$w_{01} =$ 0,007 kg/m <sup>2</sup>
$P =$ 688,6 kPa		$w_{02} =$ 0,006 kg/m <sup>2</sup>
$P_S =$ 8272,258 Pa		$C_i =$ 0,001 kg/m <sup>3</sup>
$K_1 =$ 1530 Pasm <sup>-1</sup>		$t_F =$ 60 s
$K_2/K_3 =$ 1,88E+10 Pas <sup>-1</sup>		$V_{f1} =$ 0,115 m/s
$K_V =$ 60000 Pas <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>		$V_{f2} =$ 0,094 m/s
		$\Delta P_1 =$ 3749 Pa
		$\Delta P_2 =$ 2197 Pa
		$\Delta P_1 =$ 15,06 Pulg. Agua
		$\Delta P_2 =$ 8,822 Pulg. Agua

De los resultados obtenidos se observa claramente que el actual filtro de mangas tipo pulse jet no está diseñado para las condiciones actuales de trabajo. Los valores de velocidad de filtración (Tabla 14) de cada sección del filtro son de 22 y 18 ft/min; estando por encima del valor para óxido de plomo recomendado en la tabla 12 de 6 ft/min. Velocidades de filtración elevadas tienen impacto directo en la caída de presión a través del filtro y un impacto directo en la vida útil de las mangas.

Así mismo analizando los resultados de can Velocity e intersticial (Tabla 15) se ve que los resultados en cada sección del filtro están muy por encima de los valores recomendados para can velocity de 150 – 210 ft/min y para velocidad intersticial de 250 – 325 ft/min. Esto genera problemas puesto que no permite que el polvo descienda hacia la tolva de recolección al momento que se realiza la limpieza ocasionando saturación prematura de las mangas.

Finalmente analizando la caída de presión a través del filtro (Tabla 16) se observa que hay valores en cada sección del filtro de 15" y 8" de columna de agua respectivamente. Los valores altos se deben a que la caída de presión está relacionada directamente con las velocidades de filtración de cada sección, puesto que al ser altas en



ambos casos es de esperarse que la resistencia del paso del aire a través del filtro sea elevada.

Resultados elevados de caída de presión tiene incidencia directa al momento de calcular la potencia del ventilador, a mayor presión mayor será el costo del ventilador.

Debido a estas condiciones de funcionamiento sub-dimensionadas del filtro de mangas ha ocasionado que las mangas se saturen mucho más rápido y su ciclo de limpieza sea más frecuente lo que genera fallas prematuras en las mangas, permitiendo el paso de material particulado hacia la atmosfera. De acuerdo a las mediciones tomadas recientemente la concentración emitida se encuentra en 2,16 y 2,26 mg Pb/m<sup>3</sup> de aire, encontrándose por encima de la norma EPA que establece que para los tres procesos operacionales las emisiones deben ser menores a 1 mg Pb/m<sup>3</sup> de aire. En la tabla 17 se muestra los valores obtenidos en las mediciones en base al método EPA 12.

**TABLA 17**

**EMISIONES DE PLOMO**

<b>Línea</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Permitido</b>	<b>Unidad</b>
1	Plomo	2.16	1	mg Pb/m <sup>3</sup>
2		2.26		

Normalmente la vida útil de las mangas cuando las condiciones de operación son normales tienen una duración de 2 años con una limpieza preventiva cada seis meses. En la Tabla 18 se resumen los costos de mantenimiento de un año de operación.

**TABLA 18**

**COSTOS DE MANTENIMIENTO DEL FILTRO MANGAS ACTUAL**

<b>Item</b>	<b>Cantidad / año</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Anual</b>
Mangas	192	\$ 87,00	\$ 16.704,00
Limpieza	4	\$ 300,00	\$ 1.200,00
<b>Total</b>			<b>\$ 17.904,00</b>

La segunda situación de riesgo está relacionada con la red de ductos que conforman el equipo de control de contaminación del aire. Las dimensiones que han sido establecidas para los ductos de transporte están sobredimensionadas y no ha sido considerado el criterio de velocidad de transporte mínima de acuerdo al material a transportar.

En la sección anterior se estableció que para transportar polvos de plomos se debe mantener una velocidad interna entre 20 – 23 m/seg (4000 – 4500 ft/min). Para verificar este valor se procedió a realizar mediciones en los ductos principales de cada línea de

acuerdo al método EPA 1 – Muestreo y Velocidad transversal en fuentes Estacionarias. En la tabla 19 y 20 se tabulan los resultados obtenidos.

**TABLA 19**

**VELOCIDADES EN DUCTO PRINCIPAL LINEA 1 – 17000 CFM**

Medición	Eje	Profundidad (%D)	Diámetro (cm)	Profundidad (cm)	Velocidad (m/s)
1	1	2,1	80	1,68	12,29
2		6,7	80	5,36	12,29
3		11,8	80	9,44	12,29
4		17,7	80	14,16	12,3
5		25	80	20	12,29
6		35,6	80	28,48	12,3
7		64,4	80	51,52	12,3
8		75	80	60	12,3
9		82,3	80	65,84	12,29
10		88,3	80	70,64	12,29
11		93,3	80	74,64	12,3
12		97,9	80	78,32	12,29

**TABLA 20**

**VELOCIDADES EN DUCTO PRINCIPAL LINEA 2 – 14000 CFM**

Medición	Eje	Profundidad (%D)	Diámetro (cm)	Profundidad (cm)	Velocidad (m/s)
1	1	2,1	80	1,68	12,17
2		6,7	80	5,36	12,17
3		11,8	80	9,44	12,16
4		17,7	80	14,16	11,51
5		25	80	20	12,17
6		35,6	80	28,48	12,19
7		64,4	80	51,52	12,19
8		75	80	60	12,19
9		82,3	80	65,84	12,19
10		88,3	80	70,64	12,17
11		93,3	80	74,64	12,19
12		97,9	80	78,32	12,19

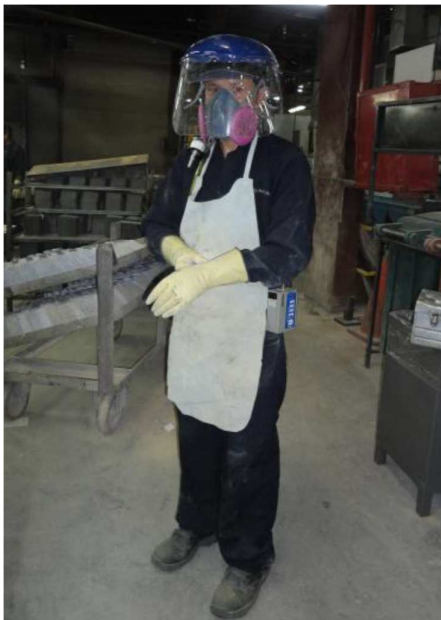
Se puede observar en los datos tabulados que los valores máximos de velocidad que se alcanzan en el interior de los ductos son del orden de 12 m/s; siendo un 40% menos que el valor recomendado. De la misma manera se midió la velocidad en ramales de forma aleatoria evidenciándose la misma condición de velocidad subestándar. A esta condición si se le adiciona el efecto de estrangulamiento que genera el filtro de mangas favorece a que exista una restricción de flujo que se ve reflejado en disminución de velocidad.

Esta situación tiene un efecto directo en la calidad de aire en el ambiente de trabajo. Como se especificó en el capítulo 3 según la normativa OSHA establece que ningún trabajador debe estar expuesto a una concentración mayor a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en un periodo de 8 horas de jornada laboral. Para verificar este valor se realizó mediciones en los tres procesos operacionales (corte de placas – armado de grupos y encajonado) en base al procedimiento NIOSH 7303. En la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos.

**TABLA 21**  
**CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN LOS TRES PROCESOS**  
**OPERACIONALES**

<b>Sitio de Muestreo</b>	<b>Concentración (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cumple</b>	<b>Permitido (µg/m<sup>3</sup>)</b>
Corte Placas Armado de Grupos	60	no	50
Encajonado	160	no	

Los resultados obtenidos indican que se está por encima del límite permitido según OSHAS por lo que es necesario trabajar con el equipo de protección personal respectivo (mascarillas, guantes) para mitigar la exposición al contaminante. Hay que mencionar que aun utilizando las protecciones respectivas no se elimina el riesgo de exposición por qué se hace prioritario atacar la causa raíz del problema. En la figura 4.8 se muestra la vestimenta típica utilizada.



**FIGURA 4.8 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL**

#### **4.3 Selección del Equipo de Control de la Contaminación del Aire.**

Como se indicó en el capítulo 2, existen diferentes factores que se deben considerar al momento de seleccionar el equipo adecuado para el controlar el contaminante que está siendo generado y teniendo como premisa principal: “Controlar la contaminación y recolectar el material para su disposición final”, los siguientes parámetros se deben tener en cuenta al momento de seleccionar el equipo:

- a. Concentración de Plomo en el ambiente de trabajo:  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , puede existir fluctuaciones.
- b. Tamaño de la partícula polvo de plomo: Diámetro promedio entre  $10 - 15 \mu\text{m}$ .
- c. Propiedades físicas y químicas del polvo de plomo: Polvo seco de baja conductividad eléctrica con una densidad promedio de  $1750 \text{ kg}/\text{m}^3$ .
- d. No higroscópico.
- e. Alta toxicidad, nocivo para salud.
- f. Características del gas de transporte:
  - Aire
  - Temperatura de operación: ambiental ( $30 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$ )
  - Presión de operación: Atmosférica.
- g. Alta eficiencia. Cumplir con estándares internacionales EPA. Se permite una descarga máxima de  $1 \text{ mg Pb}/\text{m}^3$ .

Así mismo es necesario establecer criterios que permitan seleccionar el equipo de manera objetiva. Estos parámetros son los siguientes:

- Fácil Mantenimiento
- Estructura Modular
- Desmontable
- Costo

Considerando estos parámetros y criterios de selección se ha elaborado la siguiente matriz de decisión para la selección del equipo.

**TABLA 22**  
**MATRIZ DE DECISIÓN**

Tipo de Colector	Diámetro partícula 10 $\mu\text{m}$	Eficiencia 99.9 %	Colección Seca	Flexibilidad Operación	Total
Cámara de Sedimentación	5/30	5/40	15/15	15/15	40/100
Ciclón	10/30	15/40	15/15	15/15	55/100
Filtro de Mangas	30/30	40/40	15/15	15/15	100/100
Depuradores Húmedos	30/30	40/40	0/15	10/15	80/100
Precipitador Electrostático	30/30	30/40	15/15	5/15	80/100

De la matriz se puede determinar que el equipo más idóneo es el filtro de mangas tipo pulse jet.

#### 4.4 Diseño del Equipo de Control de Contaminación del Aire

Una vez seleccionado el tipo de equipo a utilizar se procederá a diseñar el equipo considerando las condiciones actuales del sitio y el tipo de contaminante para que opere bajo condiciones estándares.



Para lograr esto es necesario tener presente que todos los complementos del equipo (sistema) deben estar diseñados de acuerdo al contaminante a controlar.

#### **4.4.1 Parámetros de diseño.**

Los parámetros de diseño se derivan del proceso productivo y de las recomendaciones basadas en estudios previos de control ambiental por contaminación por plomo. Los parámetros a ser considerados en cada uno de los complementos del equipo (sistema) son los siguientes:

##### Filtro de mangas tipo pulse – jet.

- Caudal de aire.
- Relación de filtración
- Caída de presión a través del filtro.

##### Red de ductos

- Velocidad de transporte.
- Caída de presión en la red de ductos.

##### Ventilador

- Tipo de ventilador.

- Caudal requerido.
- Potencia requerida.

#### 4.4.2 Cálculo del caudal total necesario.

Para el cálculo del caudal requerido por el filtro de mangas se procedió a reunir la información en base a experiencias y recomendaciones realizadas por el fabricante de cada maquinaria que se encuentran instaladas en los tres procesos operacionales previamente mencionados. En la tabla 23 se lista las maquinarias con su respectivo caudal requerido.

**TABLA 23**

#### **CAUDALES REQUERIDOS POR MAQUINARIA**

<b>Maquinaria</b>	<b>Caudal (CFM)</b>	<b>Caudal (m3/h)</b>
Soldado grupos # 1	5000	8495
Soldado grupos # 2	5000	8495
Soldado grupos # 3	1000	1699
Ensobradora # 1	5000	8495
Ensobradora # 2	5000	8495
Ensobradora # 3	3750	6371
Ensobradora # 4	5000	8495
Ensobradora # 5	3750	6371
<b>Total</b>	<b>33500</b>	<b>56917</b>

De acuerdo a la tabla el caudal que debe manejar el equipo es de 33500 CFM (56917 m<sup>3</sup>/h) por lo que se dimensionará un equipo que maneje 35000 CFM (59500 m<sup>3</sup>/h).

#### 4.4.3 Cálculo de caída de presión del equipo

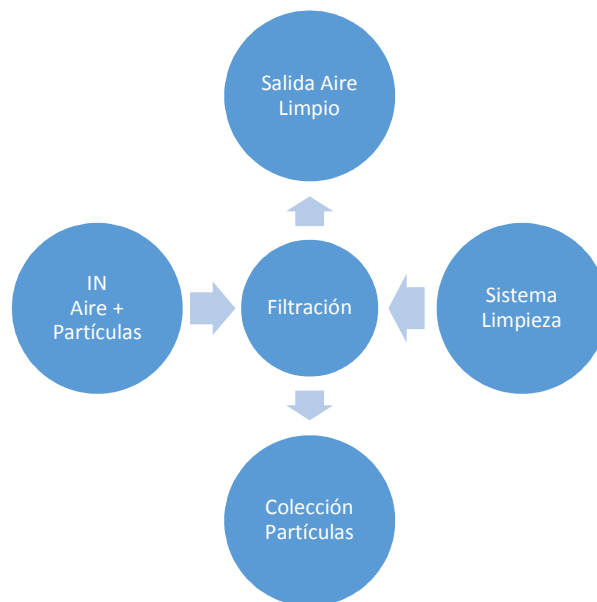
Para el cálculo de la caída de presión se utilizará la misma expresión matemática (Ec. 4.6) con la que se evaluó el filtro actual.

$$\Delta P = \frac{P_S + K_1 V_F - \sqrt{(P_S - K_1 V_F)^2 - 4w_0 V_F K_2 / K_3}}{2} + K_V V_F^2 \quad 4.6$$

En donde reemplazando valores se determina que la caída en el filtro de mangas tipo pulse – jet es de 4 pulgadas de columna de agua (100 mm de columna de agua)

#### 4.4.4 Diseño de forma

Luego de haber seleccionado el equipo de control de la contaminación ambiental y de haber descrito como funciona el equipo se describirá la forma que tendrá el mismo, teniendo en cuenta su fin específico.



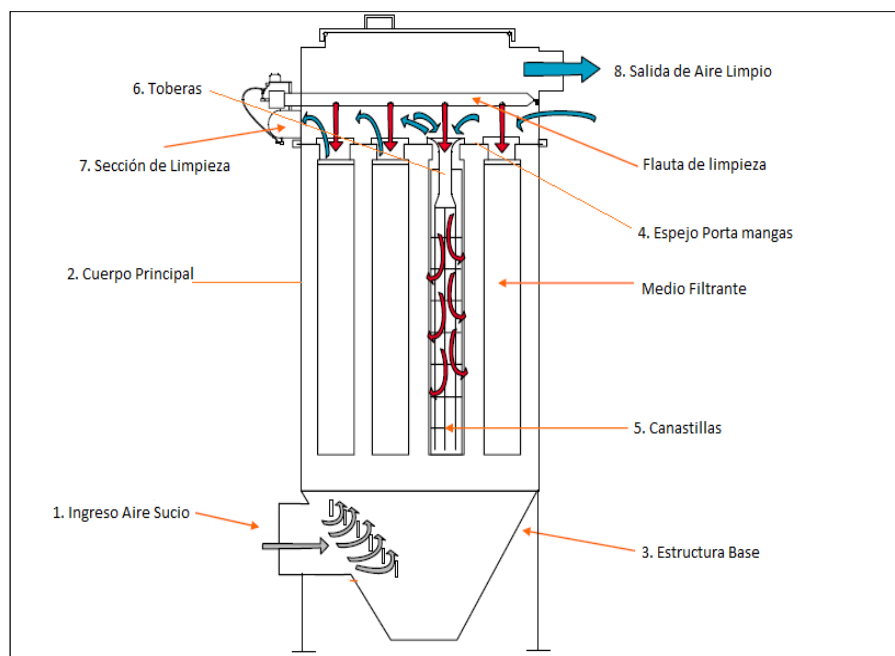
**FIGURA 4.9 ESQUEMA DE FILTRACIÓN FILTRO MANGAS**

Básicamente el contaminante es transportado y forzado a atravesar el medio filtrante mediante el sistema de succión, por lo que es necesario constar compartimientos que garanticen que dichos flujos y mecanismos de colección sucedan. Por lo tanto para la solución se ha decidido utilizar un solo filtro que posea las siguientes partes:

- 1- Ingreso de Aire Sucio: Sección de tubería que es el nexo entre el proceso industrial y el filtro de mangas tipo pulse – jet.

- 2- Cuerpo Principal: Estructura metálica que cubre el conjunto de mangas. Debe estar diseñado para soportar presión negativa.
- 3- Estructura base: Esta compuestas por columnas y vigas que soportan y conforman el esqueleto auto portante del sistema.
- 4- Espejo Portamangas: La conforma la placa metálica que soporta todo el conjunto de mangas y determina la separación física entre los flujos de aire sucios y limpios.
- 5- Canastillas: Estructura de alambre metálico que proporciona conformación y cuerpo al textil que la cubre (medio filtrante)
- 6- Toberas: Elementos ensamblados dentro de las canastillas y que ayudan a generar la onda de choque de la limpieza por aire comprimido.
- 7- Sección de Limpieza: Corresponde al tanque pulmón de aire comprimido, electroválvulas y flautas que direccionan el flujo de aire necesario para los ciclos de limpieza del filtro de mangas tipo pulse – jet.
- 8- Salida de aire limpio

- 9- Ventilador: Encargado de generar la presión negativa necesaria que permita succionar el contaminante y realizar el proceso de filtrado descargando solamente aire limpio.



**FIGURA 4.10 DISEÑO DE FORMA FILTRO DE MANGA**

#### 4.4.5 Dimensionamiento del equipo

Una vez que se ha definido el diseño de forma y los componentes que debe tener el equipo de control se procederá a dimensionar el filtro de mangas tipo pulse jet teniendo en cuenta:

- Caudal Requerido

- Velocidad de filtración
- Área filtrante
- Diámetro de mangas
- Longitud de mangas
- Recomendaciones técnicas de fabricantes de filtros de mangas.

Estos factores son los que definirán las dimensiones finales que del filtro de mangas, las cuales serán acorde al espacio disponible para la instalación del mismo. Los cálculos de esfuerzos de la estructura no son parte del alcance de este proyecto de graduación.

**Datos Iniciales:**

- Caudal requerido: 35000 CFM (59500 m<sup>3</sup>/h)
- Velocidad de filtración: 6 ft/min (1.83 m/min)
- Diámetro de mangas: 6 " (152.4 mm)
- Longitud de mangas: 3650 mm

De la ecuación 4.1 previamente descrita:

$$V_f = \frac{Q}{A_c} \quad 4.1$$

En donde:

**V<sub>f</sub>**: Velocidad de Filtración (ft/min).

**Q**: Caudal Total de Aire a través del filtro de mangas (ft<sup>3</sup>/min)

**A<sub>c</sub>**: Área Total de Filtración (ft<sup>2</sup>).

Reemplazando los valores se tiene que el área total de filtración (**A<sub>c</sub>**) del filtro de mangas pulse – jet es:

$$\mathbf{A_c: 5833 \text{ ft}^2}$$

Así mismo utilizando la ecuación 4.2:

$$\mathbf{A_c = N\pi D_b l_b} \quad \mathbf{4.2}$$

En donde:

**A<sub>c</sub>**: Área Total de Filtración (ft<sup>2</sup>).

**N**: Número total de Mangas del Filtro.

**D<sub>b</sub>**: Diámetro de la Manga (pulgadas).

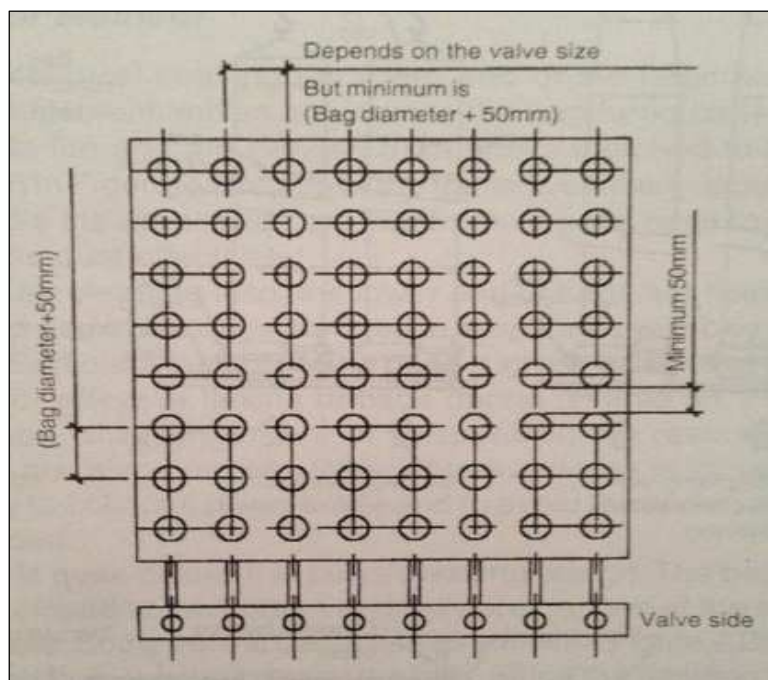
**l<sub>b</sub>**: Longitud de la manga (pies).



Despejando para número total de mangas del filtro (N) se obtiene la cantidad de mangas requeridas por el filtro de mangas tipo pulse - jet.

**N:** 310 mangas.

Con los datos obtenidos, siguiendo recomendaciones de configuración del espejo Portamangas que se muestran en la figura 4.11 se procede a dimensionar el espejo de tal forma que garantice que los valores de can velocity se encuentren dentro de 150 – 210 ft/min y para velocidad intersticial dentro de 250 – 325 ft/min [48]

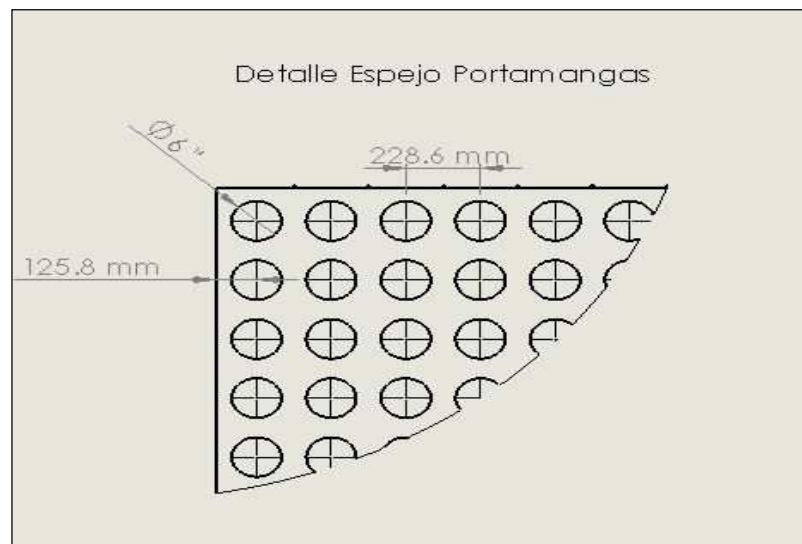


**FIGURA 4.11 RECOMENDACIONES ESPEJO PORTA  
MANGAS**

Utilizando las recomendaciones de espaciamentos entre mangas mostradas en la figura anterior se tiene la siguiente configuración:



**FIGURA 4.12 ESPEJO PORTAMANGAS 31 x 10**



**FIGURA 4.13 DETALLE ESPEJO PORTAMANGAS**

Con este arreglo se procede a calcular el can velocity y velocidad intersticial para comprobar que se encuentren dentro de los valores recomendados. Utilizando las ecuaciones 4.3, 4.4 y 4,5 se tiene los siguientes resultados:

$$V_c = 197.98 \text{ ft/min}$$

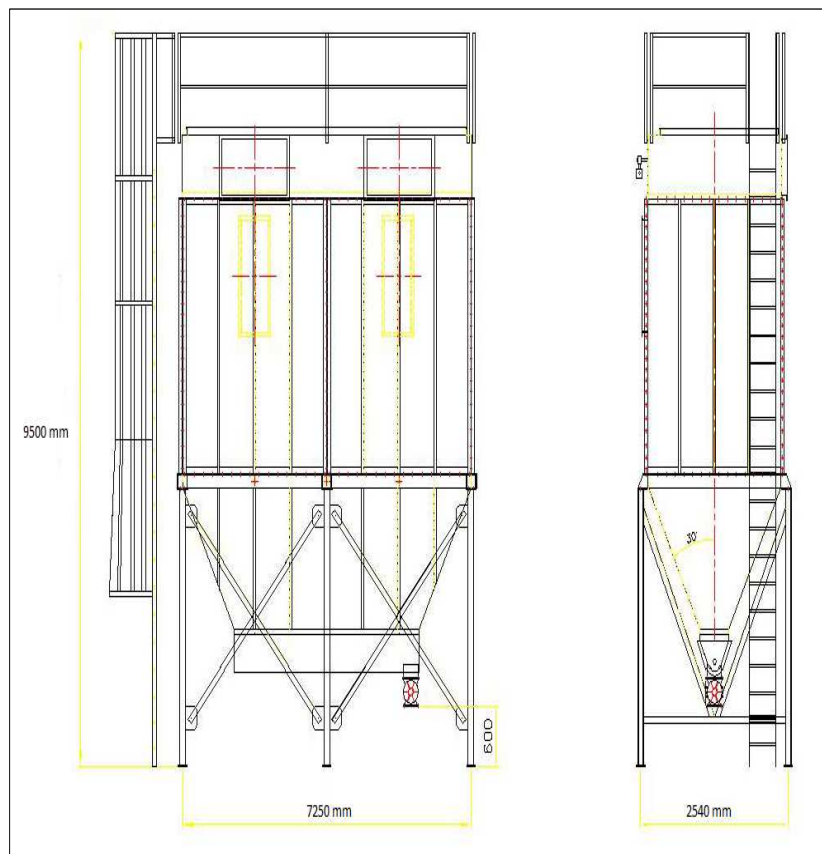
$$V_i = 301.93 \text{ ft/min}$$

Los cuales se encuentran dentro de los rangos recomendados.

Resumiendo los cálculos realizados el filtro de mangas tipo pulse – jet deberá cumplir con lo siguiente:

- Caudal: 35000 CFM.
- Área filtrante: 5833 ft<sup>2</sup>.
- Velocidad de Filtración: 6 ft/min.
- Diámetro de manga: 6 pulgadas.
- Longitud de manga: 3650 mm.
- “Can Velocity”: 197.98 ft/min
- Velocidad intersticial: 301.93 ft/min.

Las dimensiones aproximadas del equipo se muestran a continuación:



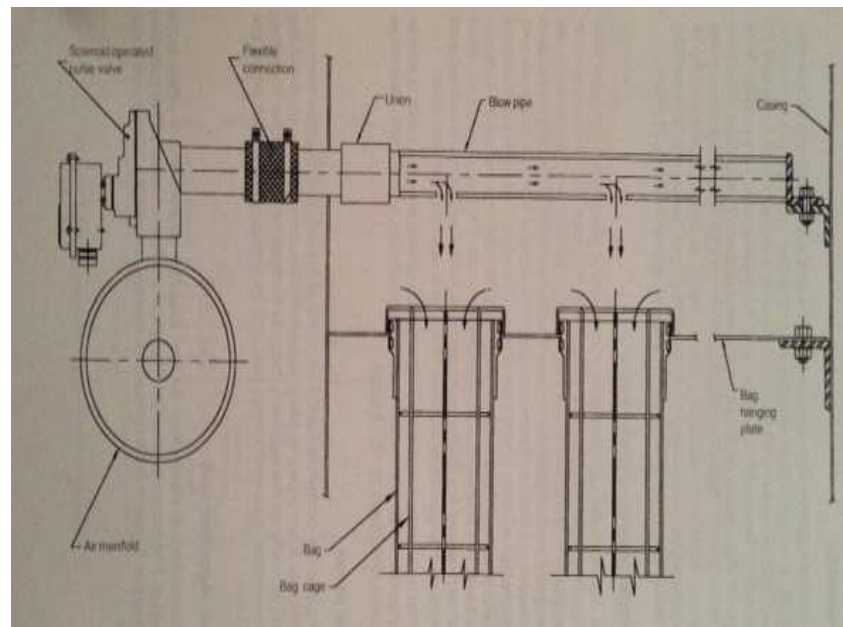
**FIGURA 4.14 DIMENSIONES PROMEDIO DEL FILTRO DE MANGAS TIPO PULSE – JET.**

#### **4.4.6 Cálculo del sistema de limpieza**

El sistema de limpieza del filtro de mangas tipo pulse – jet como se describió a inicios de este capítulo, utiliza pulsos de aire comprimido de corta duración a alta presión para limpiar las mangas. El sistema consiste de las siguientes partes [48]:

- 1- Manifold de aire comprimido.
- 2- Válvula de pulsos de aire accionada por solenoide.
- 3- Flautas de distribución de aire.
- 4- Unidad de filtro – regulación
- 5- Válvula de alivio de presión
- 6- Controlador del ciclo de limpieza.

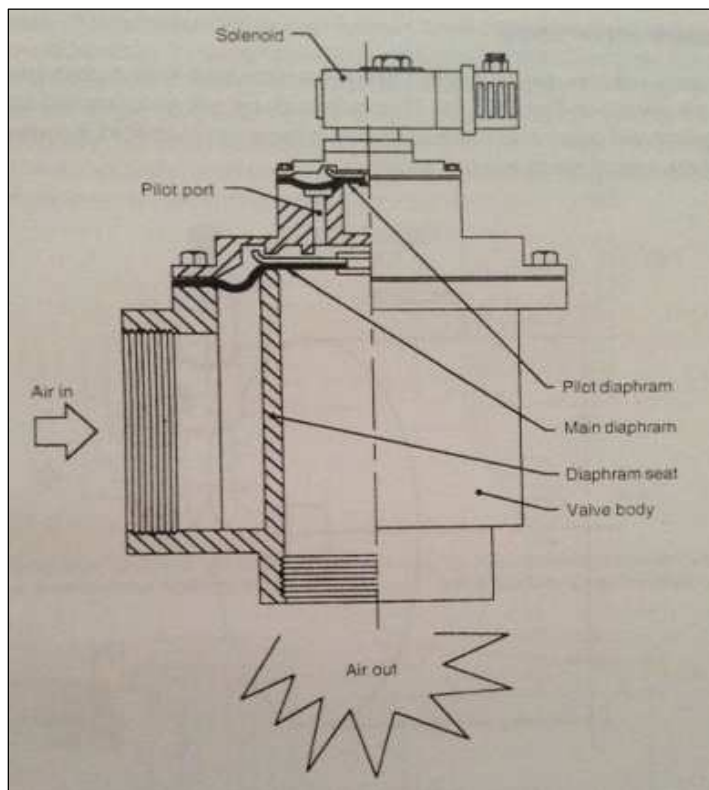
**Manifold de aire comprimido.** Mantiene la presión y la cantidad de aire comprimido en niveles requeridos. Manifold es un recipiente cilíndrico que puede tener sección transversal circular o cuadrada como se muestra en la figura 4.15. El material de construcción es acero al carbono ASTM A36. El recipiente está sujeto a presiones que pueden variar entre 30 – 100 psi, esto depende del tipo de válvula usada. El espesor del recipiente así mismo puede variar de 5 a 10 mm dependiendo de la presión interna.



**FIGURA 4.15 MANIFOLD DE AIRE COMPRIMIDO**

**Válvulas de pulsos de aire accionado por solenoide.** Estas son el corazón del sistema. Consisten en un diafragma principal, un diafragma piloto y un solenoide como se muestra en la figura 4.16. Inicialmente se encuentra cerradas y cuando reciben la señal de apertura permiten el paso del flujo del aire a las flautas de distribución de aire y a su vez a las mangas. Este proceso ocurre de forma muy rápida en el orden de los milisegundos.

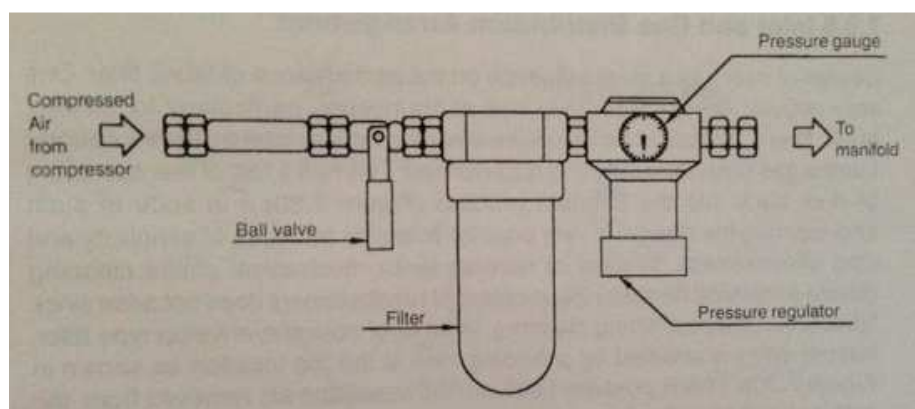
La válvula mostrada en la figura es del tipo ángulo recto y tamaños comunes de este tipo de válvulas son: 25, 40 y 80 mm. Una manga puede manejar tranquilamente entre 12 – 16 mangas.



**FIGURA 4.16 VÁLVULA DE DIAFRAGMA**

**Flautas de Distribución de aire.** Estas son conectadas a la salida de las válvulas de pulso de aire accionado por solenoide y se expanden a lo largo de una fila de mangas. Cada flauta tiene boquillas que dependerán del número de mangas (ver figura 4.15)

**Unidad de filtro – regulación.** Es necesario mantener limpio el aire de servicio y poder regular la presión cuando sea necesario. Por esta razón una unidad de mantenimiento denominada de filtro regulación es conectada al Manifold de aire comprimido como se muestra en la figura 4.17.



**FIGURA 4.17 UNIDAD DE FILTRO - REGULADOR**

**Controlador del ciclo de limpieza.** Es el dispositivo que controla el accionamiento de las válvulas de diafragma. Es configurable y comúnmente se lo programa para que inicie su ciclo de limpieza cuando alcance una caída de presión establecida.

Una vez descrito los componentes que conforman el sistema de limpieza, del arreglo propuesto de 31 x 10 (figura 4.12), se



determina que se requieren un total de 31 válvulas de diafragma accionadas por solenoide las cuales van a controlar un total de 10 mangas cada una.

De acuerdo a recomendaciones de fabricantes de filtro de mangas, el diámetro de la válvula de diafragma sería de 1 1/2" y de la siguiente tabla se escoge el modelo VPN 214.

**TABLA 24**

**VÁLVULAS DE DIAFRAGMA MECAIR**

TYPE	Port size Ø	N° Diaph.	Pressure range (bar)		Weight Kg.	Coil	Kv	Cv
			min.	max				
VNP206	3/4"	1	0,5	7,5	0,55	YES	10	11,6
VNP208	1"	1	0,5	7,5	0,65	YES	21	24,4
VNP212	1 1/2"	1	0,5	7,5	1,4	YES	37	43,0
VNP214	1 1/2"	2	0,5	7,5	1,5	YES	44	51,2
VNP216	2"	2	0,5	7,5	2,5	YES	78	90,7
VNP220	2 1/2"	2	0,6	7,5	3,3	YES	96	112
VNP224	3"	2	0,6	5	7,55	YES	308	358
VEM206	3/4"	1	0,5	7,5	0,25	NO	10	11,6
VEM208	1"	1	0,5	7,5	0,35	NO	21	24,4
VEM212	1 1/2"	1	0,5	7,5	1,1	NO	37	43,0
VEM214	1 1/2"	2	0,5	7,5	1,2	NO	44	51,2
VEM216	2"	2	0,5	7,5	2,2	NO	78	90,7
VEM220	2 1/2"	2	0,6	7,5	3	NO	96	112
VEM224	3"	2	0,6	5	7,2	NO	308	358

#### **4.4.7 Cálculo de la potencia del ventilador**

El ventilador que va a ser utilizado en el equipo de control de contaminación del aire será de tipo centrífugo por su rendimiento manejando grandes caídas de presión y caudales moderados. La forma de los álabes del caracol que conforma el ventilador serán curvados hacia atrás. Esto se debe a que el ventilador está después del filtro de mangas creando el efecto succión y no existe riesgo de estar expuesto a material particulado constante, además reduce los niveles de ruido en áreas circundantes.

Para garantizar un flujo constante y una operación estándar el ventilador deberá vencer fuerzas opuestas denominadas “pérdidas del sistema”. Estas pérdidas del sistema son las restricciones inherentes en cada una de las partes del equipo de control de contaminación del aire (sistema) y son las siguientes:

- Pérdidas en el filtro de mangas
- Pérdidas en la red de conductos (Accesorios, acoples, etc.)

Con los datos que se tiene hasta el momento y asumiendo un valor pérdidas en el sistema por 10 pulgadas (6 de la red de ductos y 4 del filtro de mangas) de columna de agua, utilizando la ayuda del

software de selección Fanulator de la compañía Aerovent se tiene que la potencia necesaria del ventilador es de 72 HP. En la figura 4.18 (Apéndice H) se muestra la gráfica de selección del software.



**FIGURA 4.18 SELECCIÓN PRELIMINAR DEL VENTILADOR**

Esto se comprobará en la sección siguiente en donde se verificará la caída de presión en la red ductos y el caudal necesario.

#### 4.4.8 Cálculo de la caída de presión en la red de ductos

Para la red de ductos se ha planteado una nueva distribución de ductos que cumplan con la velocidad recomendada mínima de 20

m/s (Tabla 11), la cual garantizará que la partícula de polvo de plomo no se sedimente. Para los cálculos y diseños de los diámetros de los conductos se ha utilizado el método de velocidad constante, recomendado para el manejo de polvos, partículas en general [21]. Antes de empezar a calcular el sistema de ductos es necesario mencionar ciertos conceptos básicos de mecánica de fluidos usados para describir el flujo de aire.

**Densidad del aire.** La densidad del aire ( $\rho$ ) está definida como su masa por unidad de volumen y esta expresada en kilogramos por metro cúbico en el sistema métrico y en libras masa por pie cúbico en el sistema inglés. En condiciones estándares a presión atmosférica y una temperatura de 20°C y cero contenidos de agua tiene un valor de 0.075 lbm/ft<sup>3</sup>. Para efectos y cálculos de esta tesis se considerará que las condiciones del flujo del aire no varían y la densidad se mantiene constante.

**Flujo Volumétrico.** El flujo volumétrico, muchas veces referido como caudal, está definido como el volumen o la cantidad de aire que pasa por una zona por unidad de tiempo. Está relacionado con la velocidad media del fluido y la sección transversal por la siguiente ecuación:

$$Q = V * A \quad 4.10$$

En donde:

**Q:** Caudal total (ft<sup>3</sup>/min).

**V:** Velocidad del aire (ft/min)

**A:** Área transversal (ft<sup>2</sup>)

Aire o cualquier fluido siempre fluye de una región de alta presión a una región de baja presión en ausencia de trabajo adicional.

**Presión estática.** La presión estática (SP) está definida como la presión en el ducto que tiende a reventar o colapsar el ducto y esta expresada en pulgadas de columna de agua (in wg). Puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica local y debe ser medida perpendicular al flujo de aire.

**Presión dinámica.** La presión dinámica (VP) está definida como la presión requerida para acelerar el aire desde una velocidad cero a una velocidad (V) y es proporcional a la energía cinética de la corriente de aire. La relación entre la velocidad (V) y la presión dinámica (VP) está dada por:

$$V = 1096 \sqrt{\frac{VP}{\rho}} \quad 4.11$$

En donde:

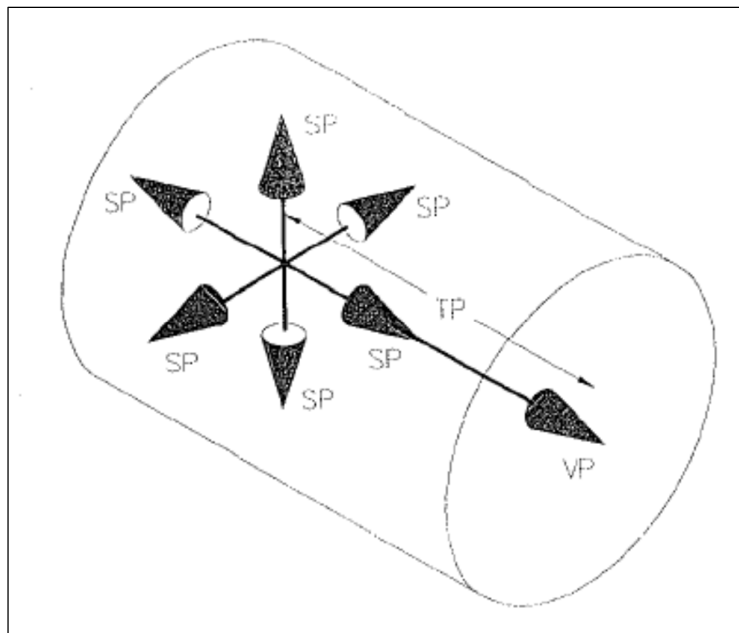
**V:** Velocidad del aire (ft/min)

**VP:** Presión dinámica (in wg)

Si aire estándar es asumido en el ducto la expresión anterior queda como:

$$VP = \left(\frac{V}{4005}\right)^2 \quad 4.12$$

La presión dinámica siempre es en la dirección del flujo y es positiva. La figura 4.19 muestra gráficamente la diferencia entre presión estática y presión dinámica.



**FIGURA 4.19 DIFERENCIA ENTRE SP Y VP**

**Presión total.** La presión total (TP) está definida como la suma algebraica de la presión estática y la presión dinámica.

$$TP = SP + VP \quad 4.13$$

La presión total puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica y es una medida del contenido de energía en la corriente de aire, siempre decayendo a medida que el flujo va recorriendo a través del ducto. El único lugar donde esta se incrementa es a través del ventilador.

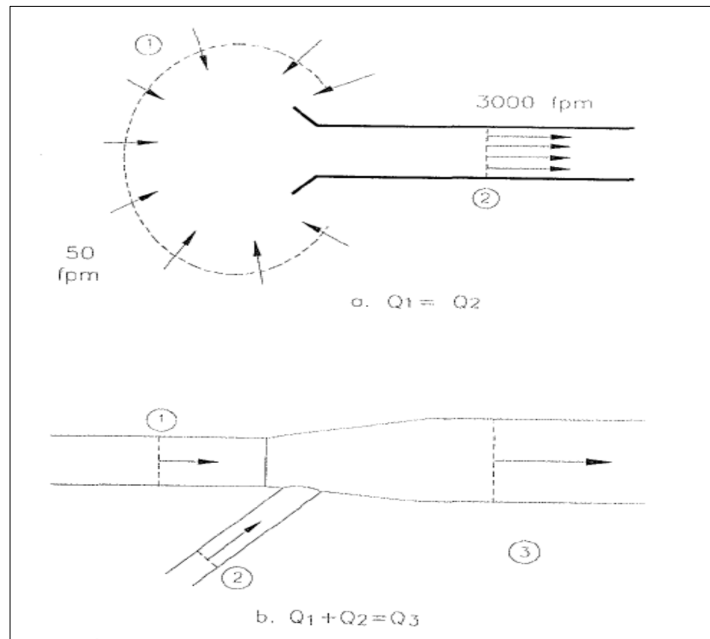
**Principios de flujo de aire.** Dos principios básicos de mecánica de fluidos gobiernan el flujo de aire en los sistemas de ventilación industrial: conservación de masa y conservación de la energía. De acuerdo a estos se han establecido los siguientes asunciones que serán referencia para el cálculo de esta tesis.

- 1- Los efectos de transferencia de calor son despreciables. Debido a que la temperatura del aire dentro del ducto es la misma que la de sus alrededores.
- 2- Efectos de compresibilidad son despreciables. Esto se debe a que la caída de presión promedio desde el inicio del sistema hasta el ventilador es menor de 20 pulgadas de columna de agua.
- 3- El aire se asume que es seco.
- 4- El peso y volumen del contaminante en la corriente de aire es ignorado.

La conservación de masa requiere que el cambio neto de masa en el flujo sea cero. Con lo previamente asumido, la densidad se mantendrá constante y el cambio neto de flujo de aire ( $Q$ ) será cero. Por lo tanto el flujo de aire que entre en la campana será el mismo que pase a través del ducto. En la figura 4.20 se ilustra este



concepto y lo mismo sería para las derivaciones en el sistema de ductos.



**FIGURA 4.20 FLUJO DE AIRE EN VARIAS SITUACIONES**

La conservación de la energía establece que todos los cambios de energía deben ser contabilizados para el flujo de aire que fluye de un punto a otro. En términos de presión definidos previamente, este principio puede ser expresado como:

$$TP1 = TP2 + h1 \quad 4.14$$

$$SP1 + VP1 = SP2 + VP2 + h1 \quad 4.15$$

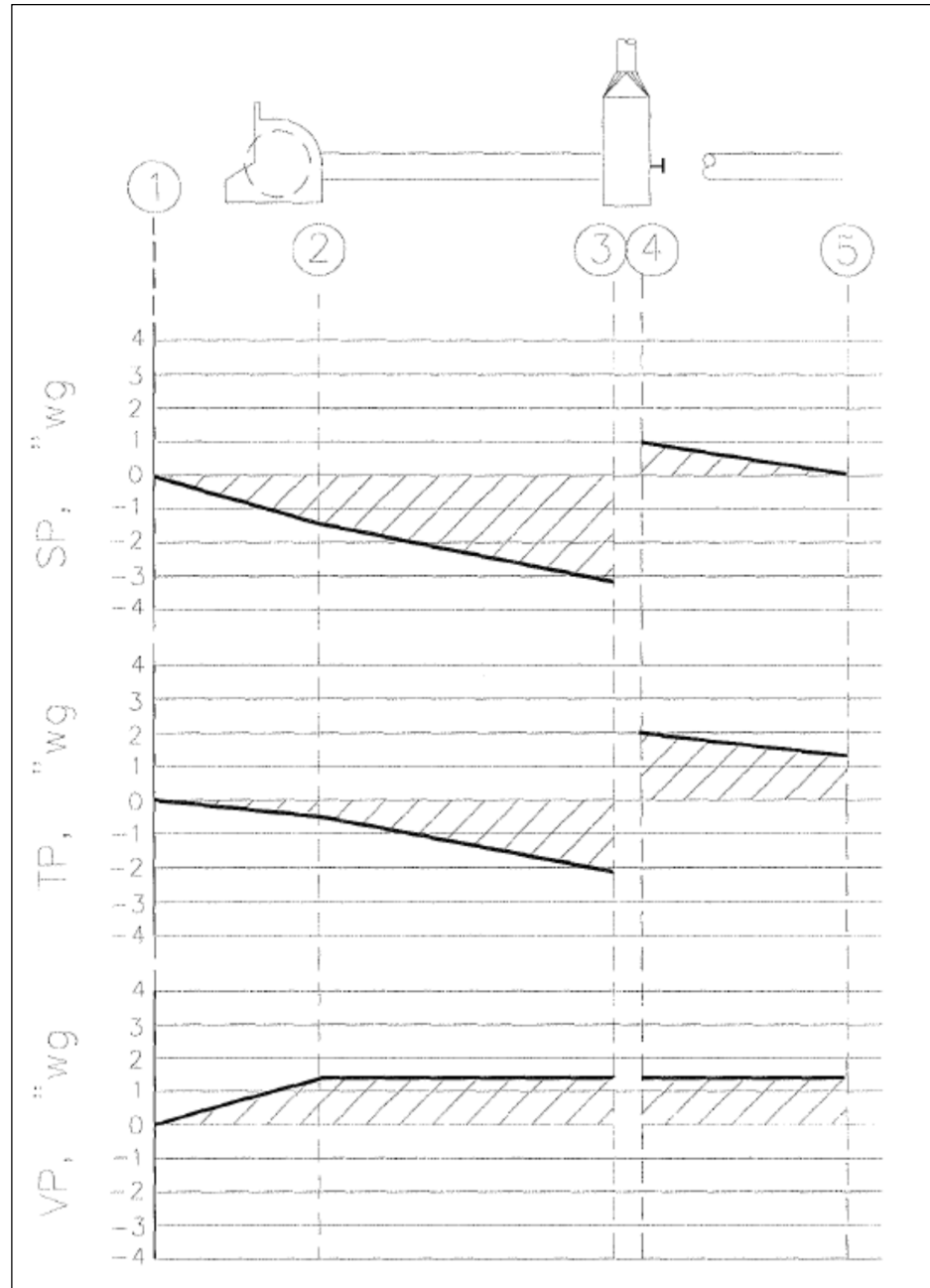
Donde:

El índice 1: algún punto aguas arriba flujo

El índice 2: algún punto aguas abajo en el flujo de aire

$h_1$ : Todas las pérdidas de energía encontradas por el aire mientras fluye del punto de aguas arriba hacia aguas abajo.

La aplicación de estos principios se pueden observar en la figura 4.21.



**FIGURA 4.21 SISTEMA TÍPO DE VENTILACIÓN INDUSTRIAL**

**Pérdidas en ductos.** Existen dos componentes que influyen en la caída de presión total en una red de ductos:

1- **Pérdidas por fricción.** Pérdidas por fricción en ductos son una función de la velocidad dentro del ducto, diámetro del ducto, densidad del aire, viscosidad del aire y la rugosidad de la superficie interna del ducto. Los efectos de velocidad, diámetro, densidad y viscosidad están combinados dentro del número de Reynolds (Re) y está dado por:

$$Re = \frac{\rho * d * V}{\mu} \quad 4.16$$

En donde:

$\rho$  = Densidad del aire

$d$  = Diámetro

$V$  = Velocidad

$\mu$  = Viscosidad del aire

El efecto de rugosidad superficial está dado por la rugosidad relativa la cual es la razón entre la rugosidad de la pared del material del ducto ( $k$ ) por el diámetro. Algunos valores estándares se muestran en la tabla 25.

**TABLA 25**  
**DIFERENTES VALORES DE K**

<b>Material Ducto</b>	<b>Rugosidad (k), pies</b>
Galvanizado	0.00055
Acero al Carbono	0.00015
Aluminio	0.00015
Acero Inoxidable	0.00015
Ducto Fléxible (Alambres expuestos)	0.01005
Ducto Fléxible (Alambres cubiertos)	0.00301

Referencia [21]

L.F. Moody combino estos efectos dentro un simple diagrama comúnmente llamada diagrama de Moody (Apéndice E) y conociendo ambos, el número de Reynolds y la rugosidad relativa, el coeficiente de fricción (f) puede ser encontrado.

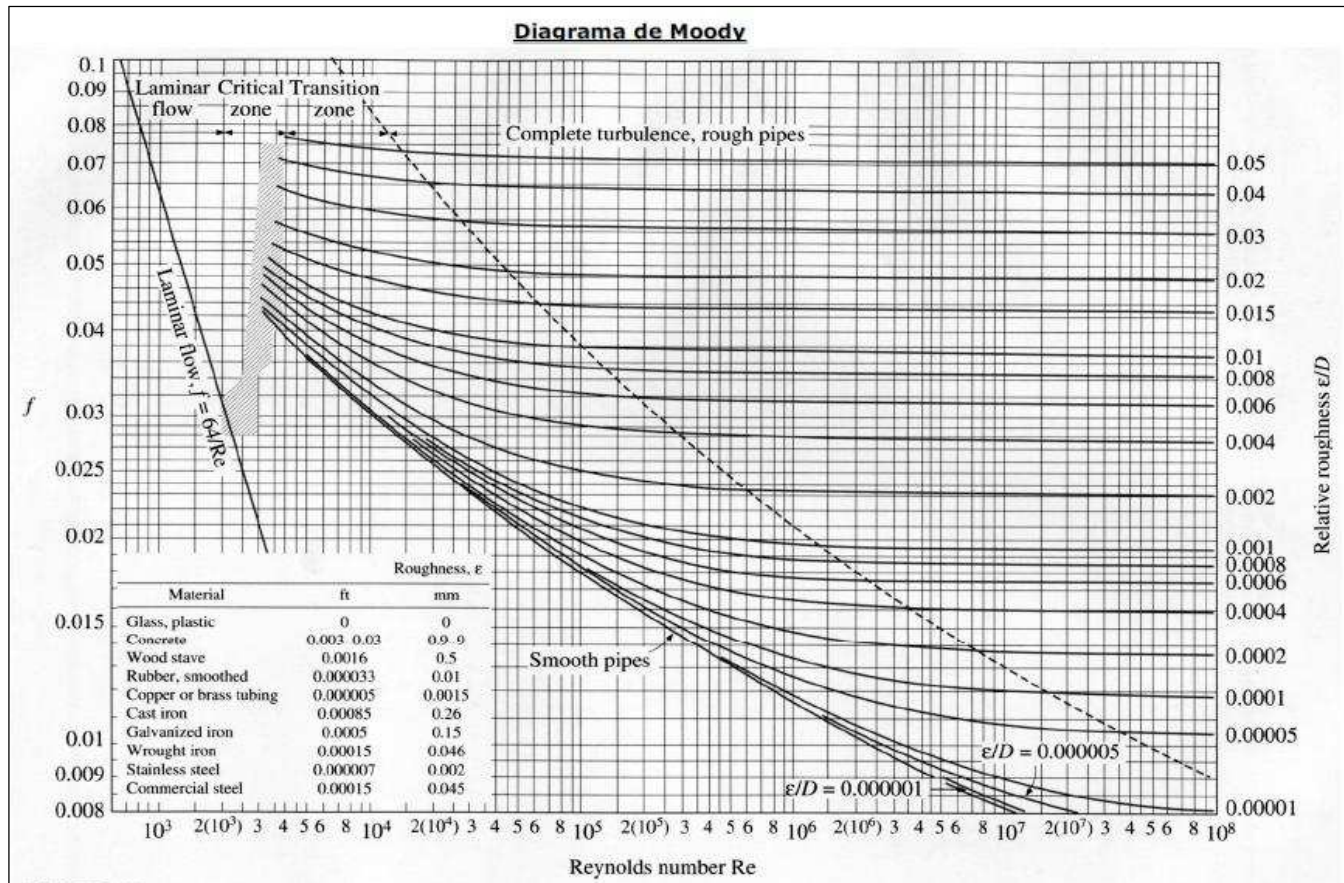


FIGURA 4.22 DIAGRAMA DE MOODY

Una vez determinado el coeficiente de fricción es utilizado en la ecuación de Darcy – Weisbach para determinar las pérdidas promedio por fricción en los ductos.

$$h_f = f \frac{L}{d} * VP \quad 4.17$$

En donde:

$h_f$ : Pérdidas por fricción en ductos (in wg)

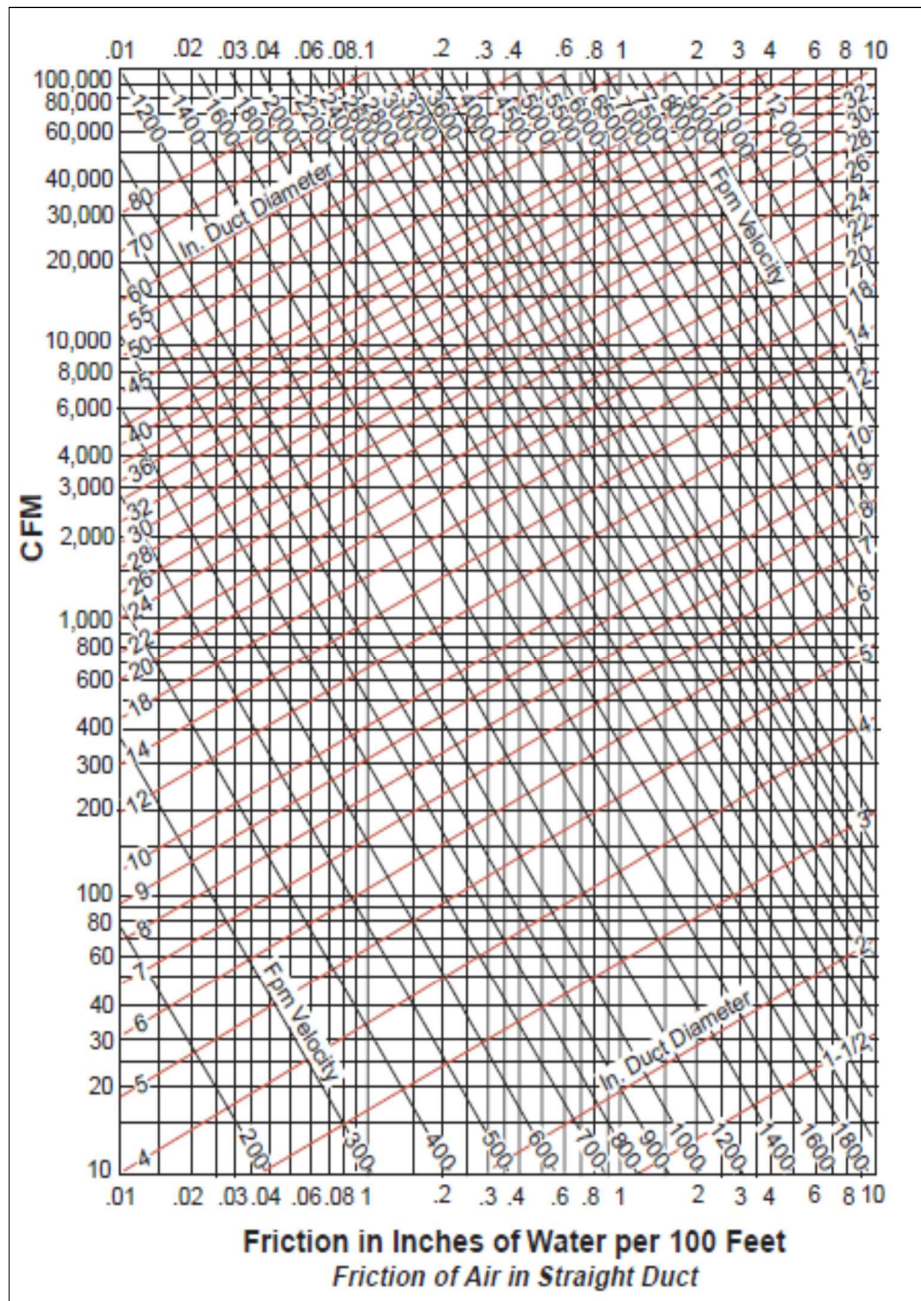
$f$ : Factor de fricción del diagrama de Moody (adimensional).

$L$ : Longitud del ducto en pies (ft).

$D$ : Diámetro del ducto en pies (ft)

$VP$ : Presión dinámica (in wg)

Para los cálculos pertinentes en esta tesis se utilizará la gráfica mostrada en la figura 4.23 (Apéndice F), que de forma sencilla relacionando velocidad, diámetro y caudal de aire se obtiene las pérdidas por fricción por cada cien pies de ducto.



**FIGURA 4.23 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN CADA 100 PIES DE DUCTO.**

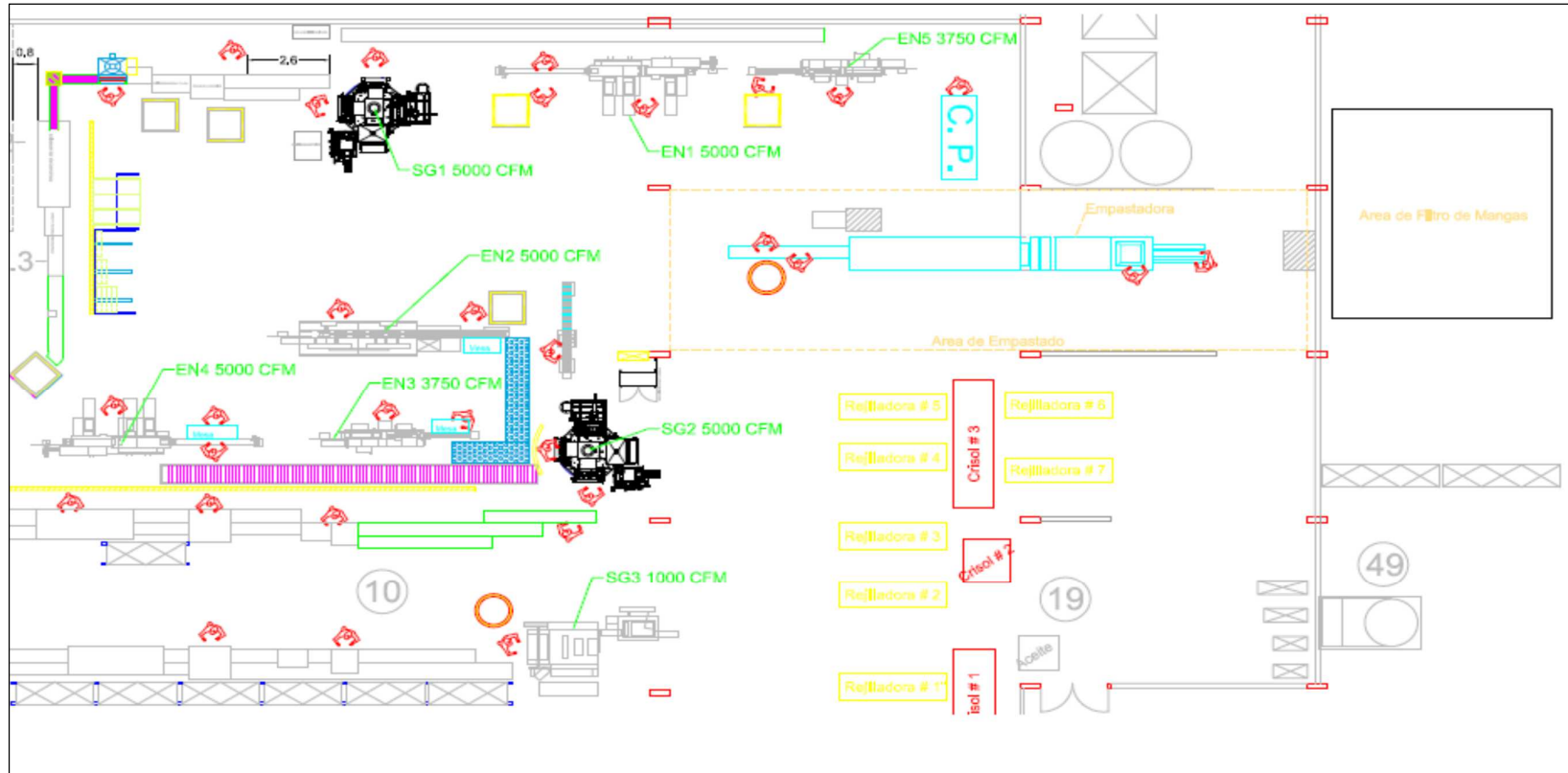


2- **Pérdidas en accesorios.** Los accesorios como codos, bifurcaciones, reducciones, entradas, etc. También ocasionarán una pérdida de la presión final del sistema. La caída de presión de estos accesorios está dada por un coeficiente de pérdida ( $F$ ) multiplicado por la presión dinámica ( $VP$ ).

$$h_{en} = F_{en} * VP \quad 4.18$$

En el apéndice H se encuentran diferentes tablas que especifican el coeficiente de fricción de acuerdo al accesorio utilizado. Estas serán utilizadas en los cálculos de esta tesis.

Una vez que se ha establecido los conceptos necesarios se procederá a calcular la caída de presión en la red de ductos y su dimensionamiento. Entonces partiendo de la configuración de la maquinaria en piso planta (figura 4.24) en donde están ubicando los caudales necesarios en cada punto se tiene el siguiente esquema sobre el cual se realizará todos los cálculos respectivos (figura 4.25).



**FIGURA 4.24 DISTRIBUCIÓN MAQUINARIAS EN PISO PLANTA**



Resumiendo el esquema anterior mostrado se tiene lo siguiente:

**TABLA 26**  
**COMPONENTES DE LA RED DE DUCTOS**

Componentes de la red de ductos					
Ramal	Caudal (cfm)	Longitud (m)	Codos	Entradas	Entradas (Y)
1 - a	2500	7.74	2 - 90°	-	-
2 - a	2500	3.38	1 - 90°	1 - 45°	-
a - c	5000	5.24	-	-	-
1:2- b	1000	2.53	-	-	1 - 60°
4:5 - b	2000	2.26	1 - 45°	1 - 45°	1 - 60°
b - c	3000	2.43	1 - 90°	1 - 30°	-
c - e	8000	1.56	-	-	-
3 - d	1000	2.53	-	-	-
6 - d	1000	2.26	1 - 45°	1 - 45°	-
d - e	2000	2.43	1 - 90°	1 - 30°	-
e - g	10000	7	-	-	-
1:2 - f	1500	2.6	-	-	1 - 60°
4 - f	750	3	1 - 45°	1 - 45°	-
f - g	2250	3.06	1 - 90°	1 - 30°	-
g - i	12250	1.51	-	-	-
3 - h	750	2.6	-	-	-
5 - h	750	3	1 - 45°	1 - 45°	-
h - i	1500	3.06	1 - 90°	1 - 30°	-
i - v	13750	13.25	1 - 90° 1 - 45°	1 - 45°	-
6 - j	1000	2.9	1 - 45°	1 - 45°	-
5:4 - j	2000	1.35	-	-	1 - 60°
j - k	3000	7.66	1 - 90° 1 - 45°	-	-
1 - k	2000	4.3	1 - 90°	1 - 45°	-
2:3 - l	3000	4.3	1 - 90°	1 - 45°	1 - 60°
l - r	8000	4.15	-	-	-
3 - n	1000	2.9	1 - 90°	-	-
1:2 - n	1000	1.35	1 - 45°	1 - 45°	1 - 60°
n - p	2000	8.42	-	-	-
3 - ñ	750	2.6	-	-	-
5 - ñ	750	3	1 - 45°	1 - 45°	-
ñ - p	1500	1.45	1 - 45°	1 - 45°	-
p - q	3500	1.43	-	-	-
1:2 - o	1500	2.6	-	-	-
4 - o	750	3	1 - 45°	1 - 45°	-

Componentes de la red de ductos					
Ramal	Caudal (cfm)	Longitud (m)	Codos	Entradas	Entradas (Y)
o - p	2250	1.43	1 - 45°	1 - 45°	-
q - r	5750	7.11	1 - 45°	1 - 45°	-
r - u	13750	7.66	-	-	-
1 - s	2500	5.1	1 - 90°	-	-
2 - s	2500	5.37	1 - 90°	1 - 30°	-
s - t	5000	2.72	-	-	-
1 - t	1000	14.6	1 - 90° 1 - 45°	1 - 45°	-
t - u	6000	2.6	-	1 - 30°	-
u - v	19750	6.55	-	-	-
v - BH	33500	13.2	1 - 90°	1 - 30°	-

La tabla 26 permite visualizar de manera rápida como está configurada la red y establecer su correcto dimensionamiento.

El método de velocidad constante establece que se debe iniciar desde el punto más alejado de la red de conductos, siendo este ramal 6 – j se tiene lo siguiente:

#### **Ramal 6 – j.**

Del ramal 6 – j se puede obtener los siguientes datos a primera mano:

#### Datos:

Q = 1000 CFM.

V = 4500 ft/min (20 m/s).

L = 2.90 m (9.51 ft).

Reemplazando estos valores en las ecuaciones 4.10 se tiene:

$$Q = V * A \quad 4.10$$

$$A = Q/V$$

$$A = 1000/4500$$

$$A = 0.22 \text{ ft}^2 \text{ (Ducto Circular)}$$

$$d = 24 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \text{ (pulgadas)}$$

$$d = 6.38 \text{ ''}$$

$$d = 6 \text{ '' (seleccionado)}$$

Como el diámetro seleccionado es menor que de los resultados se calcula la nueva velocidad de transporte para el ramal 6 – j, dando un valor de 5093 ft/min. Reemplazando la nueva velocidad de transporte en la ecuación 4.12 se tiene:

$$VP = \left( \frac{V}{4005} \right)^2 \quad 4.12$$

$$VP = \left( \frac{5093}{4005} \right)^2$$

$$VP = 1.62 \text{ '' columna de agua.}$$

Como la entrada es una campana con un ángulo de 30°, el coeficiente de entrada  $f$ , es 0.08 (ver Apéndice G) y reemplazando en la ecuación 4.18 se tiene:

$$h_{en} = F_{en} * VP \quad 4.18$$

$$h_{en} = 0.08 * (1.62)$$

$$h_{en} = 0.13 \text{ " columna de agua}$$

Las pérdidas por fricción se utilizará la figura 4.21, que en el Apéndice H se muestra de manera ampliada. Entrando a la tabla con la velocidad y el caudal de diseño se tiene que las pérdidas por fricción son:

$$h_{fricción} = 8.29 \text{ " columna de agua / 100 ft de ducto}$$

$$h_{fricción} = \frac{8.29 * 9.51}{100}$$

$$h_{fricción} = 0.79 \text{ " columna de agua}$$

En este tramo se tiene un codo de 45° y una unión de 45° de los cuales sus coeficientes de fricción  $f$ , son 0.095 y 0.28 respectivamente. Aplicando la ecuación 4.18 se tiene:

$$h_{accesorios} = F_{en} * VP \quad 4.18$$

$$h_{\text{accesorios}} = (0.095 + 0.28) * 5093$$

$$h_{\text{accesorios}} = 0.61 \text{ " columna de agua}$$

Aplicando la ecuación 4.15 se determina la presión estática en este tramo considerando coeficientes de fricción por entradas, accesorios tales como, codos, uniones y bifurcaciones en Y.

$$SP1 + VP1 = SP2 + VP2 + h1 \quad 4.15$$

$$SP6 + VP6 = SPj + VPj + h_e + h_{\text{fricción}} + \Sigma h_{\text{accesorios}}$$

$$SP_{6-j} = -VPj - h_e - h_{\text{fricción}} - \Sigma h_{\text{accesorios}}$$

$$SP_{6-j} = -1.62 - 0.13 - 0.79 - 0.61$$

$$SP_{6-j} = -3.14 \text{ " columna de agua}$$

#### **Ramal 5:4 - j**

Aplicando el mismo razonamiento anterior se obtiene que la presión estática es:

$$SP_{5:4-j} = -2.53 \text{ " columna de agua}$$

Se puede ver que la presión estática  $SP_{6-j}$  es diferente que la presión estática  $SP_{5:4-j}$ . El método de velocidad constante establece que para asegurar una velocidad de transporte constante



en cada punto de unión, la presión estática de los puntos que convergen debe ser la misma; en caso de que no ocurra, el caudal de aire debe ser corregido en el ramal con la menor presión estática. Esta corrección se la realiza con la siguiente expresión:

$$Q_{\text{corregido}} = Q \sqrt{\frac{SP_{\text{mayor}}}{SP_{\text{menor}}}} \quad 4.19$$

Aplicando esta ecuación al ramal 5:4 – j por ser el de menor caída de presión se tiene:

$$Q_{5:4-j \text{ corregido}} = 2000 \sqrt{\frac{3.14}{2.53}}$$

$$Q_{5:4-j \text{ corregido}} = 2228 \text{ CFM.}$$

Con esta corrección se cumple la condición de presiones estáticas en el punto de unión.

El dimensionamiento de los otros tramos se realizó siguiendo el procedimiento anterior, teniendo en cuenta la condición que en todos los puntos de unión las presiones estáticas deben ser iguales. Resumiendo los resultados se tiene la tabla 27 que muestra las dimensiones de cada tramo y su respectiva caída de presión.

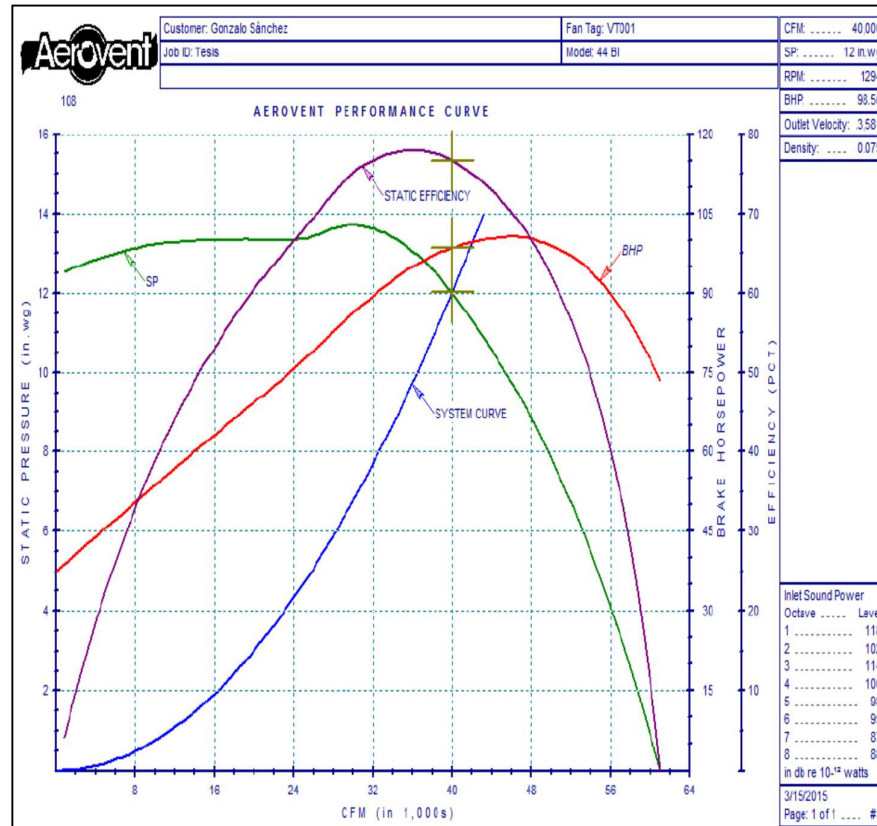
**TABLA 27**  
**DIMENSIONES DE LA RED DE DUCTOS**

Ramal	Largo (m)	D(pulg)	SP (inH <sub>2</sub> O)	V(ft/min)	Q(CFM)
6 - j	2.9	6	3.14	5093	1000
5:4 - j	1.35	8.5	3.14	5654	2228
j - k	7.66	11	4.46	4891	3228
1 - k	4.3	8.5	4.46	5431	2140
k - l	4.15	14	4.84	5021	5368
2:3 - l	4.3	10.5	4.84	5394	3244
l - r	4.15	18	6.41	5464	9656
3 - n	2.9	6	4.11	5093	1000
1:2 - n	1.35	6	4.11	5649	1109
n - p	8.42	9	5.32	4774	2109
3 - ñ	2.6	5.5	3.37	4546	750
5 - ñ	3	5.5	3.37	4995	824
ñ - p	1.45	7	5.32	6320	1689
p - q	1.43	12	5.46	4836	3798
1:2 - o	2.6	7.5	3.37	4993	1532
4 - o	3	5.5	3.37	4546	750
o - q	1.43	9	5.46	5865	2591
q - r	7.11	16	6.41	4576	6389
r - u	7.66	25	6.70	4707	16045
1 - s	5.1	10	3.28	4584	2500
2 - s	5.37	9.5	3.28	5584	2748
s - t	2.72	11.5	5.02	8207	5920
1 - t	14.6	6.5	5.02	4340	1000
t - u	2.6	16.5	6.70	5178	7689
u - v	6.55	31	6.88	4528	23734
1 - a	7.74	10	3.83	4584	2500
2 - a	4.48	9.5	3.83	5584	2749
a - c	5.24	14.5	4.44	4699	5388
1:2 - b	2.53	6	3.66	5093	1000
4:5 - b	2.26	8.5	3.66	5354	2110
b - c	2.43	11	4.44	4712	3110
c - e	1.56	18.5	4.52	4553	8498
3 - d	2.53	6	3.40	5093	1000

6 - d	2.26	6	3.40	5455	1071
d - e	2.43	9	4.52	4837	2137
e - g	7	20.5	4.86	4640	10635
1:2 - f	2.6	7.5	3.37	4993	1532
4 - f	3	5.5	3.37	4546	750
f - g	3.06	9.5	4.86	4952	2438
g - i	1.51	23	4.92	4531	13073
3 - h	2.6	5.5	3.37	4995	824
5 - h	3	5.5	3.37	4546	750
h - i	3.06	8	4.92	4825	1684
i - v	13.25	24.5	6.88	4783	15659
v - BH	13.2	40	7.61	4514	39393

El caudal total necesario del sistema para mantener una velocidad de transporte mínima de 4500 ft/min es de 40000 CFM y la presión estática en la red de ductos es de 7.61 pulgadas de columna de agua.

Seleccionando nuevamente el ventilador utilizando el software de selección Fanulator con el caudal requerido por el sistema de 40000 CFM y la presión estática del sistema de 12 pulgadas de columna de agua se tiene que la potencia requerida por el ventilador es de 100 HP. En la figura 4.25 (Apéndice I) se muestra la gráfica del sistema.



**FIGURA 4.26 GRÁFICA DE SELECCIÓN DEL VENTILADOR**

Una vez culminado el análisis de cada parte del equipo de contaminación del aire, en la tabla 28 se muestra un resumen del mismo que será la base para la estimación de costos discutida en la siguiente sección.

TABLA 28

## RESUMEN DEL EQUIPO DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

<b>Características del equipo de control de la contaminación del aire</b>	
Ubicación	Área de montaje / ensamble de baterías
Tipo de polvo	Óxido de Plomo
Caudal estimado	35000 CFM
Caudal calculado	40000 CFM
Presión estática (Ductos)	7.61 pulgadas de columna de agua
Presión estática (Filtro)	4 -5 pulgadas de columna de agua
Presión estática total	13 pulgadas de columna de agua
Velocidad de transporte	4500 ft/min (mínima)
Velocidad de filtración	6 ft/min
Velocidad Intersticial	301 ft/min
Can Velocity	197 ft/min
Área de filtración	5833 ft <sup>2</sup>
Concentración a la entrada	1 gr/m <sup>3</sup>
Eficiencia de Colección	99.99%
Material del medio filtrante	Poliéster 16 oz/yd <sup>2</sup> con recubrimiento PTFE
Dimensiones de Mangas	6" x 12 ft
Número de mangas	310 (arreglo 31 X 10)
Tipo de Válvula de Pulso	Diafragma
Número de Válvulas de Pulso	31 (Mecair VPN 214 - 1 -1/2")
Ventilador	Centrifugo Modelo BI44 de 110 HP

#### 4.5 Análisis de Costos de Fabricación del Equipo de Control de Contaminación del Aire

Los costos de fabricación del equipo de control de la contaminación del aire dependen principalmente de los rubros:

- Construcción de la red de ductos.
- Construcción del filtro de mangas tipo pulse - jet.
- Construcción del ventilador centrífugo

El factor dominante para establecer el costo en la red de ductos es el caudal del sistema y la velocidad de transporte seleccionada, puesto que estos factores definirán el tamaño de los ductos y por ende la cantidad de material a utilizar.

Así mismo para el filtro de mangas tipo pulse – jet los factores dominantes son el caudal necesario a tratar y la velocidad de filtración seleccionada (depende del producto a tratar). Estos factores establecen el área de filtración a utilizar y a mayor área filtrante, de mayor tamaño será el filtro.

Por último los factores que definen el costo en el ventilador son el caudal del proceso y las restricciones del sistema que vienen dadas por la presión estática. Por eso se recomienda en lo posible utilizar la menor cantidad de accesorios y cambios de dirección en la red de ductos.

En las tablas siguientes, se puede apreciar el costo de los rubros mencionados del equipo de control de la contaminación del aire.

**TABLA 29**  
**COSTOS DE FABRICACIÓN DE LA RED DE DUCTOS.**

<b>Red de tuberías del equipo de contaminación del aire</b>					
<b>Material ASTM 656 Acero galvanizado</b>					
<b>Cantidad</b>	<b>Tramos</b>	<b>Diámetro (pulg)</b>	<b>Gage</b>	<b>Costo Unitario (\$/m)</b>	<b>Total (\$)</b>
1	2.9	6	24	54.86	159.11
1	1.35	8.5	24	77.72	104.93
1	7.66	11	22	100.58	770.47
1	4.3	8.5	24	77.72	334.21
1	4.15	14	22	128.02	531.27
1	4.3	10.5	22	96.01	412.85
1	4.15	18	20	164.59	683.06
1	2.9	6	24	54.86	159.11
1	1.35	6	24	54.86	74.01
1	8.42	9	22	82.30	692.93
1	2.6	5.5	24	50.29	130.76
1	3	5.5	24	50.29	150.88
1	1.45	7	24	64.01	92.81
1	1.43	12	22	109.73	156.91
1	2.6	7.5	24	68.58	178.31
1	3	5.5	24	50.29	150.88
1	1.43	9	22	82.30	117.68
1	7.11	16	20	98.45	700.00
1	7.66	25	18	117.49	900.00
1	5.1	10	22	91.44	466.34
1	5.37	9.5	22	86.87	466.48
1	2.72	11.5	22	105.16	286.02
1	14.6	6.5	24	59.44	867.77
1	2.6	16.5	20	150.88	392.28
1	6.55	31	16	152.67	1000.00
1	7.74	10	22	91.44	707.75

Cantidad	Tramos	Diámetro (pulg)	Gage	Costo Unitario (\$/m)	Total (\$)
1	4.48	9.5	22	86.87	389.17
1	5.24	14.5	22	132.59	694.76
1	2.53	6	24	54.86	138.81
1	2.26	8.5	24	77.72	175.66
1	2.43	11	22	100.58	244.42
1	1.56	18.5	20	169.16	263.90
1	2.53	6	24	54.86	138.81
1	2.26	6	24	54.86	123.99
1	2.43	9	22	82.30	199.98
1	7	20.5	20	156.21	1093.47
1	2.6	7.5	24	68.58	178.31
1	3	5.5	24	50.29	150.88
1	3.06	9.5	22	86.87	265.82
1	1.51	23	18	210.31	317.57
1	2.6	5.5	24	50.29	130.76
1	3	5.5	24	50.29	150.88
1	3.06	8	24	73.15	223.85
1	13.25	24.5	18	135.85	1800.00
1	13.2	40	16	189.39	2500.00
<b>Gran total (No incluye IVA)</b>					<b>19867.87</b>

TABLA 30

## COSTOS DE FABRICACIÓN DE ACCESORIOS

Red de tuberías del equipo de contaminación del aire				
Material ASTM 656 Acero Galvanizado				
Cantidad	Accesorio	Diámetro (pulg)	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
5	Codo @ 90°	10	140.00	700.00
1	Unión @ 45	10 x 9.5 x 14	180.00	180.00
1	Unión @ 30°	10 x 9.5x 11.5	160.00	160.00
1	Y @ 60°	6	90.00	90.00
2	Codo @ 45	9.5	160.00	320.00
1	Unión @ 45	6 x 8.5 x 11	150.00	150.00
1	Unión @ 45	11 x 8.5 x 14	180.00	180.00
1	Unión @ 45	12 x 9 x 16	240.00	240.00
2	Y @ 60°	9	125.00	250.00
3	Codo @ 90°	11	150.00	450.00



Cantidad	Accesorio	Diámetro (pulg)	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
1	Unión @ 30°	14.5x11x 18.5	300.00	300.00
3	Codo @ 90°	6	120.00	360.00
4	Codo @ 45°	6	60.00	240.00
1	Unión @ 45°	6x6x9	120.00	120.00
3	Codo @ 90°	9	130.00	390.00
1	Unión @ 30°	18.5x9x20.5	220.00	220.00
1	Unión @ 30°	20.5x9.5x23	400.00	400.00
1	Codo @ 90°	5.5	115	115
1	Codo @ 45°	5.5	60.00	60.00
1	Unión @ 45°	7.5x5.5x9.5	135.00	135.00
1	Unión @ 45°	6x6x9	120.00	120.00
1	Unión @ 45°	8.5x6x11	130.00	130.11
1	Unión @ 45°	6x6x9	120.00	120.00
1	Unión @ 45°	11.5x6.5x16.5	200.00	200.00
2	Y @ 60°	6	90.00	180.00
1	Codo @ 45°	11	75.00	75.00
1	Unión @ 45°	14x10.5x18	280.00	280.00
1	Y @ 60°	11	150.00	150.00
1	Y @ 60°	8	100.00	100.00
2	Y @ 60°	8	100.00	200.00
1	Codo @ 90°	8	125.00	125.00
1	Codo @ 45°	8	67.50	67.50
1	Unión @ 45°	9x7x12	150.00	150.00
1	Unión @ 30°	23x8x24.5	400.00	400.00
5	Codo @ 90°	5.5	115.00	575.00
4	Codo @ 45°	5.5	60.00	240.00
1	Unión @ 45°	5.5x5.5x8	110.00	110.00
1	Unión @ 45°	5.5x5.5x7	110.00	110.00
1	Unión @ 45°	7.5x5.5x9	120.00	120.00
1	Codo @ 90°	23	300.00	300.00
1	Codo @ 45°	23	150.00	150.00
1	Unión @ 45°	31x24.5x40	500.00	500.00
1	Codo @ 45°	15	250.00	250.00
1	Unión @ 45°	18x16x25	400.00	400.00
1	Unión @ 30°	25x16.5x31	450.00	450.00
1	Codo @ 90°	40	385.00	385.00
1	Unión @ 30°	40	140.00	140.00
<b>Gran total (No incluye IVA)</b>				<b>11088.00</b>

**TABLA 31**  
**COSTOS DE FABRICACIÓN DEL FILTRO DE MANGAS TIPO**  
**PULSE - JET**

<b>Colector de Polvos</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
<b>Filtro de mangas</b>			
Tipo	Pulse - Jet	1	89,200
Caudal	40000 CFM		
Área Filtrante	5833 ft2		
Diámetro de mangas	6"		
Número de Mangas	310		
Longitud Mangas	12'		
Velocidad de Filtración	6 ft/min		
Válvulas de Diafragma	31		
Microprocesador Mecair de diferencial de Presión	2 - 6 " H20		
<b>Sistema de descarga de polvos</b>			
Tornillo sin fin de descarga accionado con motor eléctrico siemens de 3 HP	1	10,800	10,800
Válvula Rotatoria	1	3,850	3,850
<b>Gran total (no incluye el 12% del IVA)</b>			<b>103,850</b>

**TABLA 32**  
**COSTOS DE FABRICACIÓN DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO**

<b>Ventilador Industrial</b>				
<b>Descripción</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
<b>Ventilador</b>		1	23,668	23,668
Tipo	Centrífugo			
Caudal	40000 CFM			
Presión Estática	13 in. wg			
RPM	1329			
Potencia Operación	105.9 HP			
Densidad del Aire	0.075 lb/ft <sup>3</sup>			
<b>Motor Eléctrico</b>				
Potencia del Motor	125 HP			
RPM	1800			
Voltaje	440 v			
Fases	3Ph			
Frecuencia	60 Hz			
<b>Gran total (Precio FOB)</b>				23,668

Sumando los cuatro valores se obtiene que el costo total del equipo de control de la contaminación del aire es de USD \$162,024.07; adicionándole el valor del 12% del IVA el valor total es el siguiente:

USD \$181,466.96

Como referencia económica se cotizó un filtro de mangas tipo pulse – jet de similares características con la compañía mexicana OASIS Instalaciones S.A., cuyo valor fue de:

USD \$ 125,420

Este costo es FOB y se debe agregarle los trámites aduaneros y flete a Ecuador. Se observa claramente que escogiendo la fabricación local se tendría un ahorro significativo en la adquisición del filtro de mangas tipo pulse – jet. Se evidencia que la diferencia de costos es del 40%.

El costo por mantenerlo encendido continuamente el equipo de control de la contaminación del aire durante 6 días a la semana y 24 horas al día es:

$$E = P_v * t$$

Donde:

E: Energía en Kw – hr

$P_v$ : Potencia del ventilador (kw)

t: Tiempo de funcionamiento (horas).

Reemplazando valores se tiene:

$$E = 125 * 1728 * 0.75$$

$$E = 162,000 \text{ Kw} - \text{hr}$$

Conociendo que actualmente el costo del Kw-h es de 10 centavos de dólar se tiene que los costos operativos anuales son de USD \$ 16,200.

Los costos por mantenimiento del filtro actualmente al año representan USD \$17,904 y se tiene un costo que se deriva por el mal funcionamiento del filtro por consumo de equipos de protección personal tales como filtros y mascarillas de USD \$ 135,000 al año.

Analizando estos valores se ve que al año se ha gastado USD \$152,904. De implementarse la solución presentada se estima un ahorro mínimo del 30% del costo de los equipos de protección personal que equivale al USD \$40,500 y por costos de mantenimiento de USD \$17,904 puesto que al año no se necesitaría cambiar mangas; el ahorro neto sería de USD \$58,404 lo que haciendo un balance rápido de retorno de inversión se puede observar que 2.77 años se recuperaría el dinero invertido.

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

1. El equipo de control de la contaminación del aire actualmente instalado, de acuerdo al análisis realizado no cumple con las condiciones de operación estándar, tales como velocidad de transporte de 20 m/s en la red de ductos y velocidad de filtración de 6 ft/min, generando caídas de presión en el sistema mayores a 15 pulgadas de columna de agua ocasionando una saturación prematura en el filtro de mangas tipo – pulse jet que conlleva al fallo del medio filtrante ocasionando fugas de polvo de plomo al medio ambiente.
2. Las emisiones de polvo de plomo hacia el medio ambiente en el sistema actual no cumple con la normativa EPA 40 CFR 63 sub

3. – parte PPTPPP - Estándares Nacionales para Emisiones Peligrosas de la Fabricación de Baterías Plomo – ácido, la cual establece que para los tres procesos operacionales (ensamble de baterías) las emisiones deben ser menores a 1 mg Pb/m<sup>3</sup> y estas mediciones se encuentran en 2.26 mg Pb/m<sup>3</sup>.
4. La calidad del aire ambiente de acuerdo a la normativa OSHAS establece que la concentración de plomo en el ambiente de trabajo debe ser menor a 50 µg Pb/m<sup>3</sup>, las mediciones tomadas reflejan que no se cumple con el estándar encontrando un valor de 160 µg/m<sup>3</sup>. Esto se debe en gran medida a que existen acumulación de polvo de plomo por el mal diseño de la red de conductos.
5. Se seleccionó y diseño el filtro de mangas tipo pulso – jet escogiendo una velocidad de filtración adecuada de 6ft/min obteniendo una caída de presión estimada de 4 pulgadas de columna de agua.
6. El medio filtrante seleccionado para las mangas a utilizar es de poliéster de 16 Oz/yd<sup>2</sup> con un acabado superficial de teflón (PTFE) que garantiza alta eficiencia de filtración.

7. El filtro de mangas tipo pulse – jet de fabricación nacional comparado el de fabricación mexicana es 50% más económico por lo que es factible adquirirlo localmente cumpliendo los mismos estándares de calidad.
8. Se dimensionó la red de ductos con una velocidad de transporte recomendada de 20 m/s (4500 ft/min) la cual garantiza que el polvo de plomo no se sedimentará en el interior de los ductos. La presión estática generada es de 7.61 pulgadas de columna de agua.
9. Se seleccionó el ventilador centrífugo de la compañía Aerovent modelo BI44 con un caudal de 40,000 CFM, una presión estática de 12 pulgadas de columna de agua y una potencia de 100 HP.
10. Analizando los costos de operación del sistema propuesto y comparando los gastos de mantenimiento y de equipos de protección personal que se generan con el sistema actual, la inversión se retornaría en un tiempo de 2.21 años.



11. Con el equipo de control de contaminación del aire se espera tener bajo control las emisiones al ambiente bajo  $1 \text{ mg/m}^3$  y las condiciones de calidad de aire en el puesto de trabajo menores a  $50 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ .
12. Se espera un impacto positivo en el monitoreo de plomo en la sangre del personal operativo manteniendo los resultados por debajo de  $40 \text{ }\mu\text{g/dl}$  de sangre.

## **5.2 Recomendaciones.**

1. Al inicio del arranque del sistema monitorear la caída de presión para establecer la correcta secuencia de limpieza y establecer su configuración en el controlador programable.
2. Como complemento al sistema propuesto se recomienda considerar luego de su implementación, un sistema de monitoreo en línea el cuál determine cuando exista un incremento en las emisiones establecidas a la salida del filtro de mangas tipo pulse – jet.

3. No utilizar accesorios adicionales, como dámpers para la regulación del flujo. La red de ductos ha sido balanceada en el proceso de cálculo y dimensionamiento.

# APÉNDICES

**APÉNDICE A**

**40 CFR PART 63 SUBPART PPPPP**

**APÉNDICE B**

**40 CFR PART 60 SUBPART KK**

## **APÉNDICE C**

### **VÁLVULAS DIAFRAGMA SMC**

## **APÉNDICE D**

### **VELOCIDADES RECOMENDADAS DE FILTRACIÓN**

## **APÉNDICE E**

### **DIAGRAMA DE MOODY**



## **APÉNDICE F**

### **PÉRDIDAS POR FRICCIÓN POR 100 PIES DUCTO**

## **APÉNDICE G**

### **PERDIDAS CAMPANAS, ACCESORIOS**

## **APÉNDICE H**

### **CURVA CARACTERISTICA PRELIMINAR**

## **APÉNDICE I**

### **CURVA CARACTERÍSTICA VENTILADOR**

## **APÉNDICE J**

### **COTIZACIÓN FILTRO DE MANGAS NACIONAL**

## **APÉNDICE K**

### **COTIZACIÓN MANGAS**

## **APÉNDICE L**

### **COTIZACIÓN VENTILADOR CENTRÍFUGO**

## **APÉNDICE M**

### **COTIZACIÓN FILTRO DE MANGAS IMPORTADO**



# PLANOS

**PLANO 1**

**DISEÑO ESPEJO PORTAMANGAS**

## **PLANO 2**

### **DISTRIBUCIÓN MAQUINARIAS EN PISO PLANTA**

**PLANO 3**

**ESQUEMA DE RED DE DUCTOS**

**PLANO 4**

**DISEÑO DE RED DE DUCTOS**

**PLANO 5**

**ESQUEMA DE FILTRO DE MANGAS**

## BIBLIOGRAFÍA

1. SCHNELLER KARL y BROWN CHARLES, Air Pollution Control Technology Handbook, CRC PRESS, 2002.
2. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.  
<http://www.epa.gov/espanol/sobreepa/sieteprioridades.html>
3. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).  
<http://www.epa.gov/air/criteria.html>
4. European Environment Agency (EEA).  
<http://www.eea.europa.eu/es/about/-us/who>.
5. Estándares de Calidad de Aire Europeos (EEA).  
<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
6. Code of Federal Regulations, 40 CFR Part 63, subpart PPPPPP.  
<http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=076fa8f32bdabd991dca15d3270cb663&node=40:15.0.1.1.1.29&rqn=div6>
7. Code of Federal Regulations, 40 CFR Part 60, subpart KK.  
<http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=725455798f1c78f3fa53f66dd10e6045&node=40:7.0.1.1.1.53&rqn=div6>
8. Plan Nacional de la Calidad del Aire. <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
9. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), Sistemas Integrados de Estadísticas Ambientales (SIEA).  
<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/sistema-integrado-de-estadisticas-ambientales-siea/>
10. Contaminación en las Regiones del Ecuador.  
<https://sites.google.com/site/lecciondeciencianaturales/el-calentamiento-global/contaminacion-en-las-regiones-de-ecuador>

11. Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI – Calidad Ambiental, Anexo 4 – Norma de Calidad del Aire Ambiente.
12. PERALTA GERMAN, Cálculo y Diseño Fluídodinámico de un Filtro de Mangas (Tipo Pulse Jet) para Partículas Minerales de Origen Industrial, ESPOL, 2001.
13. BUCHELLI LUIS, Diseño Fluídodinámico de un Sistema de Extracción de Polvos en un Ingenio Azucarero, ESPOL, 2004.
14. SCHNELLE KARL y BROWN CHARLES, Air Pollution Control Technology Handbook, CRC PRESS, 2002
15. BAUKAL CHARLES, Industrial Combustion Pollution and Control, Marcel Dekker, 2004.
16. LEE C.C. y DAR LIN SHUN, Handbook of Environmental Engineering Calculation, McGraw Hill, Primera Edición, 1999.
17. COLLS JEREMY, Air Pollution, Spon Press – Taylor Francis Group, Segunda Edición, 2003
18. COOPER DAVID, Air Pollution Control a Design Approach, Waveland Press Inc, Tercera Edición.
19. MONTGOMERY DOUGLAS y RUNGER GEORGE, Applied Statistics and Probability for Engineers, John Wiley & Son, Tercera Edición.
20. BEACHLER, D.S., y J.A. JAHNKE, Control of Particulate Emissions, APTI Course 413 Student Manual, EPA 450/2-80-066, October 1981.
21. ACGHI, Industrial Ventilation a Manual of Recommended Practice, 23<sup>rd</sup> Edition, 1998
22. LAWRENCE K. WANG, Handbook of Environmental Engineers Volume 2: Advanced Air and Noise pollution control, Humana Press, 2005.



23. BOUBEL RICHARD, Fundamentals of Air Pollution, Academic Press, Tercera Edición, 1994
24. HEINSOHN ROBERT Y KABEL ROBERT, Sources and Control of Air Pollution, Prentice Hall
25. SCHIFFTNER KENNETH, Air Pollution Control Equipment Selection Guide, CRC Press, 2002
26. ESCODA SALVADOR, Manual Práctico de Ventilación Industrial.
27. DALY AARON Y ZANNETTI PAOLO, Chapter 1 of Ambient Air Pollution, The Arab School for Science and Technology and The EnviroComp Institute, 2007
28. HARRISON, R. 2003. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? The Science of the Total Environment. 249: 85-101.
29. U.S. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY, AP – 42 Section 12.15 Storage Battery Productions.
30. DIARIO EL UNIVERSO, Crecimiento del Parque Automotor, Domingo 17 de julio del 2011.
31. TECNOVA S.A., Diagrama de Flujo de Fabricación de Baterías.
32. INDEPENDENT BATTERY MFRS ASSN INC, Manual de Fabricación de Acumuladores, Tercera Edición.
33. WIRTZ MANUFACTURING CO, World Class Battery Manufacturing Equipment and Technology. <http://www.wirtzusa.com/>.
34. EAGLE, Oxide Services. <http://www.eagleoxide.com/>.
35. TECNOVA S.A., Especificaciones Técnicas de Pasta.

36. MAC, Engineering and Equipment. <http://www.mac-eng.com/>
37. TBS, Automation for the Battery Industry, <http://www.tbseng.co.uk/>
38. O.M. IMPIANTI, New Battery Manufacturing, <http://www.omi-nbe.com/>
39. DANZA FRANCO, Contaminación por Plomo.
40. OSHA, Occupational Safety and Health Administration, 29CFR part 1910.1025, Toxic and Hazardous Substances, Lead.
41. CDC, Center of Disease Control and Prevention, Lead Information for Workers.
42. EVERY DAY HEALTH, INC, Lead Poisoning – Exams and Test.
43. KOSNETT MICHAEL, Recommendations for Medical Management of Adult Lead Exposure, Environmental Health Perspectives, Volume 115, 2007.
44. IAC, Industrial Accessories Company, Mangas Filtrantes Laminadas de Teflón PTFE.
45. GENERAL ELECTRIC, Pulse Jet Overview and Common Problems.
46. LAWRENCE K. WANG, Air Pollution Control Engineering Volume 1, Humana Press, 2005.
47. EHRHARD RAYMOND, Baghouse and Filters for Particulate Matter Control, Continuing Education and Development, Inc.
48. T.K. RAY, Air Pollution Control in Industries Volume 1, Theory, Selection and Design of Air Pollution Control Equipment.





## **Subpart P—National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Lead Acid Battery Manufacturing Area Sources**

**Source:** 72 FR 38913, July 16, 2007, unless otherwise noted.

### **Applicability and Compliance Dates**

#### **§ 63.11421 Am I subject to this subpart?**

(a) You are subject to this subpart if you own or operate a lead acid battery manufacturing plant that is an area source of hazardous air pollutants (HAP) emissions.

(b) This subpart applies to each new or existing affected source. The affected source is each lead acid battery manufacturing plant. The affected source includes all grid casting facilities, paste mixing facilities, three-process operation facilities, lead oxide manufacturing facilities, lead reclamation facilities, and any other lead-emitting operation that is associated with the lead acid battery manufacturing plant.

(1) An affected source is existing if you commenced construction or reconstruction of the affected source on or before April 4, 2007.

(2) An affected source is new if you commenced construction or reconstruction of the affected source after April 4, 2007.

(c) This subpart does not apply to research and development facilities, as defined in section 112(c)(7) of the Clean Air Act (CAA).

(d) You are exempt from the obligation to obtain a permit under 40 CFR part 70 or 40 CFR part 71, provided you are not otherwise required by law to obtain a permit under 40 CFR 70.3(a) or 40 CFR 71.3(a). Notwithstanding the previous sentence, you must continue to comply with the provisions of this subpart.

#### **§ 63.11422 What are my compliance dates?**

(a) If you own or operate an existing affected source, you must achieve compliance with the applicable provisions in this subpart by no later than July 16, 2008.

(b) If you startup a new affected source on or before July 16, 2007, you must achieve compliance with the applicable provisions in this subpart not later than July 16, 2007.

(c) If you startup a new affected source after July 16, 2007, you must achieve compliance with the provisions in this subpart upon startup of your affected source.

### **Standards and Compliance Requirements**

#### **§ 63.11423 What are the standards and compliance requirements for new and existing sources?**

(a) You must meet all the standards for lead in 40 CFR 60.372.

(b) You must meet the monitoring requirements in paragraphs (b)(1) and (2) of this section.

(1) For any emissions point controlled by a scrubbing system, you must meet the requirements in 40 CFR 60.373.

(2) For any emissions point controlled by a fabric filter, you must meet the requirements of paragraph (b)(2)(i) of this section and either paragraph (b)(2)(ii) or (iii) of this section. Fabric filters equipped with a high efficiency particulate air (HEPA) filter or other secondary filter are allowed to monitor less frequently, as specified in paragraph (b)(2)(iv) of this section.

(i) You must perform semiannual inspections and maintenance to ensure proper performance of each fabric filter. This includes inspection of structural and filter integrity. You must record the results of these inspections.

(ii) You must install, maintain, and operate a pressure drop monitoring device to measure the differential pressure drop across the fabric filter during all times when the process is operating. The pressure drop shall be recorded at least once per day. If a pressure drop is observed outside of the normal operational ranges, you must record the incident and take immediate corrective actions. You must also record the corrective actions taken. You must submit a monitoring system performance report in accordance with §63.10(e)(3).

(iii) You must conduct a visible emissions observation at least once per day to verify that no visible emissions are occurring at the discharge point to the atmosphere from any emissions source subject to the requirements of paragraph (a) of this section. If visible emissions are detected, you must record the incident and conduct an opacity measurement in accordance with 40 CFR 60.374(b)(3). You must record the results of each opacity measurement. If the measurement exceeds the applicable opacity standard in 40 CFR 60.372(a)(7) or (8), you must submit this information in an excess emissions report required under §63.10(e)(3).

(iv) Fabric filters equipped with a HEPA filter or other secondary filter are allowed to monitor less frequently, as specified in paragraph (b)(2)(iv)(A) or (B) of this section.

(A) If you are using a pressure drop monitoring device to measure the differential pressure drop across the fabric filter in accordance with paragraph (b)(2)(ii) of this section, you must record the pressure drop at least once per week. If a pressure drop is observed outside of the normal operational ranges, you must record the incident and take immediate corrective actions. You must also record the corrective actions taken. You must submit a monitoring system performance report in accordance with §63.10(e)(3).

(B) If you are conducting visible emissions observations in accordance with paragraph (b)(2)(iii) of this section, you must conduct such observations at least once per week and record the results in accordance with paragraph (b)(2)(iii) of this section. If visible emissions are detected, you must record the incident and conduct an opacity measurement in accordance with 40 CFR 60.374(b)(3). You must record the results of each opacity measurement. If the measurement exceeds the applicable opacity standard in 40 CFR 60.372(a)(7) or (8), you must submit this information in an excess emissions report required under §63.10(e)(3).

(c) You must meet the testing requirements in 40 CFR 60.374.

(1) Existing sources are not required to conduct a performance test if a prior performance test was conducted using the same methods specified in 40 CFR 60.374 and either no process changes have been made since the test, or you can demonstrate that the results of the performance test, with or without adjustments, reliably demonstrate compliance with this subpart despite process changes.

(2) Sources without a prior performance test, as described in paragraph (c)(1) of this section, must conduct a performance test using the methods specified in 40 CFR 60.374 by 180 days after the compliance date.

#### **§ 63.11424 [Reserved]**

### **Other Requirements and Information**

#### **§ 63.11425 What General Provisions apply to this subpart?**

(a) The provisions in 40 CFR part 63, subpart A, that are applicable to this subpart are specified in Table 1 to this subpart.

(b) For existing sources, the initial notification required by §63.9(b) must be submitted not later than March 13, 2009.

(c) For existing sources, the notification of compliance required by §63.9(h) must be submitted not later than September 15, 2008.

#### **§ 63.11426 What definitions apply to this subpart?**

The terms used in this subpart are defined in the CAA; 40 CFR 60.371; 40 CFR 60.2 for terms used in the applicable provisions of part 60, subpart A; and §63.2 for terms used in the applicable provisions of 40 CFR part 63, subpart A.

#### **§ 63.11427 Who implements and enforces this subpart?**

(a) This subpart can be implemented and enforced by the U.S. EPA or a delegated authority such as a State, local, or tribal agency. If the U.S. EPA Administrator has delegated authority to a State, local, or tribal agency pursuant to 40 CFR part 63, subpart E, then that Agency has the authority to implement and enforce this subpart. You should contact your U.S. EPA Regional Office to find out if this subpart is delegated to a State, local, or tribal agency within your State.

(b) In delegating implementation and enforcement authority of this subpart to a State, local, or tribal agency under 40 CFR part 63, subpart E, the approval authorities contained in paragraphs (b)(1) through (4) of this section are retained by the Administrator of the U.S. EPA and are not transferred to the State, local, or tribal agency.

(1) Approval of an alternative non-opacity emissions standard under §63.6(g).

(2) Approval of a major change to test methods under § 63.7(e)(2)(ii) and (f). A “major change to test method” is defined in §63.90.

(3) Approval of a major change to monitoring under § 63.8(f). A “major change to monitoring” is defined in §63.90.

(4) Approval of a major change to recordkeeping/reporting under § 63.10(f). A “major change to recordkeeping/reporting” is defined in §63.90.

**Table 1 To Subpart P P P P P of Part 63.—Applicability of General Provisions to Subpart P P P P P**

As required in § 63.11425, you must comply with the requirements of the NESHAP General Provisions (40 CFR part 63, subpart A) as shown in the following table.

Citation	Subject	Applies to Subpart P P P P P?	Explanation
63.1	Applicability	Yes	
63.2	Definitions	Yes	
63.3	Units and Abbreviations		
63.4	Prohibited Activities and Circumvention	Yes	
63.5	Preconstruction Review and Notification Requirements	No	
63.6(a)–(d), (e)(1), (f)–(j)	Compliance with Standards and Maintenance Requirements	Yes	
63.6(e)(3)		No	Subpart P P P P P does not require a startup, shutdown, and malfunction plan.
63.7	Performance Testing Requirements	Yes	
63.8	Monitoring Requirements	Yes	
63.9	Notification Requirements	Yes	
63.10(a)–(c), (d)(1)–(4), (e), (f)	Recordkeeping and Reporting Requirements	Yes	
63.10(d)(5)		No	Subpart P P P P P does not require a startup, shutdown, and malfunction plan.
63.11	Control Device	No	Subpart P P P P P does not

	Requirements		require flares.
63.12	State Authorities and Delegations	Yes.	
63.13	Addresses	Yes	
63.14	Incorporations by Reference	Yes	
63.15	Availability of Information and Confidentiality	Yes	
63.16	Performance Track Provisions	Yes	
63.1(a)(5), (a)(7)–(9), (b)(2), (c)(3), (d), 63.6(b)(6), (c)(3), (c)(4), (d), (e)(2), (e)(3)(ii), (h)(3), (h)(5)(iv), 63.8(a)(3), 63.9(b)(3), (h)(4), 63.10(c)(2)–(c)(4), (c)(9)	Reserved	No	



## 40 CFR Part 60 Subpart KK—Standards of Performance for Lead-Acid Battery Manufacturing Plants

**Source:** 47 FR 16573, Apr. 16, 1982, unless otherwise noted.

### § 60.370 Applicability and designation of affected facility.

(a) The provisions of this subpart are applicable to the affected facilities listed in paragraph (b) of this section at any lead-acid battery manufacturing plant that produces or has the design capacity to produce in one day (24 hours) batteries containing an amount of lead equal to or greater than 5.9 Mg (6.5 tons).

(b) The provisions of this subpart are applicable to the following affected facilities used in the manufacture of lead-acid storage batteries:

(1) Grid casting facility.

(2) Paste mixing facility.

(3) Three-process operation facility.

(4) Lead oxide manufacturing facility.

(5) Lead reclamation facility.

(6) Other lead-emitting operations.

(c) Any facility under paragraph (b) of this section the construction or modification of which is commenced after January 14, 1980, is subject to the requirements of this subpart.

### § 60.371 Definitions.

As used in this subpart, all terms not defined herein shall have the meaning given them in the Act and in subpart A of this part.

(a) *Grid casting facility* means the facility which includes all lead melting pots and machines used for casting the grid used in battery manufacturing.

(b) *Lead-acid battery manufacturing plant* means any plant that produces a storage battery using lead and lead compounds for the plates and sulfuric acid for the electrolyte.

(c) *Lead oxide manufacturing facility* means a facility that produces lead oxide from lead, including product recovery.

(d) *Lead reclamation facility* means the facility that remelts lead scrap and casts it into lead ingots for use in the battery manufacturing process, and which is not a furnace affected under subpart L of this part.

(e) *Other lead-emitting operation* means any lead-acid battery manufacturing plant operation from which lead emissions are collected and ducted to the atmosphere and which is not part of a grid casting, lead oxide manufacturing, lead reclamation, paste mixing, or three-process operation facility, or a furnace affected under subpart L of this part.

(f) *Paste mixing facility* means the facility including lead oxide storage, conveying, weighing, metering, and charging operations; paste blending, handling, and cooling operations; and plate pasting, takeoff, cooling, and drying operations.

(g) *Three-process operation facility* means the facility including those processes involved with plate stacking, burning or strap casting, and assembly of elements into the battery case.

**§ 60.372 Standards for lead.**

(a) On and after the date on which the performance test required to be conducted by §60.8 is completed, no owner or operator subject to the provisions of this subpart shall cause to be discharged into the atmosphere:

(1) From any grid casting facility any gases that contain lead in excess of 0.40 milligram of lead per dry standard cubic meter of exhaust (0.000175 gr/dscf).

(2) From any paste mixing facility any gases that contain in excess of 1.00 milligram of lead per dry standard cubic meter of exhaust (0.000437 gr/dscf).

(3) From any three-process operation facility any gases that contain in excess of 1.00 milligram of lead per dry standard cubic meter of exhaust (0.000437 gr/dscf).

(4) From any lead oxide manufacturing facility any gases that contain in excess of 5.0 milligrams of lead per kilogram of lead feed (0.010 lb/ton).

(5) From any lead reclamation facility any gases that contain in excess of 4.50 milligrams of lead per dry standard cubic meter of exhaust (0.00197 gr/dscf).

(6) From any other lead-emitting operation any gases that contain in excess of 1.00 milligram of lead per dry standard cubic meter of exhaust (0.000437 gr/dscf).

(7) From any affected facility other than a lead reclamation facility any gases with greater than 0 percent opacity (measured according to Method 9 and rounded to the nearest whole percentage).

(8) From any lead reclamation facility any gases with greater than 5 percent opacity (measured according to Method 9 and rounded to the nearest whole percentage).

(b) When two or more facilities at the same plant (except the lead oxide manufacturing facility) are ducted to a common control device, an equivalent standard for the total exhaust from the commonly controlled facilities shall be determined as follows:

$$S_e = \sum_{a=1}^N S_a (Q_{sda} / Q_{sdT})$$

Where:

$S_e$  = is the equivalent standard for the total exhaust stream.

$S_a$  = is the actual standard for each exhaust stream ducted to the control device.

$N$  = is the total number of exhaust streams ducted to the control device.

$Q_{sda}$  = is the dry standard volumetric flow rate of the effluent gas stream from each facility ducted to the control device.

$Q_{sdT}$  = is the total dry standard volumetric flow rate of all effluent gas streams ducted to the control device.

[47 FR 16573, Apr. 16, 1982, as amended at 65 FR 61760, Oct. 17, 2000]

**§ 60.373 Monitoring of emissions and operations.**

The owner or operator of any lead-acid battery manufacturing facility subject to the provisions of this subpart and controlled by a scrubbing system(s) shall install, calibrate, maintain, and operate a monitoring device(s) that measures and records the pressure drop across the scrubbing system(s) at least once every 15 minutes. The monitoring device shall have an accuracy of ±5 percent over its operating range.

**§ 60.374 Test methods and procedures.**

(a) In conducting the performance tests required in §60.8, the owner or operator shall use as reference methods and procedures the test methods in appendix A of this part or other methods and procedures as specified in this section, except as provided in §60.8(b).

(b) The owner or operator shall determine compliance with the lead standards in §60.372, except §60.372(a)(4), as follows:

(1) Method 12 shall be used to determine the lead concentration and, if applicable, the volumetric flow rate ( $Q_{sda}$ ) of the effluent gas. The sampling time and sample volume for each run shall be at least 60 minutes and 0.85 dscm (30 dscf).

(2) When different operations in a three-process operation facility are ducted to separate control devices, the lead emission concentration (C) from the facility shall be determined as follows:

$$C = \left[ \sum_{a=1}^N (C_a Q_{sda}) \right] / \sum_{a=1}^N Q_{sda}$$

where:

C=concentration of lead emissions for the entire facility, mg/dscm (gr/dscf).

$C_a$ =concentration of lead emissions from facility "a", mg/dscm (gr/dscf).

$Q_{sda}$ =volumetric flow rate of effluent gas from facility "a", dscm/hr (dscf/hr).

N=total number of control devices to which separate operations in the facility are ducted.

(3) Method 9 and the procedures in §60.11 shall be used to determine opacity. The opacity numbers shall be rounded off to the nearest whole percentage.

(c) The owner or operator shall determine compliance with the lead standard in §60.372(a)(4) as follows:

(1) The emission rate (E) from lead oxide manufacturing facility shall be computed for each run using the following equation:

$$E = \left( \sum_{i=1}^M C_{Pbi} Q_{sdi} \right) / (PK)$$

where:

E=emission rate of lead, mg/kg (lb/ton) of lead charged.

$C_{Pbi}$ =concentration of lead from emission point "i," mg/dscm (gr/dscf).

$Q_{sdi}$ =volumetric flow rate of effluent gas from emission point "i," dscm/hr (sdcf/hr).

M=number of emission points in the affected facility.

P=lead feed rate to the facility, kg/hr (ton/hr).

K=conversion factor, 1.0 mg/mg (7000 gr/lb).

(2) Method 12 shall be used to determine the lead concentration ( $C_{Pb}$ ) and the volumetric flow rate ( $Q_{sd}$ ) of the effluent gas. The sampling time and sample volume for each run shall be at least 60 minutes and 0.85 dscm (30 dscf).

(3) The average lead feed rate ( $P$ ) shall be determined for each run using the following equation:

$$P=N W/\Theta$$

where:

$N$ =number of lead pigs (ingots) charged.

$W$ =average mass of a pig, kg (ton).

$\Theta$ =duration of run, hr.

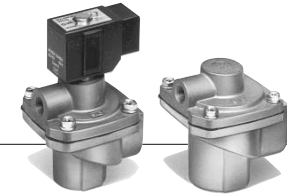
[54 FR 6675, Feb. 14, 1989, as amended at 65 FR 61760, Oct. 17, 2000]



# 2 Port Solenoid Valve For Dust Collector Series VXF

## 2 port solenoid valve for dust collector Series VXF

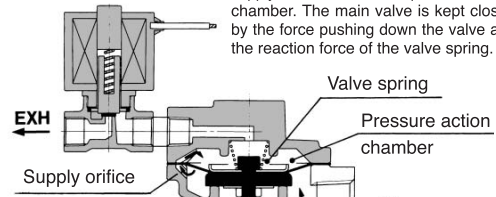
In this L-shaped 2 port valve, the bag filter is cleaned by high speed air jet and shock wave to materialize high speed response and control of instantaneous large flow rate.



Working principle (VXFA)

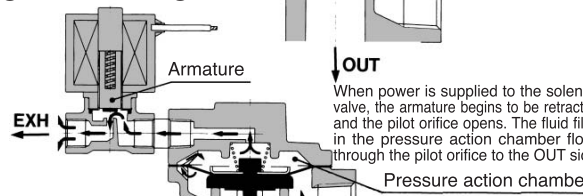
### De-energized

Fluid from the IN side goes through the supply orifice and fills the pressure action chamber. The main valve is kept closed by the force pushing down the valve and the reaction force of the valve spring.



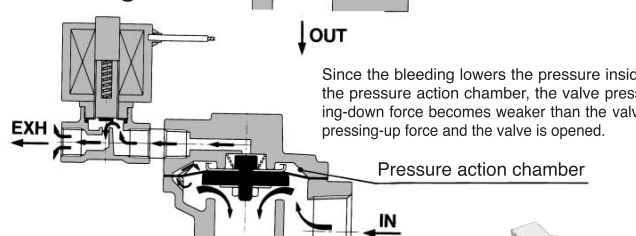
### Right after energized

When power is supplied to the solenoid valve, the armature begins to be retracted, and the pilot orifice opens. The fluid filled in the pressure action chamber flows through the pilot orifice to the OUT side.

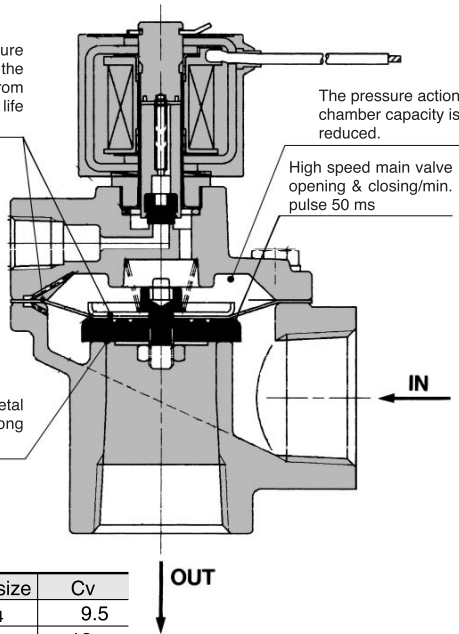


### Energized

Since the bleeding lowers the pressure inside the pressure action chamber, the valve pressing-down force becomes weaker than the valve pressing-up force and the valve is opened.



The supply port to the pressure action chamber is installed in the body and the diaphragm free from stress concentration has a long life span.



The pressure action chamber capacity is reduced.

High speed main valve opening & closing/min. pulse 50 ms

The main valve made of polyacetal is free from sticking and strong against produced shock waves.

	Model	Port size	Cv
VXF	2150	3/4	9.5
	2160	1	18
VXFA	2280	1 1/2	45

## Controller dedicated for operation Series VXFC

The valve controller turns ON/OFF many valves for the dust controller.

Power voltage: 100 VAC, 200 VAC, 24 VDC

Output points: 5 points, 10 points

### Two-time hitting function

Two-time hitting can be set to improve the sweeping effect by the bag filter. Two-time hitting is available by turning ON the DIP SW (one-time by turning OFF).

### Connection of multiple circuit boards is possible

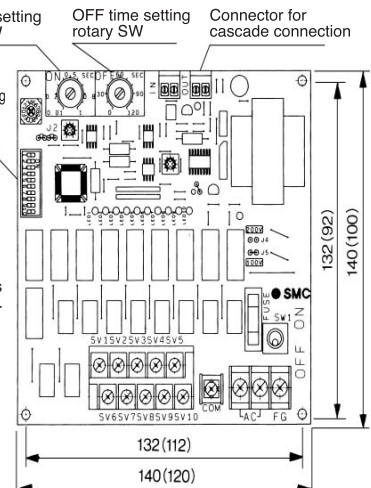
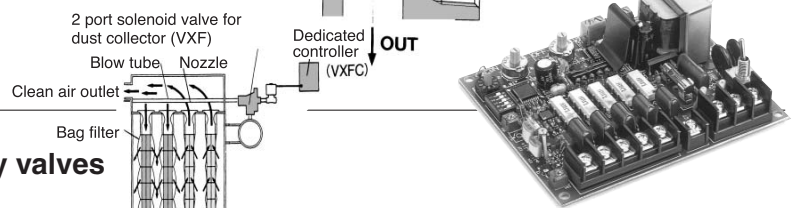
Number of output points can be increased (15/20/25/30 points) by connecting boards.

### Wide ranging time setting

ON-time (output to the valve): 0.01 to 1 sec.  
OFF-time (adjournment to next output): 1 to 120 sec.

### Small, lightweight, and compact

VXFC10-1: Outside dimensions 140 x 140, Mounting dimensions 132 x 132, Weight 325 g  
VXFC05-1: Outside dimensions 120 x 100, Mounting dimensions 112 x 92, Weight 280 g



The dimensions in parentheses indicate those in VXFC05 case.

VC

VDW

VQ

VX2

VX

VX3

VXA

VN

LVC

LVA

L VH

LVD

L VQ

LQ

L VN

T/ TIL

PA

PAX

PB

## How to Order

Solenoid type  
Normally closed

VXF 2150 — 06 — 1 G

Air operated type

VXFA 2150 — 06

• Option

Nil	Standard
S*	With silencer

\* Refer to the table (2) below for availability.

**Table (2) Option/Silencer**

Model	Noise reduction	Effective area
2504-002	19 dB or more	33.9 mm <sup>2</sup>

**Model — Port size**

Model	Port size	Port size
2150	06	Rc 3/4
2160	10	Rc 1
2280	14	Rc 1 1/2

**Rated voltage**

1	100 VAC 50/60 Hz
2	200 VAC 50/60 Hz
3	110 VAC 50/60 Hz
4	220 VAC 50/60 Hz
5	24 VDC
6	12 VDC
7	240 VAC 50/60 Hz
8	48 VAC 50/60 Hz
9	Other (Contact us for inquiry)



\* Refer to the table (1) given below for availability.

\*\* Refer to page 17-3-75 for ordering coil only.

• Electrical option

Nil	None
S	With surge voltage suppressor
L	With indicator light
Z	With light/surge voltage suppressor

\* Refer to the table (1) given below for availability.

• Electrical entry

G	Grommet
C	Conduit
D	DIN terminal
T	Conduit terminal

\* Refer to the table (1) given below for availability.

**Table (1)  
Rated Voltage-Electrical Entry-Electrical Option**

Insulation type		Class B			
Electrical entry		G	C	D, T	
Electrical option		S <sup>Note)</sup>	—	S	L, Z
AC	1 (100 V)	●	●	●	●
	2 (200 V)	●	●	●	●
	3 (110 V)	●	●	●	●
	4 (220 V)	●	●	●	●
	7 (240 V)	●	●	●	—
	8 (48 V)	●	●	●	—
DC	5 (24 V)	●	●	●	●
	6 (12 V)	●	●	●	—



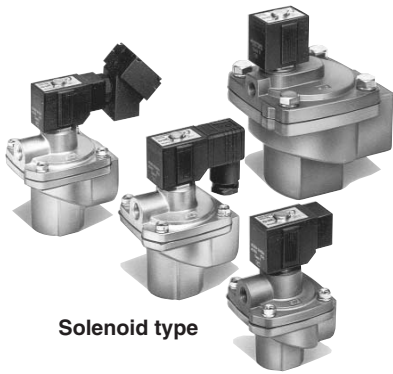
Note) Surge voltage suppressor is attached in the middle of a lead wire.

### ⚠ Caution Selection

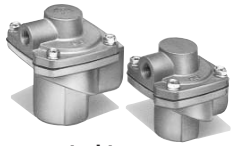
When selecting the air operated type VXFA, select 2 port solenoid valves (with orifice dia. of ø3 or more and effective area of 6 mm<sup>2</sup> or more) in order to maintain the pilot valve performance.

## 2 Port Solenoid Valve For Dust Collector **Series VXF**

### Model/Valve Specifications



Solenoid type



Air operated type

Port size	Orifice size (mmø)	Model	Min. operating pressure differential (MPa)	Max. operating pressure differential (MPa)		Air operated valve	Flow characteristics	Withstand pressure (MPa)	Fluid temperature (°C) <sup>(1)</sup>	Ambient temperature (°C)		Weight (g)	
				Solenoid valve	Air operated valve					Air			
										Effective area (mm <sup>2</sup> )			
3/4	20	VXF2150 VXFA2150	0.03	AC	1.0	1.0	170	2.0	-10 to 60	AC	5 to 60	VXF2150	530
				DC	0.7					DC	5 to 40	VXFA2150	350
1	27	VXF2160 VXFA2160	0.03	AC	1.0	1.0	330	2.0	-10 to 60	AC	5 to 60	VXF2160	580
				DC	0.7					DC	5 to 40	VXFA2160	400
1 1/2	40	VXF2280 VXFA2280	0.03	AC	1.0	1.0	810	2.0	-10 to 60	AC	5 to 60	VXF2280	1500
				DC	0.7					DC	5 to 40	VXFA2280	1300



Note 1) Dew point shall be -10°C or less. No condensation allowed.

### Solenoid Specifications

Model	Power source	Frequency (Hz)	Apparent power VA		Power consumptions W (Holding)	Temperature rise (°C) (Rated voltage)	Voltage fluctuation (%)	Pilot exhaust noise (dB)	
			Inrush	Holding				Without silencer	With silencer
VXF 2150	AC	50	20	11	4.5	45	Rated value ±10	104	83
		60				35			
VXF 2160	AC	50	20	11	4.5	45	Rated value ±10	105	85
		60				35			
VXF 2280	AC	50	40	18	7.5	60	Rated value ±10	108	85
		60				50			
	DC	—	—	—	8	60			

VC□

VDW

VQ

VX2

VX□

VX3

VXA

VN□

LVC

LVA

LVH

LVD

LVQ

LQ

LVN

TI/  
TIL

PA

PAX

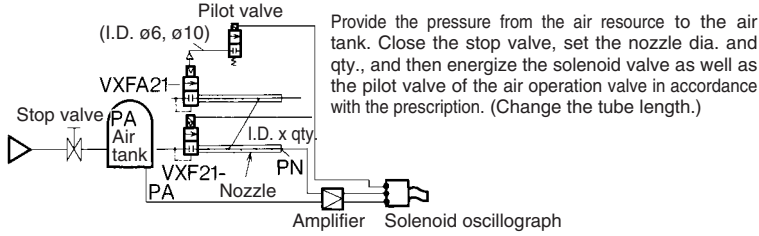
PB

## Model Selection (In the case of using as a bag filter)

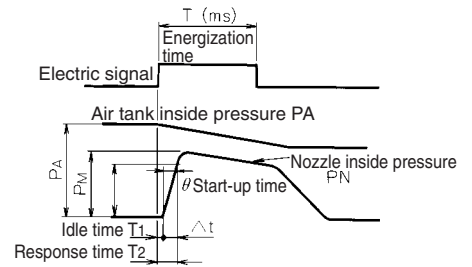
### Model selection

The deterioration of VXF/VXFA properties due to the tube length from data (B) (response time/idle time) and data (C) (start-up speed), can be measured. Refer to this data to set energization time. Use data (A) (flow rate characteristics) to calculate the flow rate for each loading time separately in relation to the nozzle dia./qty., pressure, and tube. The data does not correspond to the actual bag filter operation. (In the data: "Without tube" and Tube length  $\phi$  =

### How to calculate

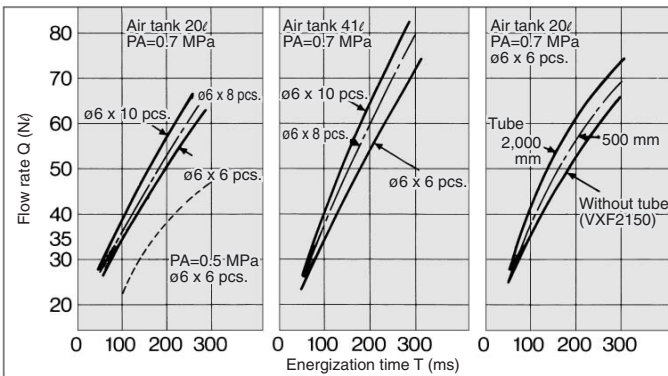


### How to read the data

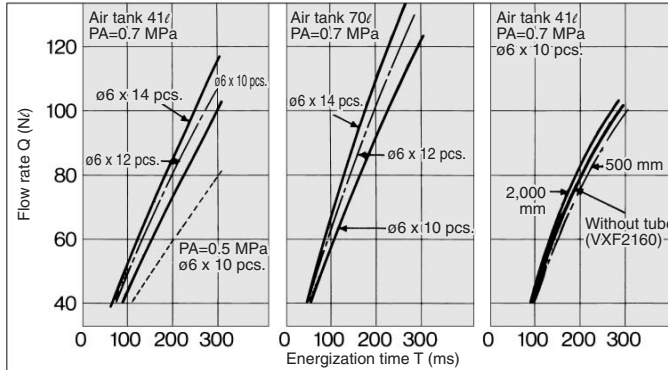


### Data (A) Flow Characteristics

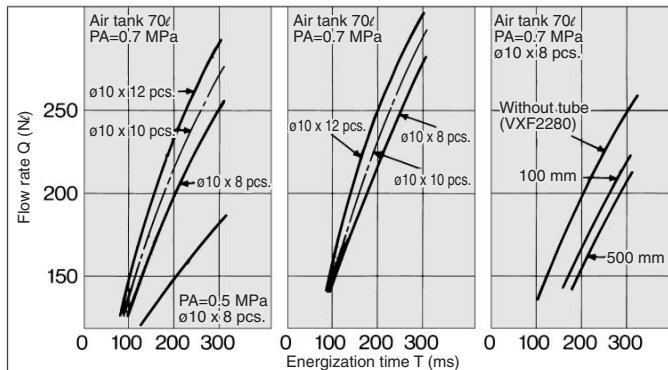
#### VXF2150/VXFA2150



#### VXF2160/VXFA2160



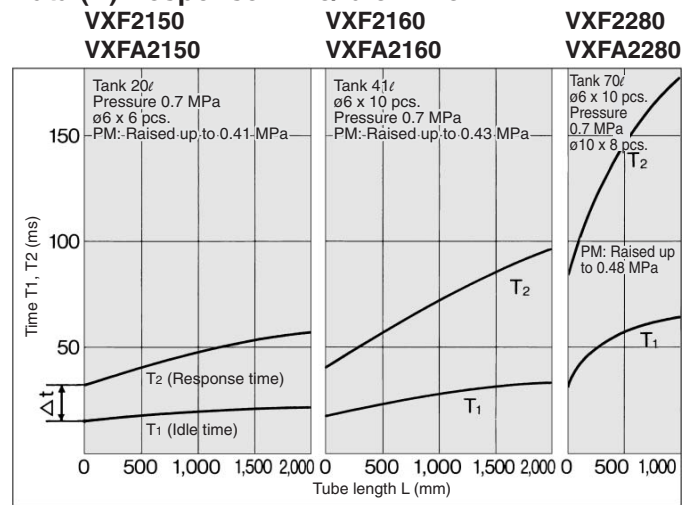
#### VXF2280/VXFA2280



### How to read the graph

Even if the energizing time is constant, a greater amount of air flows when the PA is at 0.7 MPa than at 0.5 MPa. Moreover, the greater the air tank capacity, the greater the amount of airflow. Furthermore, the greater the nozzle's total cross sectional area, the greater the amount of airflow. While the flow volume changes according to the length of the tube, be aware that a wasted flow volume is involved during a return.

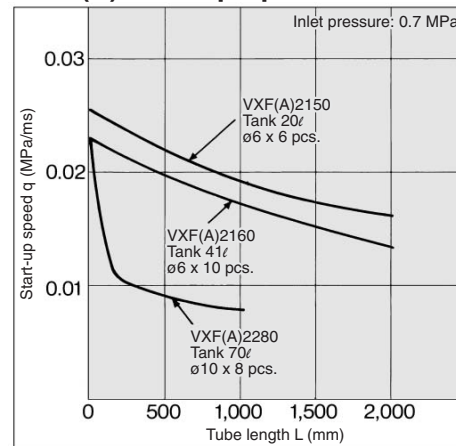
### Data (B) Response Time/Idle Time



### How to read the graph

The longer the tube length, the longer the response time and wasted time. If longer than the length in the diagram, the valve might not open due to the tube resistance.

### Data (C) Start-up Speed



### How to read the graph

The start-up speed stands for the degree of the nozzle inside pressure rise per the unit of time. The greater it is, the stronger the shock wave from the nozzle becomes. It also means that the closing speed increases and consumption of air can be used

$$\text{Start-up speed } \theta = \frac{PM \times 0.9}{\Delta t} \text{ MPa/ms}$$

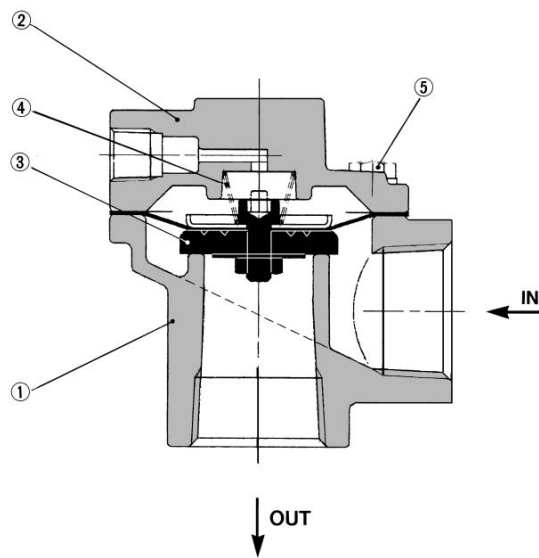
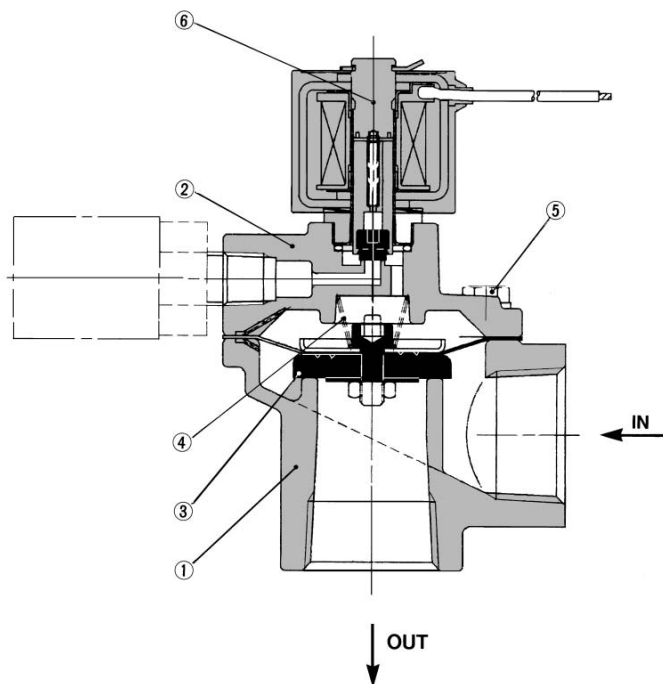


# 2 Port Solenoid Valve For Dust Collector **Series VXF**

## Construction

Solenoid type

Air operated type



### Component Parts

No.	Description	Material
①	Body	Aluminum
②	Bonnet	Aluminum
③	Diaphragm assembly	NBR, POM
④	Spring	Stainless steel
⑤	Hexagonal bolt	Stainless steel
⑥	Solenoid assembly	--

### Solenoid Assembly Part No.

**VXF 2150 — 00 — 1 G**

Model — Port size

2150	Rc 3/4
2160	Rc 1
2280	Rc 1 1/2

Rated voltage

1	100 VAC (50/60 Hz)	6	12 VDC
2	200 VAC (50/60 Hz)	7	240 VAC (50/60 Hz)
3	110 VAC (50/60 Hz)	8	48 VAC (50/60 Hz)
4	220 VAC (50/60 Hz)	9	Other
5	24 VDC		

Electrical option

Nil	None
S	With surge voltage suppressor
L	With indicator light
Z	With light/surge voltage suppressor

Electrical entry

G	Grommet (G, GS)
C	Conduit (C)
D	DIN terminal (D, DS, DL, DZ)
T	Conduit terminal (T, TS, TL, TZ)

VC□

VDW

VQ

VX2

**VX□**

VX3

VXA

VN□

LVC

LVA

LVH

LVD

LVQ

LQ

LVN

TI/  
TIL

PA

PAX

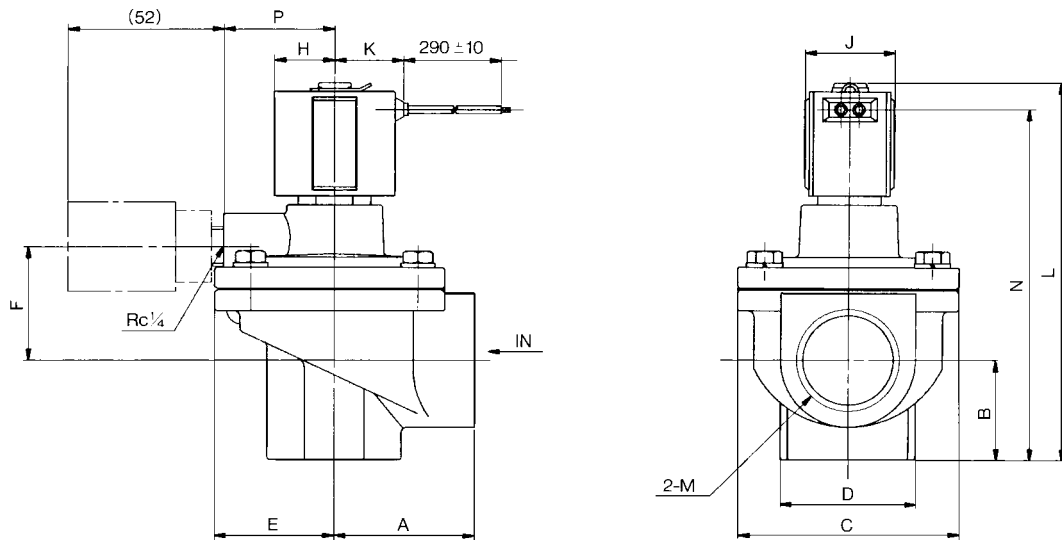
PB

# Series VXF

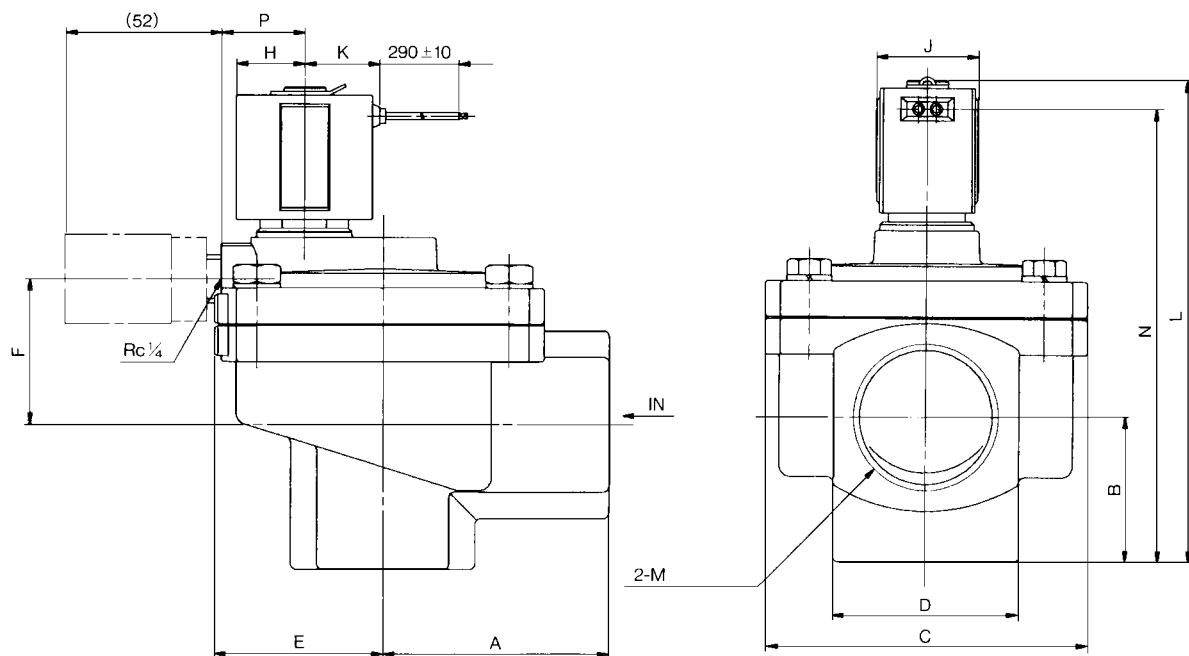
The VX\* series will be revised shortly.

## Dimensions

VXF21<sub>5</sub>0: Solenoid type  
Grommet: G



VXF2280: Solenoid type  
Grommet: G

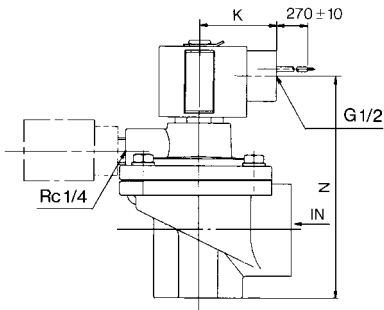


Model	M Port size Rc	A	B	C	D	E	F	H	J	K	L	N	P
VXF2150	3/4	40	25	66	36	35.5	32.5	20	30	23	113	103	33
VXF2160	1	48	33.5	74	45	40	38	20	30	23	127	118	37
VXF2280	1 1/2	77	48.5	110	63	57	49	23	35	25	162	152	28

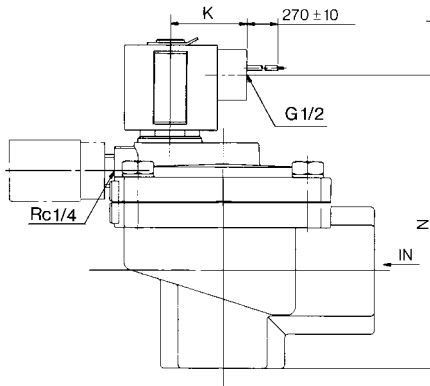
# 2 Port Solenoid Valve For Dust Collector Series VXF

## Conduit: C

VXF2150/2160



VXF2280

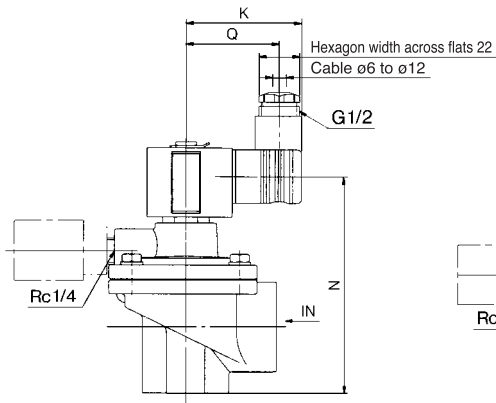


## Conduit

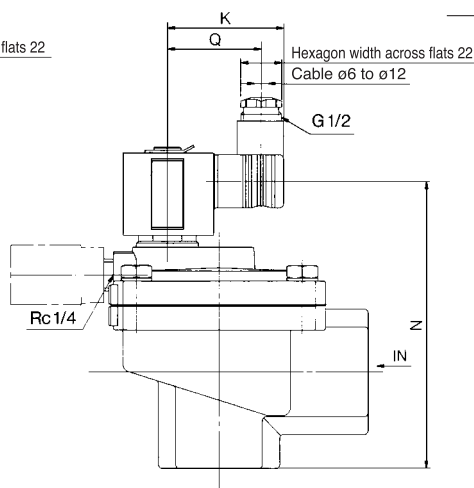
Model	K	N
VXF2150	39	96
VXF2160	39	110
VXF2280	41	144.5

## DIN terminal: D

VXF2150/2160



VXF2280

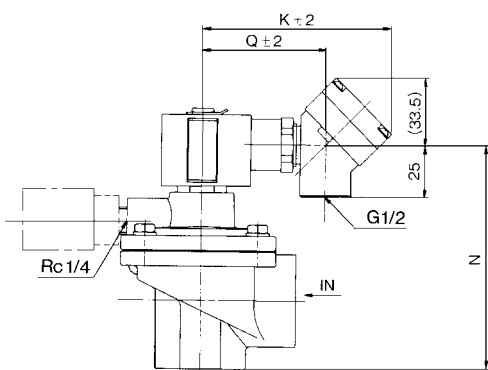


## DIN Terminal

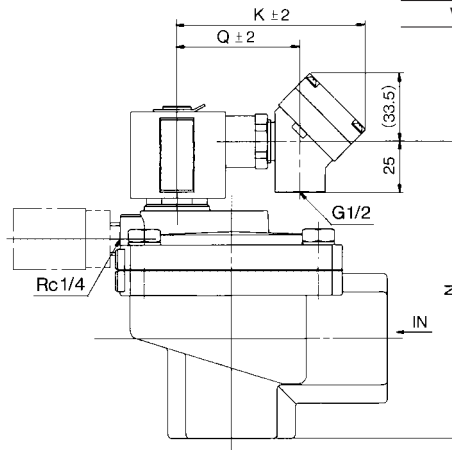
Model	K	N	Q
VXF2150	59	96	45
VXF2160	59	110	45
VXF2280	60	144.5	48

## Conduit terminal: T

VXF2150/2160



VXF2280



## Conduit Terminal

Model	K	N	Q
VXF2150	92	96	59
VXF2160	92	110	59
VXF2280	95	144.5	62

VC □

VDW

VQ

VX2

VX □

VX3

VXA

VN □

LVC

LVA

L VH

LVD

L VQ

LQ

L VN

T / TIL

PA

PAX

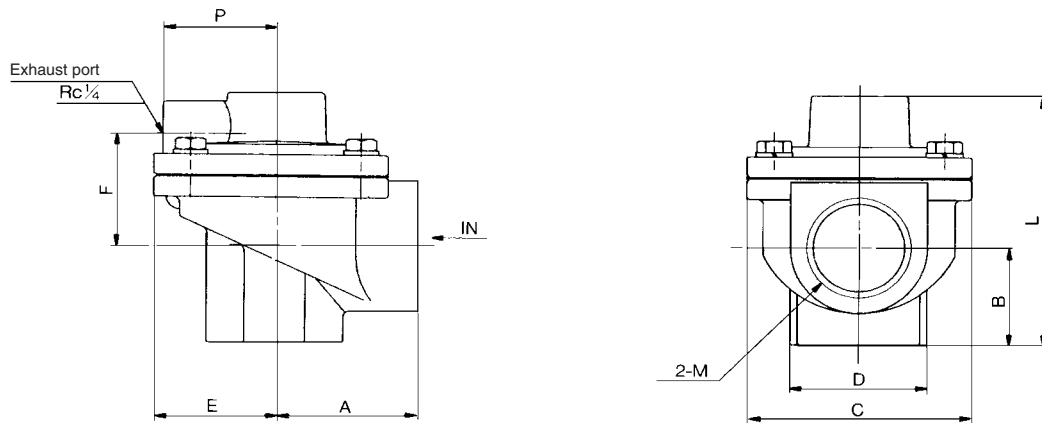
PB

# Series VXF

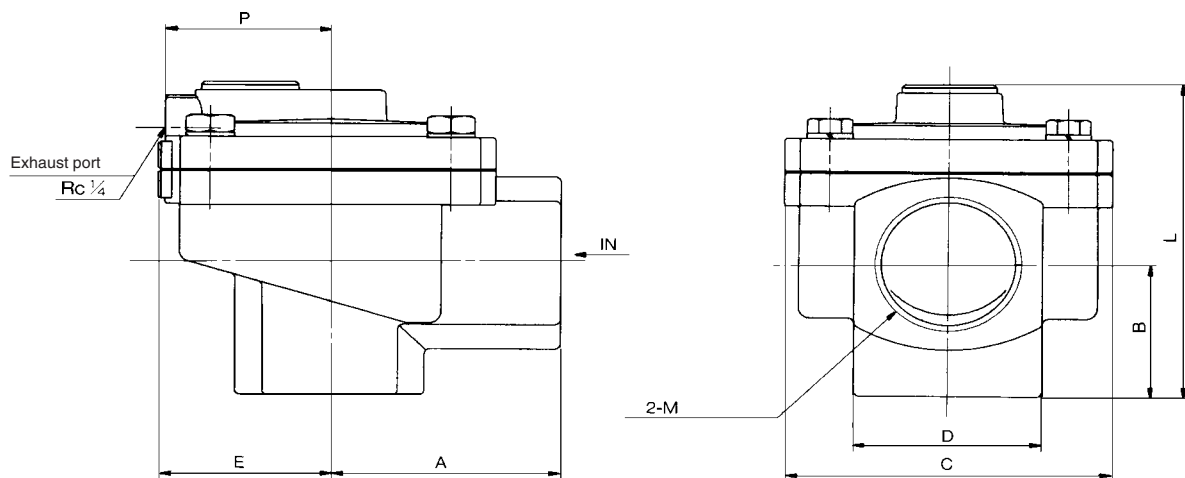
The VX\* series will be revised shortly.

## Dimensions

### VXFA2150/2160: Air operated type

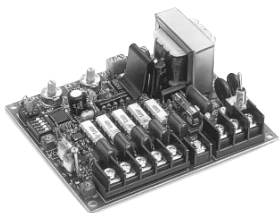


### VXFA2280: Air operated type



Model	M Port size Rc	A	B	C	D	E	F	H	J	K	L	P
VXFA2150	3/4	40	25	66	36	35.5	32.5	20	30	23	72	33
VXFA2160	1	48	33.5	74	45	40	38	20	30	23	86	37
VXFA2280	1 1/2	77	48.5	110	63	57	49	23	35	25	114	55

**Controller Specifications: Series VXFC**



**Specifications**

Model	VXFC <sup>05</sup> <sub>10</sub> -1	VXFC <sup>05</sup> <sub>10</sub> -2	VXFC <sup>05</sup> <sub>10</sub> -5
Voltage <sup>Note)</sup>	100 VAC	200 VAC	24 VDC
Power supply fuse	3 A		1 A
Time setting	ON time	0.01 to 1 sec.	
	OFF time	0 to 120 sec.	
	Time repeatability	Max. ±20% of set time	
Number of output points	5 outputs, 10 outputs		
Operating ambient temperature	0 to 50 °C		
Operating ambient humidity	35 to 85% (No condensation allowed)		
Output current	Max. 1 A		Max. 0.5 A
Noise resistance	2000 V		

Note) The output and input voltages are the same.

**How to Order Controller**

**VXFC** **05** - **1**

Number of output points

Voltage

05	5
10	10

1	100 VAC
2	200 VAC
5	24 VDC

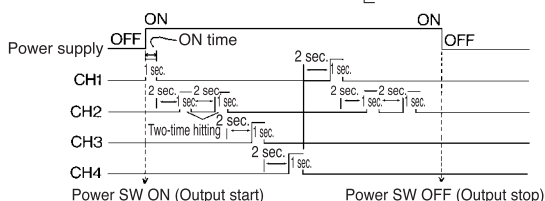
**Two-time Hitting Function**

A two-time hitting function is adopted to improve the bag filter dusting efficiency. Turn ON the dip switch for two-time hitting (OFF for one-time hitting).

(Effective up to the number of setting channels)

**Operation sequence diagram**

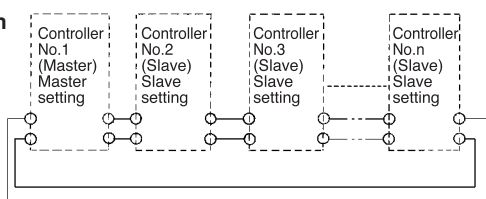
For 4 output points  
Two-time hitting only for CH2  
ON for 1 sec.  
OFF for 2 sec.



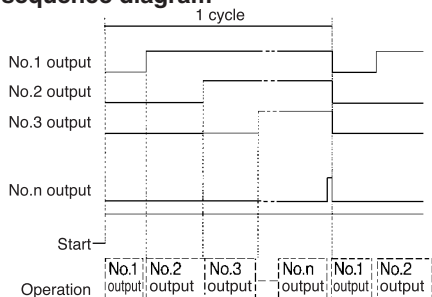
**Cascade Connection (Multiple-board connection)**

VXFC10-1: One board allows outputs at merely 10 output points max. But the points can be increased to 20 and 30 output points by connecting cascades.

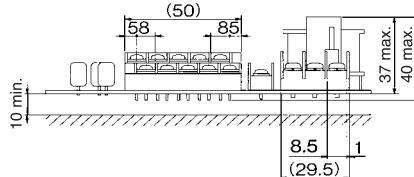
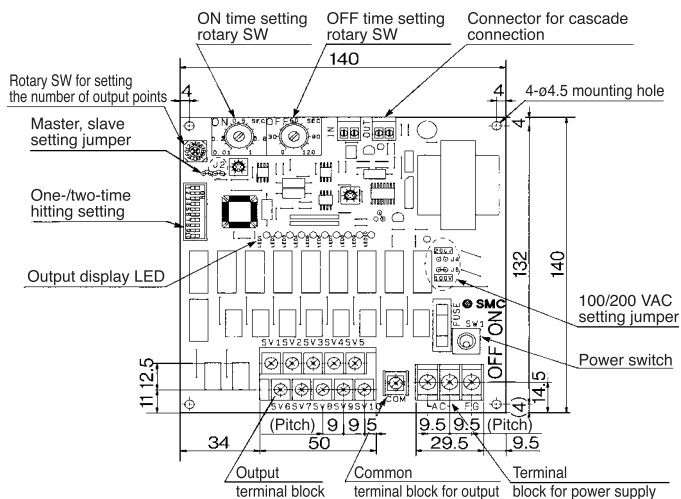
**Connection**



**Operation sequence diagram**



**Dimensions**



(VXFC10)

- VC□
- VDW
- VQ
- VX2
- VX□
- VX3
- VXA
- VN□
- LVC
- LVA
- L VH
- LVD
- LVQ
- LQ
- LVN
- T/ TIL
- PA
- PAX
- PB

## ⚠ Precautions

Be sure to read before handling.

Refer to pages 17-6-1 to 17-6-10 for Safety Instructions and Solenoid Valve Precautions.

### 2 Port Solenoid Valve for Dust Collector: Series VXF

#### Silencer

#### ⚠ Caution

1. The silencer's response properties do not change in the initial stage, but will change due to the blockage after long use. Replace it after using about 500,000 times. This number is subject to change based on fluid quality and energization time.
2. When using a silencer, make space for silencer replacement.

#### Selection

#### ⚠ Caution

1. The response performance and start-up speed deteriorate in case of air operated type (VXFA) as compared with a solenoid type (VXF) case. Refer to the data for pilot piping.
2. Note that for DC units, idle time and return time increase if the voltage is lowered. If a surge voltage suppressor is installed, the return speed decreases.

### Dedicated Controller for Operation: Series VXFC

#### Wiring

#### ⚠ Warning

1. The controller starts its output the moment the power switch is turned ON. Be aware that even if the power switch is turned OFF, power is connected to the terminal board.

#### ⚠ Caution

1. Make sure that the voltage of the power to be input matches the voltage in the controller's specifications. The voltage of the power that has been input becomes the voltage that is output to the solenoid valves.
2. Connect a ground that is rated Class 3 or greater to the power supply terminal board.
3. If the power source is DC, use caution to its polarity. If the polarity is incorrect, it may result in a malfunction or damage.
4. Operate at a voltage in the range of -10% to +10% of the rated voltage.

#### Environment

#### ⚠ Caution

1. Operate under conditions that are free of vibration and impact.
2. Operate in an ambient temperature range between 0°C and 50°C.
3. Operate in an ambient humidity range between 35% to 85% (with no condensation). For further details, refer to the instruction manual in which it is explained separately.

**Table 1.1:** Gas-to-Cloth Ratios for Baghouse/Fabric Combinations<sup>a,b</sup>  
(actual ft<sup>3</sup>/min)/(ft<sup>2</sup> of net cloth area)

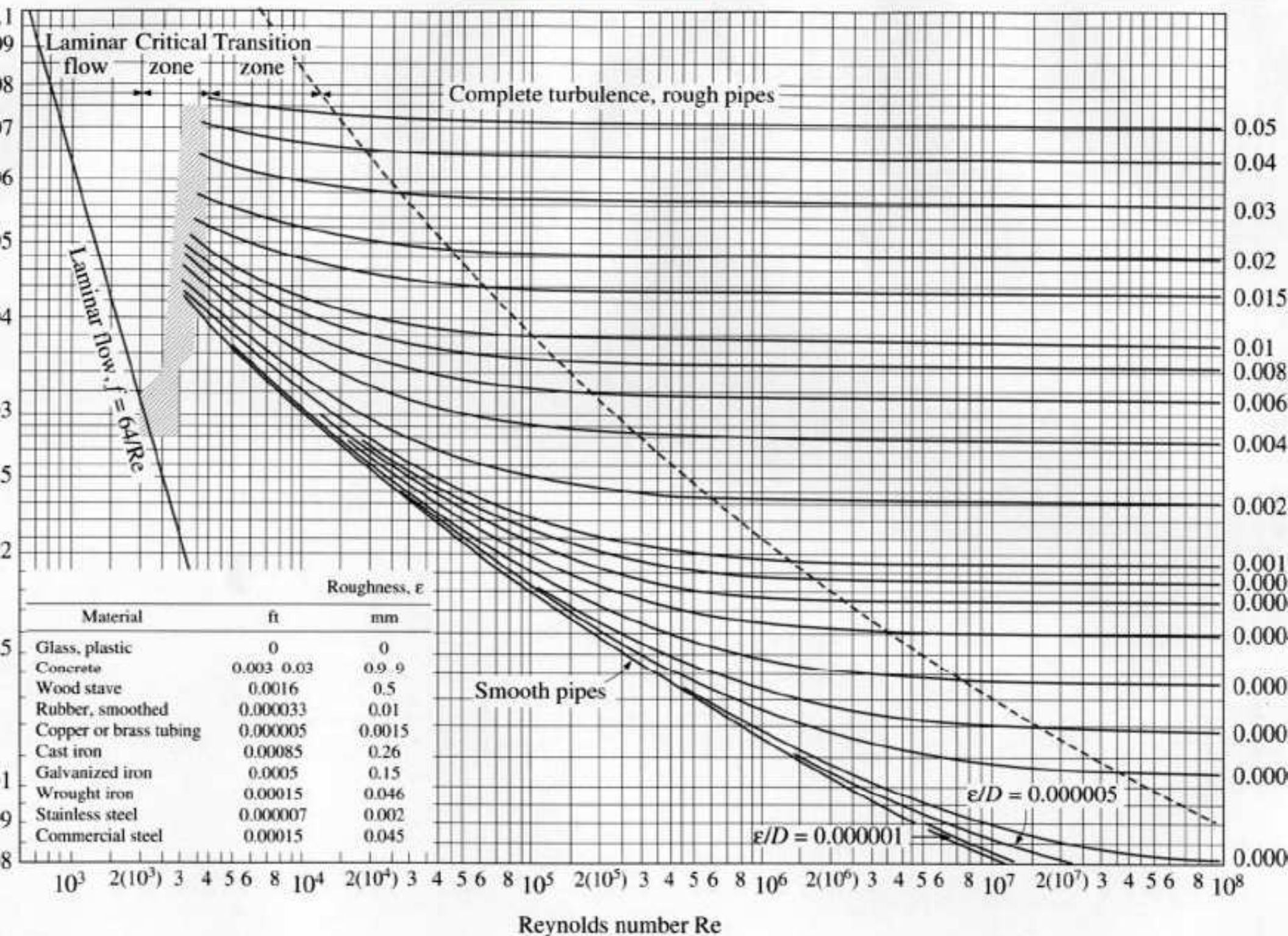
<b>Dust</b>	<b>Shaker/Woven Fabric Reverse-Air/Woven Fabric</b>	<b>Pulse Jet/Felt Fabric Reverse-Air/Felt Fabric</b>
Alumina	2.5	8
Asbestos	3.0	10
Bauxite	2.5	8
Carbon Black	1.5	5
Coal	2.5	8
Cocoa, Chocolate	2.8	12
Clay	2.5	9
Cement	2.0	8
Cosmetics	1.5	10
Enamel Frit	2.5	9
Feeds, Grain	3.5	14
Feldspar	2.2	9
Fertilizer	3.0	8
Flour	3.0	12
Fly Ash	2.5	5
Graphite	2.0	5
Gypsum	2.0	10
Iron Ore	3.0	11
Iron Oxide	2.5	7
Iron Sulfate	2.0	6
Lead Oxide	2.0	6
Leather Dust	3.5	12
Lime	2.5	10
Limestone	2.7	8
Mica	2.7	9
Paint Pigments	2.5	7
Paper	3.5	10
Plastics	2.5	7
Quartz	2.8	9
Rock Dust	3.0	9
Sand	2.5	10
Sawdust (Wood)	3.5	12
Silica	2.5	7
Slate	3.5	12
Soap, Detergents	2.0	5
Spices	2.7	10
Starch	3.0	8
Sugar	2.0	13
Talc	2.5	5
Tobacco	3.5	
Zinc Oxide	2.0	

<sup>a</sup>Reference[18]

<sup>b</sup>Generally safe design values; application requires consideration of particle size and grain loading.



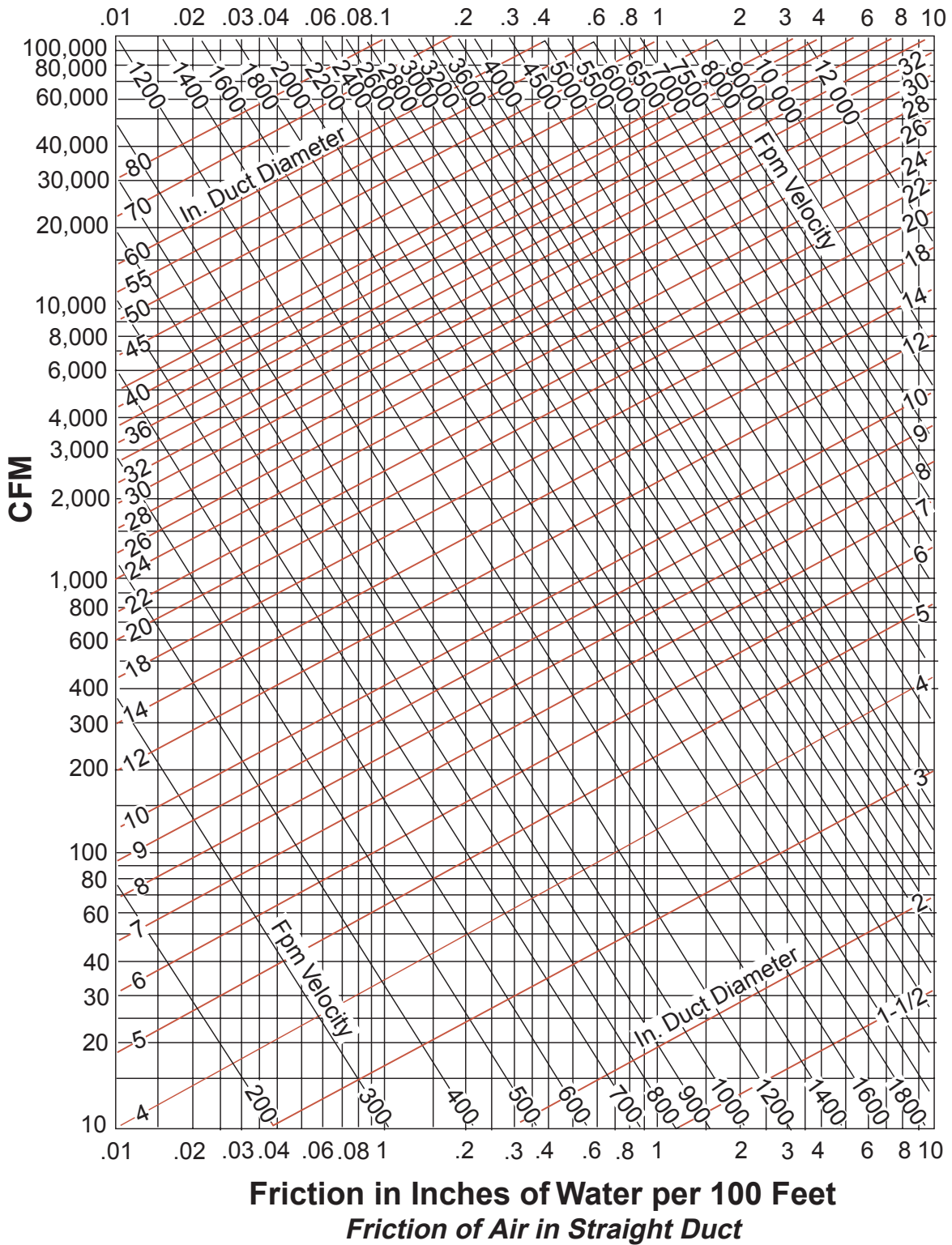
# Diagrama de Moody

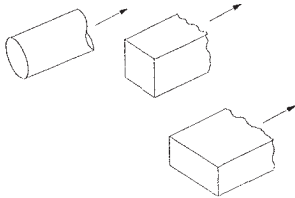
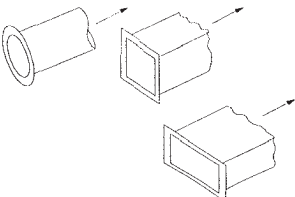
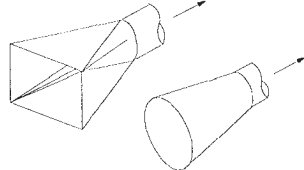
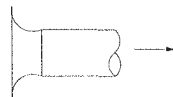
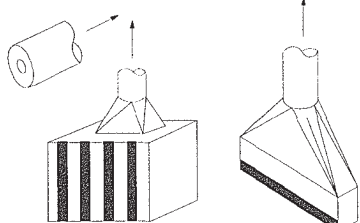
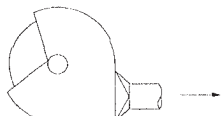




# Duct Design

## Duct Resistance



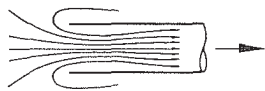
HOOD TYPE	DESCRIPTION	HOOD ENTRY LOSS ( $F_{in}$ )
	PLAIN OPENING	0.93
	FLANGED OPENING	0.49
	TAPER OR CONE HOOD	SEE CHAPTER 10
	BELL MOUTH INLET	0.04
	ORIFICE	SEE CHAPTER 10
	TYPICAL GRINDING HOOD	(STRAIGHT TAKEOFF) 0.65
		(TAPERED TAKEOFF) 0.40

AMERICAN CONFERENCE  
OF GOVERNMENTAL  
INDUSTRIAL HYGIENISTS

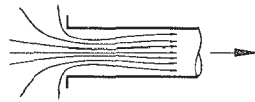
*HOOD LOSS FACTORS*

DATE 4-96

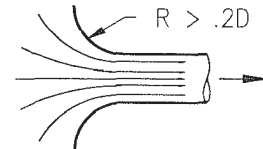
FIGURE 3-16



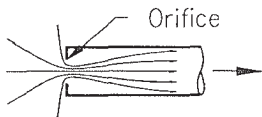
$h_e = 0.93 VP_d$   
PLAIN DUCT END



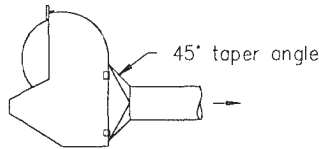
$h_e = 0.49 VP_d$   
FLANGED DUCT END



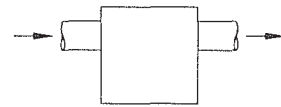
$h_e = 0.04 VP_d$   
BELLMOUTH ENTRY



$h_e = 1.78 VP_{Orifice}$   
SHARP-EDGED ORIFICE



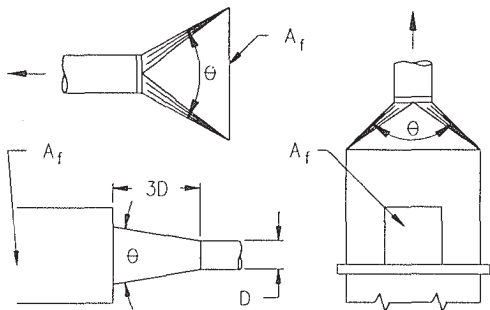
$h_e = 0.4 VP_d$  (tapered take-off)  
 $h_e = 0.65 VP_d$  (no taper)  
STANDARD GRINDER HOOD



$h_e = 1.5 VP_d$   
TRAP OR SETTLING CHAMBER

TAPERED HOODS

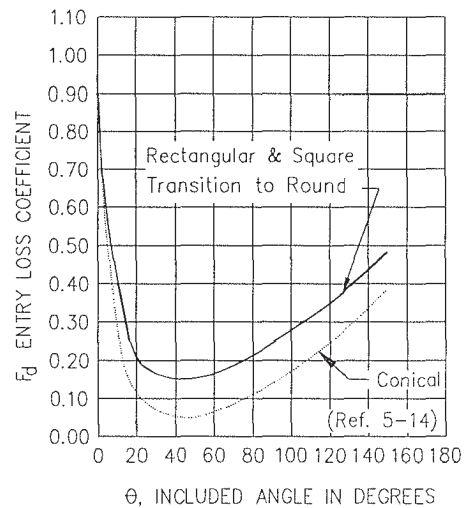
Flanged or unflanged; round, square or rectangular.  $\theta$  is the major angle on rectangular hoods.



Face area ( $A_f$ ) at least 2 times the duct area.

$\theta$	ENTRY LOSS ( $h_d$ )	
	ROUND	RECTANGULAR
15°	0.15 VP	0.25 VP
30°	0.08 VP	0.16 VP
45°	0.06 VP	0.15 VP
60°	0.08 VP	0.17 VP
90°	0.15 VP	0.25 VP
120°	0.26 VP	0.35 VP
150°	0.40 VP	0.48 VP
180°	0.50 VP	0.50 VP

VP = Duct VP =  $VP_d$   
Note: 180° values represent round ducts butted into back of booth or hood without a rectangular to round transition.

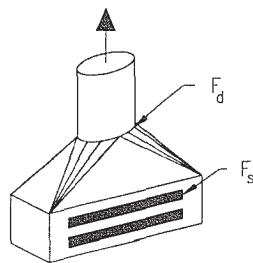


COMPOUND HOODS

A compound hood, such as the slot/plenum shown to the right, would have 2 losses, one through the slot and the other through the transition into the duct.

The slot entry loss coefficient,  $F_s$ , would have a value typically in the range of 1.00 to 1.78 (see Chapters 3 and 10).

The duct entry loss coefficient is given by the above data for tapered hoods.



$h_e = F_s VP_s + F_d VP_d$

MISCELLANEOUS VALUES

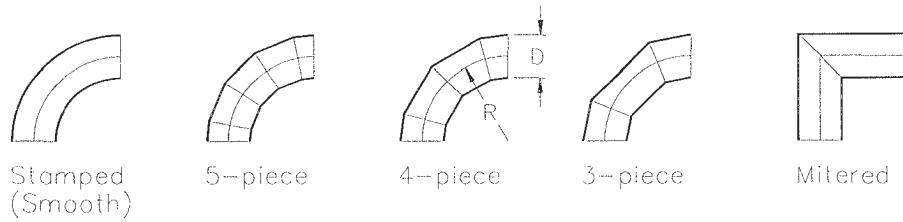
HOOD	ENTRY LOSS COEFFICIENT $F_d$
Abrasive blast chamber	1.0
Abrasive blast elevator	2.3
Abrasive separator	2.3
Elevators (enclosures)	0.69
Flanged pipe plus close elbow	0.8
Plain pipe plus close elbow	1.60

AMERICAN CONFERENCE  
OF GOVERNMENTAL  
INDUSTRIAL HYGIENISTS

HOOD ENTRY  
LOSS COEFFICIENTS

DATE 1-95

FIGURE 5-13



	R/D					
	0.5	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
Stamped	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12
5-piece	--	0.46	0.33	0.24	0.19	0.17*
4-piece	--	0.50	0.37	0.27	0.24	0.23*
3-piece	0.90	0.54	0.42	0.34	0.33	0.33*

\* extrapolated from published data

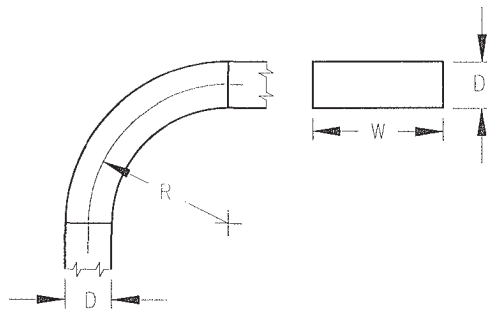
OTHER ELBOW LOSS COEFFICIENTS

- Mitered, no vanes 1.2
- Mitered, turning vanes 0.6
- Flatback (R/D = 2.5) 0.05 (see Figure 5-23)

NOTE: Loss factors are assumed to be for elbows of "zero length." Friction losses should be included to the intersection of centerlines.

ROUND ELBOW LOSS COEFFICIENTS

(Ref. 5.13)



R/D	Aspect Ratio, W/D					
	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
0.0(Mitred)	1.50	1.32	1.15	1.04	0.92	0.86
0.5	1.36	1.21	1.05	0.95	0.84	0.79
1.0	0.45	0.28	0.21	0.21	0.20	0.19
1.5	0.28	0.18	0.13	0.13	0.12	0.12
2.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10
3.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10

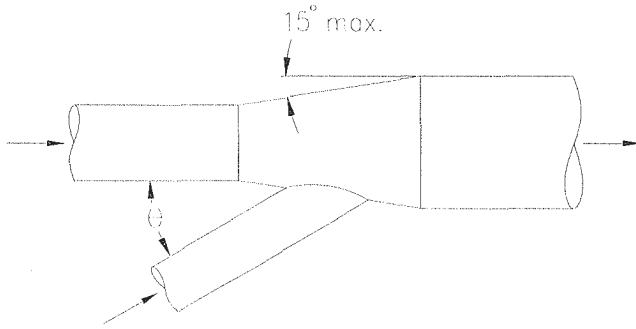
SQUARE & RECTANGULAR ELBOW LOSS COEFFICIENTS

AMERICAN CONFERENCE  
OF GOVERNMENTAL  
INDUSTRIAL HYGIENISTS

DUCT DESIGN DATA  
ELBOW LOSSES

DATE 1-95

FIGURE 5-14

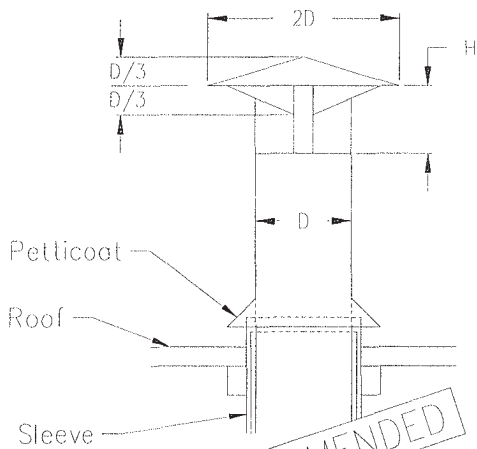


Angle $\theta$ Degrees	Loss Fraction of VP in Branch
10	0.06
15	0.09
20	0.12
25	0.15
30	0.18
35	0.21
40	0.25
45	0.28
50	0.32
60	0.44
90	1.00

Note: Branch entry loss assumed to occur in branch and is so calculated.

Do not include an enlargement regain calculation for branch entry enlargements.

### BRANCH ENTRY LOSSES



H, No. of Diameters	Loss Fraction of VP
1.0 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	1.0

**NOT RECOMMENDED**

### WEATHER CAP LOSSES

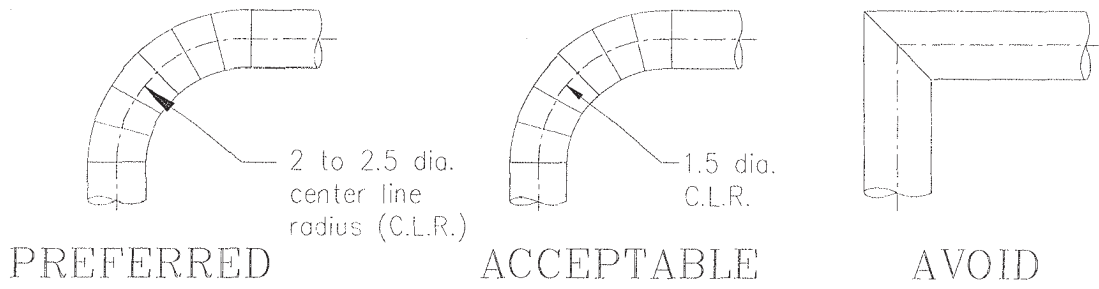
See Fig. 5-29

AMERICAN CONFERENCE  
OF GOVERNMENTAL  
INDUSTRIAL HYGIENISTS

DUCT DESIGN DATA

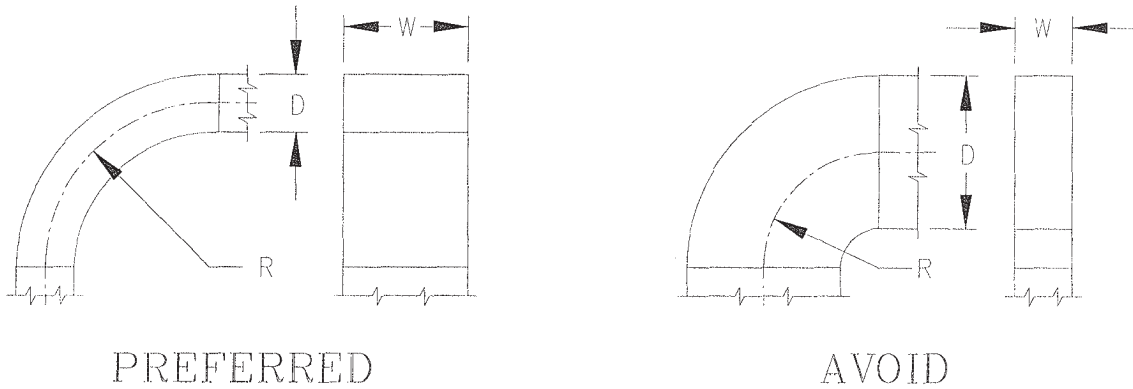
DATE 1-95

FIGURE 5-15



ELBOW RADIUS

Elbows should be 2 to 2.5 diameter centerline radius except where space does not permit. See Fig. 5-13 for loss factor.



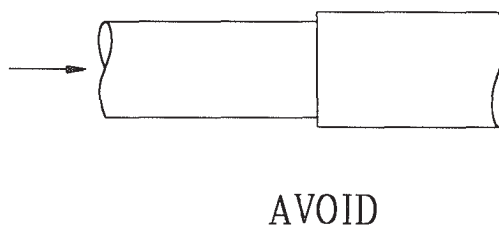
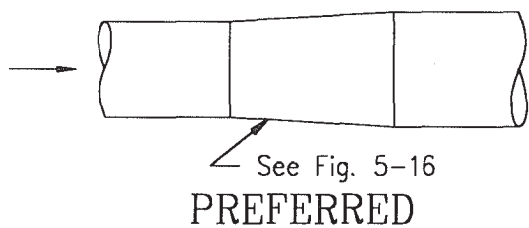
ASPECT RATIO ( $\frac{W}{D}$ )

Elbows should have ( $\frac{W}{D}$ ) and ( $\frac{R}{D}$ ) equal to or greater than (1). See Fig. 5-13 for loss factor.

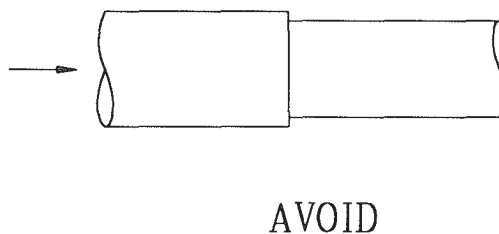
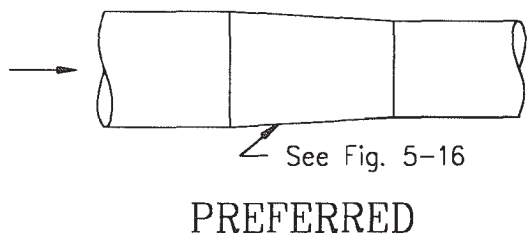
Note: Avoid mitered elbows. If necessary, use only with clean air and provide turning vanes. Consult mfg. for turning vane loss factor.



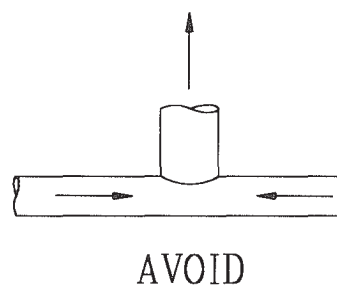
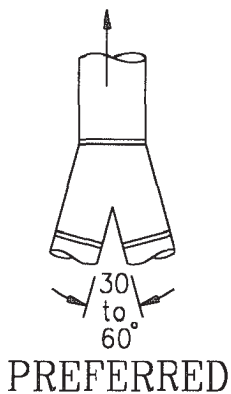
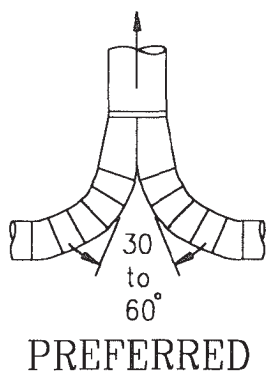
### DUCT ENLARGEMENTS



### DUCT CONTRACTIONS



### SYMMETRICAL WYES

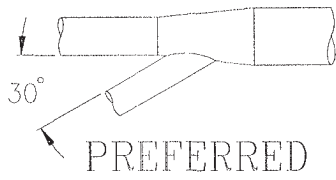


AMERICAN CONFERENCE  
OF GOVERNMENTAL  
INDUSTRIAL HYGIENISTS

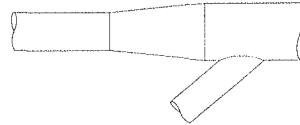
*PRINCIPLES OF DUCT DESIGN*

DATE 1-95

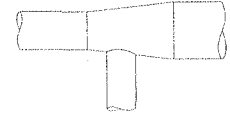
FIGURE 5-25



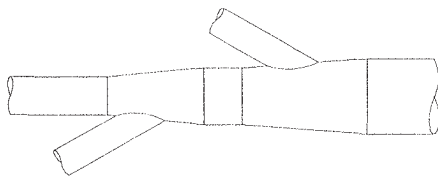
PREFERRED



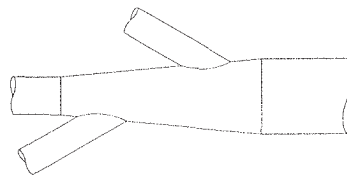
ACCEPTABLE



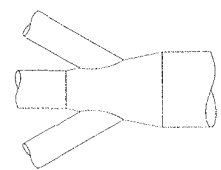
AVOID



PREFERRED

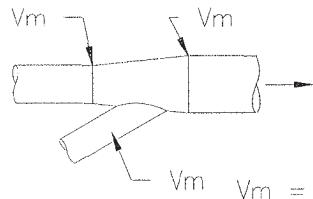


ACCEPTABLE  
BRANCH ENTRY

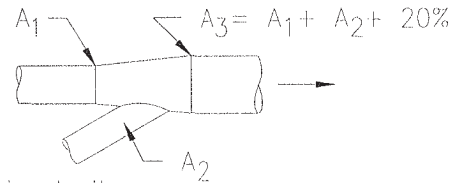


AVOID

Branches should enter at gradual expansions and at an angle of 30° or less (preferred) to 45° if necessary. Expansion should be 15° maximum. See Fig. 5-15 for loss coefficients.



PREFERRED



AVOID

$V_m$  = Minimum transport velocity  
 $A$  = Cross section area

### PROPER DUCT SIZE

Size the duct to maintain the selected or higher transport velocity.





Customer: Gonzalo Sánchez

Fan Tag: VT002

CFM: ..... 35,000

Job ID: Tesis

Model: 44 BI

SP: ..... 10 in.wg

RPM: ..... 1164

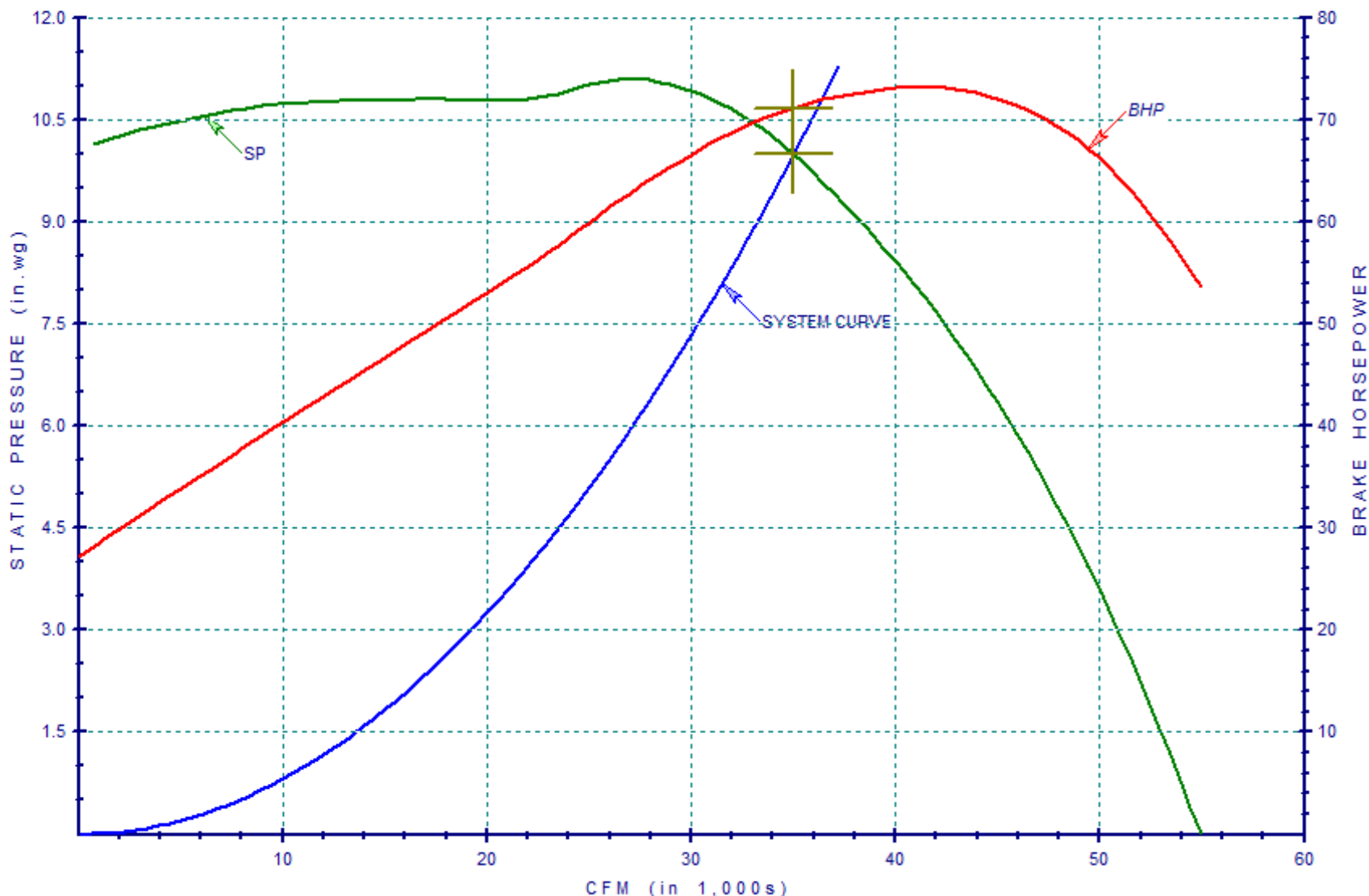
BHP: ..... 71.12

Outlet Velocity: 3,133

Density: ..... 0.075

105

### AEROVENT PERFORMANCE CURVE



#### Inlet Sound Power

Octave	Level
1	115
2	99
3	111
4	97
5	95
6	92
7	84
8	85

in db re 10<sup>-12</sup> watts

3/15/2015

Page: 1 of 1 ..... #2



Customer: Gonzalo Sánchez

Fan Tag: VT001

CFM: ..... 40,000

Job ID: Tesis

Model: 44 BI

SP: ..... 13 in.wg

RPM: ..... 1329

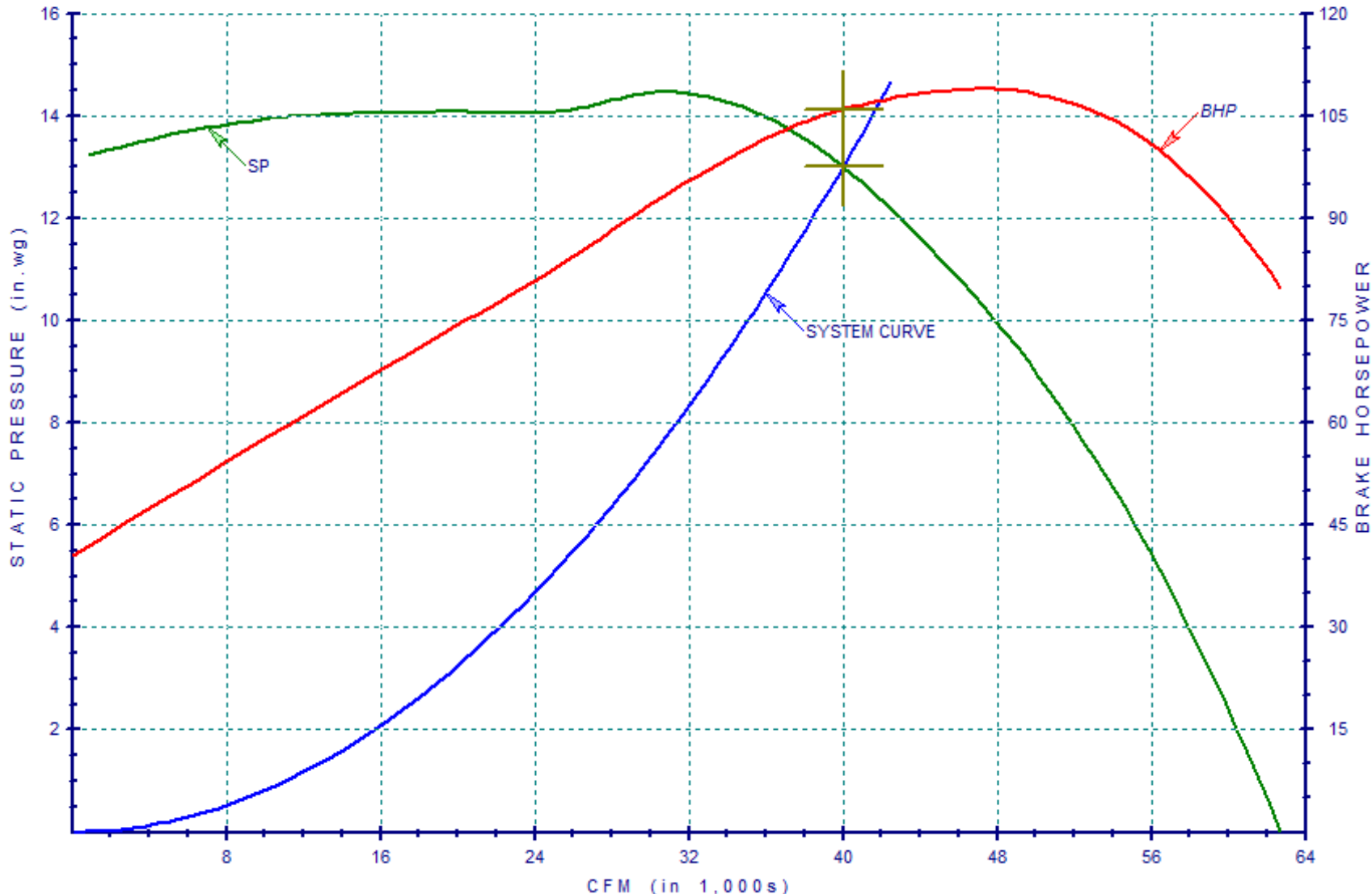
BHP: ..... 105.90

Outlet Velocity: 3,581

Density: ..... 0.075

108


### AEROVENT PERFORMANCE CURVE



Inlet Sound Power	
Octave	Level
1	118
2	102
3	114
4	100
5	98
6	95
7	87
8	88

in db re 10<sup>-12</sup> watts

Guayaquil, 17, Marzo del 2015  
**COTIZACIÓN N° 2219-15**

<b>SEÑORES:</b>	 <b>BOSCH</b> Innovación para tu vida Pque. Industrial Pascuales, Km 16.5 Vía a Daule <b>Guayaquil – Ecuador</b>
<b>ATENCION:</b>	Gonzalo Sánchez
<b>TEL:</b>	600 5891 Ext. 444 / Ext. 402
<b>FAX:</b>	600 5892 Ext. 405
<b>CEL:</b>	
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:Gonzalo.sanchez@bosch.com.ec">Gonzalo.sanchez@bosch.com.ec</a>

**Ref.: Cotización solicitada. Sistema de aspiración.**

De nuestra mayor consideración:

Atentos a lo solicitado tenemos el agrado de cotizar los siguientes ítems, según la información por Uds. solicitada y de acuerdo a las siguientes consideraciones:

**DESCRIPCION DE LA PROVISION**

**Ítem 1: FILTRO DE MANGAS**

<b>Proceso</b>	Aspiración Localizada planta ensambladora de baterías		
Caudal	40.000 CFM	Temperatura Máx	140 C
Conc. de polvo	Desconocida	Conc. ácida / básica	Desestimada
Área Filtrante	540 m2	Relación de Filtrado	2 m3 / min.m2
<b>Producto</b>	Óxido de plomo (Polvo)		
Granulometría	Desconocida		
Características	Polvo		
Forma Partícula	Polvo	Angulo de Reposo	Menor a 60°
Densidad Aparente	Desconocida	Cont. de Humedad	Menor a 5 %

**CARACTERISTICAS TECNICAS:**

El equipo está compuesto por un cuerpo, cabezal, tolva y patas de gran rigidez estructural.

En el cuerpo se alojan las mangas, que actúan como medio filtrante. En el cabezal se ubican las válvulas sopladoras, cuya función es la limpieza automática de las mangas mediante pulsos de aire comprimido en contracorriente. (Sistema pulse jet – autolimpiante). En la tolva se recoge el material que resulta del filtrado. Las patas de apoyo están calculadas para soportar el peso propio, la carga eventual de la tolva llena y las cargas dinámicas ejercidas por los vientos.

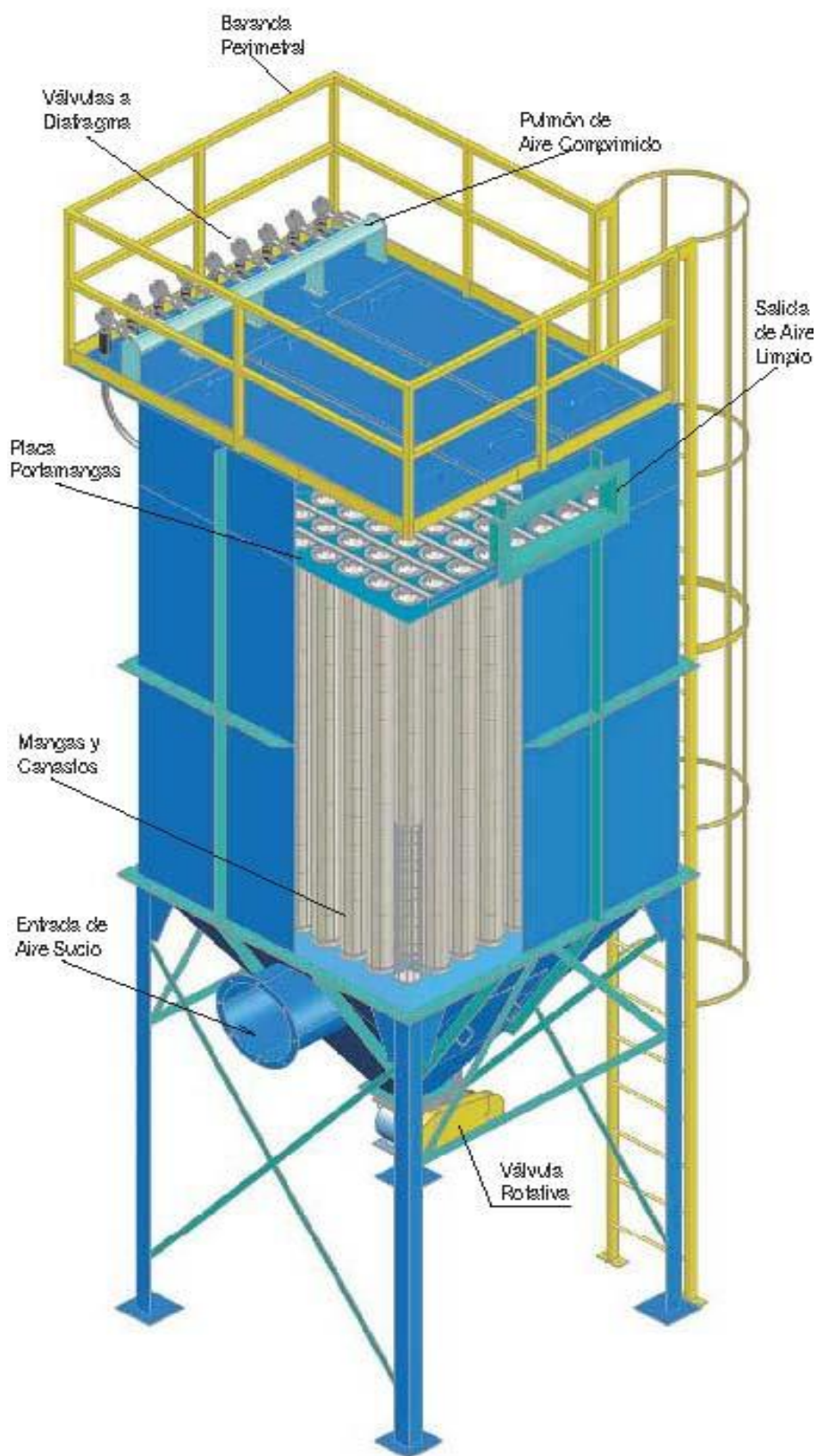
Las mangas son reemplazadas desde la zona superior (limpia) evitando el ingreso a la zona sucia con los riesgos para la salud del operador que esa operación conlleva.

Permite operar con una depresión de – 5 Kpa (debido a su construcción reforzada en 1/8" de espesor y refuerzos perimetrales. Todo el conjunto está diseñado verificando los valores de "Can Velocity" (velocidad ascendente y una de las claves de la operación).

El equipo se entrega completo con su debido manual de instalación y mantenimiento.

Las características técnicas de los componentes se detallan a continuación:

1	GABINETE	Modulo seleccionado	FM 1031 – Q368
		Caudal a tratar	40.000 CFM
		Área filtrante total	540 m <sup>2</sup>
31	VALVULAS	Modelo	Mecair, VNP 214, doble diafragma
		Solenoides	Incorporado, 220 Volt
		Diámetro de conexión	Rosca 1 1/2", cuerpo en fundición de aluminio
310	MANGAS	Dimensiones	Diámetro 156 mm, Largo 3680 mm
		Tipo de tela	PE punzonado, 500 g / m <sup>2</sup>
		Tratamiento superficial	Gaseado
		Tipo de acople	Snap band
		Temp. máx. trabajo	130 C
310	CANASTOS	Dimensiones	Diámetro 147 mm, Largo 3650 mm
		Tipo de tobera	A° C°, repujada
		Tipo de alambre	A° C°, diámetro 3-4 mm
		Terminación superficial	Epoxi
1	TIMER	Modelo	Descrito en el ítem 2
1	ACCESORIOS	Escalera y Baranda	Se incluye
		Venteo antiexplosivo	Se excluye



## **Ítem 2: MICROPROCESADOR DIFERENCIAL DE PRESION**

Microprocesador modelo “MCS”, marca MECAIR (Italia), diseñado especialmente para actuar sobre las válvulas diafragmas usadas en los sistemas de limpieza automática pulse-jet. Actúa sobre las válvulas controlando el tiempo de apertura durante el disparo (pulso) y el tiempo de espera entre un disparo y el de la siguiente válvula (pausa), usando la caída de presión  $\Delta P$  en el filtro, como parámetro de referencia. **La gran ventaja consiste en que solo actúa cuando es necesario provocando un ahorro en el aire y energía consumida.**

El efecto de filtrado se debe a la formación de una capa del mismo polvo depositada sobre un elemento “soporte” (manga ó cartucho); por ello el microprocesador se encarga de mantener constante la presión en el filtro y por consiguiente a mantener constante dicha capa de polvo.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Lectura digital de la caída de presión en las mangas ( $\Delta P$  filtro).
- Lectura digital de válvula operando.
- Salida analógica de 4 a 20 mA (opcional).
- Tensión de alimentación 110 ó 220 v, fácilmente cambiable mediante switch.
- Tensión de salida 24, 110 ó 220 v, fácilmente cambiable mediante switch.
- Gabinete plástico bajo norma IP65.
- Leds de: válvula pulsando, válvula en espera y alarma activada.
- Tecla de función manual / automático.



### FUNCIONES:

Automático / Manual: En modo automático el funcionamiento está sujeto a la presión diferencial, mientras que, en modo manual pulsa periódicamente sin detenerse.

Pulso: El tiempo de apertura del diafragma (pulso) tiene que ver con la cantidad de aire comprimido usado en cada disparo. A mayor pulso, mayor fuerza de limpieza.

Pausa: Mediante esta función se establece el tiempo desde que pulsa una válvula hasta que pulsa la siguiente.

$\Delta P$  Presión: A medida que el elemento filtrante (manga o cartucho) se ensucia, el  $\Delta P$  en el filtro aumenta, cuando supere el valor del Set  $\Delta P$  filtro, el Timer actúa sobre los solenoides de las válvulas diafragma generando el ciclo de limpieza, y por debajo del Set  $\Delta P$  filtro permanece en stand by.

$\Delta P$  Alarma: Por diversas fallas puede suceder que la caída de presión aumente en forma desmedida (inacción del sistema de limpieza, obturaciones, etc.). Cuando el  $\Delta P$  en el filtro supera el valor del Set de presión de alarma, el Timer actúa sobre dos contactos internos (normal abierto y normal cerrado), que vinculados a un circuito eléctrico adecuado, puede activar una señal de aviso (sirena, lámpara, etc.).

Ciclo de limpieza por parada del ventilador: En los filtros de polvos, ocurre a menudo que, con cada parada del ventilador el elemento filtrante queda cargado con suciedad y si el tiempo de parada es extenso (por ejemplo fin de semana) se corre con la



posibilidad de fragüe o apelmazamiento del polvo. Por esto el Timer realiza de 1 a 99 ciclos de limpieza, con cada parada del ventilador.

Contador de horas: Esta función es de solo lectura. Se utiliza para referir cualquier tarea de mantenimiento o evento del filtro (cambio de mangas, cambio de diafragmas, reparación del ventilador, etc.) con la cantidad de horas de funcionamiento. De esta manera se sabrá, por ejemplo, la vida útil de las mangas expresadas en "horas de funcionamiento".

**Precio Unitario ítems 1 y 2.....U\$S 78.900.-**

Son dólares: Setenta y ocho mil novecientos.-

**Ítem 3: VENTILADOR CENTRÍFUGO (poleas y correas)**

Un ventilador centrífugo de alto rendimiento, construido en chapa de acero al carbono de primera calidad; los elementos metálicos se limpian en forma mecánica severa y se terminan con la aplicación de pintura convertidor de óxido color.

El rotor está acoplado al motor mediante poleas y correas (arreglo constructivo 1), el motor es normalizado y 100 % blindado.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Modelo	MET 800
Caudal	40.000 CFM
Presión	12"
Temperatura del aire	20 C
Altura sobre el mar	0 metros
Arreglo Constructivo	1
Velocidad de Giro Rotor	1200 RPM
Potencia del Motor	150 HP
Silenciador de ruido	NO
Antivibratorios	NO



**Precio Unitario ítem 3.....U\$S 25.000**

Son dólares: Veinticinco mil C/00/100

**Ítem 4: INGENIERIA Y PROYECTO**

Incluimos en este ítem ingeniería y proyecto para la definición, especificación de los ítems mencionados precedentemente. Incluye relevamiento, planos en AutoCad pre y postobra y emisión del resto de la documentación necesaria solicitada por la especificación. Se incluye manuales de operación y mantenimiento y capacitación del personal a cargo del equipamiento.

**Ítem 5: SUPERVISIÓN DE MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA:**

Supervisión de montaje y puesta en marcha en un período no mayor de 2 días corridos.

**Precio Unitario ítems 4 y 5.....U\$S 4.600**

Son dólares: Cuatro mil seiscientos.-



## **LÍMITES Y EXCLUSIONES**

- *Instalación neumática de aire comprimido hasta el pulmón del equipo. Compresor de aire comprimido. Todo tipo de equipo para el tratamiento del aire comprimido (debe ser limpio y seco, apto para instrumentos neumáticos).*
- *Instalación eléctrica. Conexionado eléctrico entre timer y válvulas a diafragma. Todo tipo de Tablero eléctrico de potencia y/o de comando de motores. Alimentación de Fuerza Motriz a cada motor. Detector de velocidad cero para motores. Componentes y Software para comunicación con una PC. Monitoreo continuo de las emisiones. Detector de rotura de los elementos filtrantes.*
- *Suministro de aislación térmica para el filtro, conductos y/o accesorios.*
- *Venteo en caso de explosión.*
- *Instalación de sprinklers contra incendio.*
- *Silenciador para atenuar el ruido de equipos a suministrar.*
- *Todo tipo de estructura soporte, plataformas de servicio y/o escaleras de acceso a los componentes mecánicos excepto aquellas expresamente cotizadas.*
- *Equipos y/o elementos necesarios para la disposición de los polvos recolectados.*
- *Cualquier otro esquema de pintura distinto al ofertado.*
- *Fabricación y montaje de conductos y accesorios.*
- *Montaje mecánico de todo lo especificado. Grúas y equipos de izaje.*
- *Todo tipo de obra civil, albañilería y ayuda de gremio.*
- *Todo tipo de certificado y/o tramites de gestión ante autoridades municipales, provinciales y/o nacionales.*

## **GARANTIAS**

**METALAB S.A.** garantiza sus equipos por defectos de construcción y/o fallas en los materiales utilizados, siempre y cuando hayan sido usados en forma correcta. Todo equipo suministrado por proveedores de METALAB S.A. tendrán la garantía que ofrece dicho proveedor.

El periodo de garantía será de 12 meses corridos, contados a partir de la fecha de recepción de la mercadería.

## **CONDICIONES COMERCIALES**

**Plazo de entrega:** 90 días laborables.

**Condición de pago:** 50% anticipo, saldo mediante certificaciones por avance de obra.

**Entrega:** planta Vía a Daule BOSCH

**Validez de la oferta:** 10 días.

Aguardando sus noticias, saludamos a Uds. muy atentamente.

**Nicolas Altamura**

[Nicolas.altamura@metalabsa.com](mailto:Nicolas.altamura@metalabsa.com)



Cotización No. **IACQ47219**  
Fecha Wednesday, March 18, 2015  
Requisición No. Solicitud verbal durante visita R Cortes a Planta  
Atención **Gonzalo Sanchez**  
**Tecnova S. A. (Bosch Ecuador)**  
Parque Industrial Pascuales  
Km. 16 Via a Daule  
Guayaquil  
Ecuador

**Industrial Accessories Company**  
4800 Lamar Avenue,  
Mission, Kansas USA 66202

**Raúl Cortés**  
Tel. + 1 314 365 2793  
rcortes@iac-intl.com

Tiempo de Entrega*	Términos de Entrega	Términos de Pago
4 @ 5 SEMANAS	EXWORKS FABRICA, USA	TRANSFERENCIA BANCARIA

Item #	Cant./Un.	No. de Parte	Descripción	Precio Un.	Sub-Total
1	380 c/u	201	FILTER BAG: 6.0"D X 144.5"L: 16OZ SELF SUPPORTED POLYESTER FELT WITH PTFE MEMBRANE (TX01) PLAIN SBDI TOP LOAD	\$21.95	\$8,341.00
2	380 c/u	202	CAGE: TOP LOAD DESIGN, (rolled flange top collar) 5.625" BODY diameter x 144" OAL, 6" INTEGRAL VENTURI, 16 VERTICAL WIRES; 11 gauge 16 8" RING SPACING, WELDED PAN BOTTOM OF 5.625" OD PAN BOTTOM, ALL GALVANIZED MILD STEEL CONSTRUCTION	\$25.05	\$9,519.00
				<b>Total USD</b>	<b>\$17,860.00</b>

Por favor comuníquese conmigo si tiene cualquier duda o requiere mayor información.

*Raúl Cortés*

INDUSTRIAL ACCESSORIES CO.

- Oferta válida por 30 días. Los precios son Exworks USA (la ciudad puede variar dependiendo del producto y localización de la planta de fabricación). Diferentes productos pueden tener diferentes orígenes. Costos de consolidación de material están disponibles a solicitud.
- Montos en Dólares Americanos (USD) y basados en los costos de materia prima al momento de la oferta. Ordenes serán revisadas al momento de su recepción para confirmación de precio y tiempo de entrega. Tiempos de entrega ofertados en base al calendario de fabricación al momento de la cotización y puede variar sin notificación.
- Los precios ofrecidos NO incluyen ningún impuesto comercial o de importación que pueda ser aplicable.
- Los fletes cotizados son basados en pesos/dimensiones aproximados y están sujetos a cambios ya completada la fabricación con base en datos finales.
- Para mangas no proveídas con anterioridad, el tiempo de entrega corre a partir de la aprobación de muestra enviada.
- Empaques especiales o de exportación NO están incluidos y requieren una cuota adicional, solicítelo al momento de la cotización.



A Twin City Fan Company

5959 Trenton Lane · Minneapolis, MN 55442-3238  
Phone (763)551-7500 · Fax (763)551-7501 · www.aerovent.com



Parque Industrial Pascuales  
Ecuador

March 23, 2015  
Page: 1

Job name: Dust Extraction  
Job ID: 32315

We are very pleased to provide you with the following proposal. Please let me know if you need anymore information? All orders should be made out to Ventilation Specialists, Inc. c/o Aerovent. The estimated freight cost for shipping this fan from the factory to you Miami, FL freight forwarder is \$3,678 not included in the price below.

Tag:	N/A		
Model:	44 BI - Backward Inclined Centrifugal Fan, SWSI		
Arrangement:	9	Class:	III
Performance:	40,000 CFM	13 SP (in.wg)	0.075 (lb/ft <sup>3</sup> ) Density
	1329 RPM	105.90 Oper. BHP	105.90 Std. BHP
Quantity:	1		

Accessories Included:

- Drain W/ Plug
- Guard - Shaft & Bearing
- Vibration Isolators - RIS Floor
- 125 HP, 1800 RPM, 460V, 3Ph, 60Hz, TEFC, Prm.Eff., 444T
- (Mount Aerovent Motor -- By Others)
- Constant Speed V-belt Drive, 1.4 SF

Optional Accessories (Not added to total):

Cleanout Door - Quick Opening	\$246.00
-------------------------------	----------

---

Total for all fans:

Extended Total Selling price:	\$23,668.00
Extended Estimated Shipping Weight: 4,475 lb.	

The shipping terms are FOB factory; freight not included from factory to your Miami, FL freight forwarder. Payment terms are Net 30 with credit approval unless purchased from outside of the United States, in which case prepayment in full is required with the purchase order. If you use the wire transfer fee there is a \$50.00 processing fee charged by the banks that must be added to the proposal price. This proposal does not include Florida sales tax or any customs or duties involved with export. The above prices are valid for 30 days from the date on the proposal.

We appreciate the opportunity to provide this quotation and trust that it meets your requirements. If additional information is needed, or if we can offer further assistance, please contact us at your earliest convenience.

Thank you for the opportunity to earn your business.



*A Twin City Fan Company*

5959 Trenton Lane · Minneapolis, MN 55442-3238  
Phone (763)551-7500 · Fax (763)551-7501 · [www.aerovent.com](http://www.aerovent.com)



Parque Industrial Pascuales  
Equador

March 23, 2015  
Page: 2

Job name: Dust Extraction  
Job ID: 32315

Sincerely,

Jon Middlebrook  
Ventilation Specialists, Inc.



# SUBMITTAL

Customer: Parque Industrial Pascuales

Job Name: Dust Extraction

Job ID: 32315

Date: March 23, 2015

Submitted By: Jon Middlebrook  
PO Drawer 750  
Winter Haven, FL 33882  
Phone: 863-324-4000  
Fax: 863-294-3646

Page 1



**Fan Tag:**

Job Name: Dust Extraction  
 Job ID: 32315  
 Date: March 23, 2015  
 Page: 2

**BI - Backward Inclined Centrifugal Fan, SWSI**

*See Attached Drawing*

**FAN DESCRIPTION**

Qty	Type	Size	Wt (lb.)
1	BI	44	4,475

Approximate weight each, includes fan, motor and accessories.

**FAN PERFORMANCE**

CFM	SP (in.wg)	RPM	Oper. BHP
40,000	13.0	1329	105.90

Temperature: 70°F, Altitude: 0ft

**MOTOR DATA**

HP	RPM	Volt/Ph/Hz	Encl
125	1800	460/3/60	TEFC

Efficiency: Premium

**SOUND DATA**

Octave Bands	1	2	3	4	5	6	7	8	LwA	dBA	Sones
Level at Inlet	118	102	114	100	98	95	87	88	108	94	108

LwA: The overall (single value) fan sound power level in dB re. 10-12Watts, 'A' weighted.

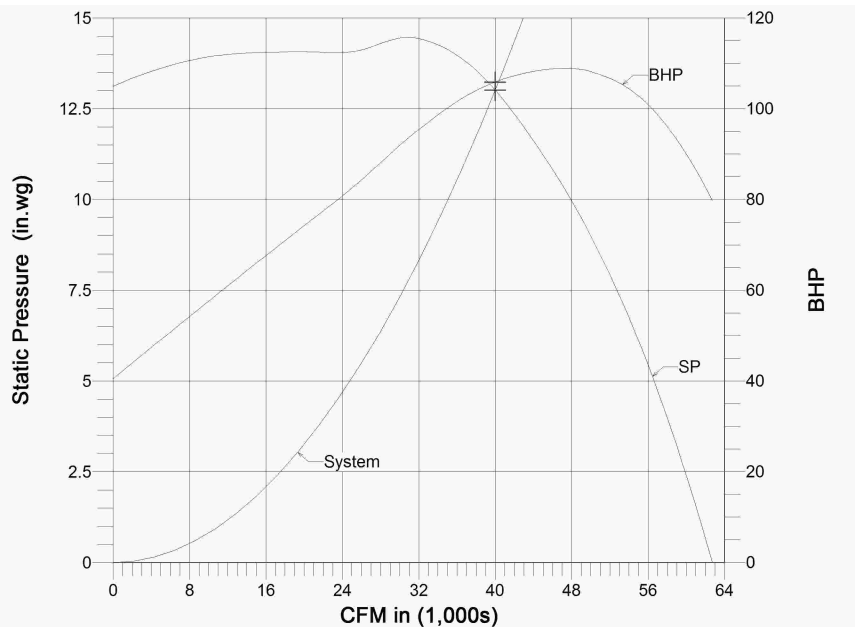
dBA: Estimated sound pressure level (re:0.0002 microbar) based on a single ducted installation at 5 ft., using a directivity factor of 1.

**ACCESSORIES INCLUDED**

- Drain W/ Plug
- Guard - Shaft & Bearing
- Vibration Isolators - RIS Floor
- Mount Aerovent Motor

**OPTIONAL ACCESSORIES**

- Cleanout Door - Quick Opening





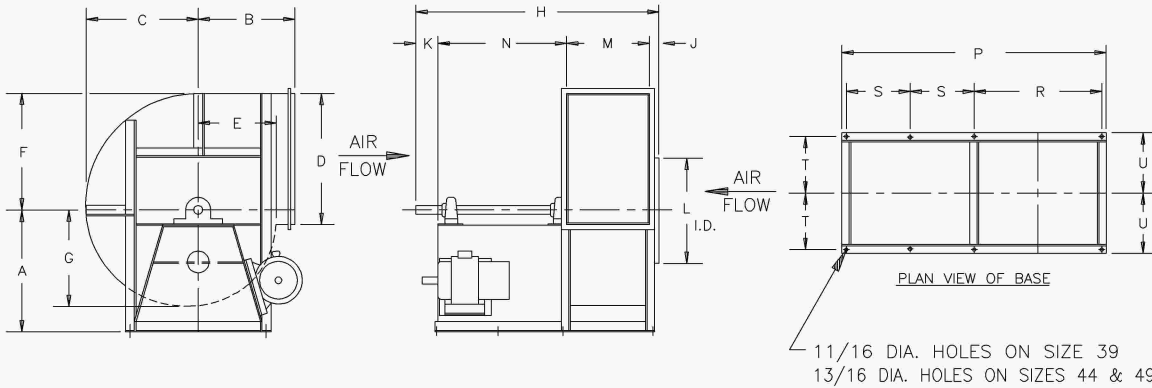
**Fan Tag:**

Job Name: Dust Extraction  
 Job ID: 32315  
 Date: March 23, 2015  
 Page: 3

DISCHARGE POSITION	TOP HORIZONTAL	BOTTOM HORIZONTAL	UP BLAST	DOWN BLAST	TOP 45° DOWN	BOTTOM 45° UP	TOP 45° UP
CLOCK-WISE							
COUNTER CLOCK-WISE							

\* STANDARD POSITION & ROTATION

NOTE: ARR. 1 WITHOUT MOTOR  
 ARR. 9 WITH MOTOR



11/16 DIA. HOLES ON SIZE 39  
 13/16 DIA. HOLES ON SIZES 44 & 49

① FOR TH, BH, UB, BAU & TAU DISCHARGES.

SIZE	A				B		C	D	a	b		c	d	E	F
	TH&TAD	BH&BAU	UB&TAU	DB	①	TAD				BAU&TAU	TAD				
39	37 3/16	45 1/4	43 11/16	33 9/16	29 9/16	46 7/16	39 7/8	43 15/16	37 3/16	50 3/8	62 3/16	41 5/16	29 7/8	25 5/16	41 11/16
44	41 1/8	50 3/8	48 7/16	37 1/4	32 5/8	51 3/16	44 5/8	49 7/32	41 11/16	55 3/4	69	46 3/16	33 1/2	28 11/32	46 11/16
49	45 1/4	55 7/8	53 9/16	39	35 7/8	55 1/8	49 13/16	54 15/16	46 7/16	61 7/8	75 3/4	51 5/16	37 5/16	31 5/8	52 1/16

SIZE	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U	ARR.9 MAX. MOTOR FRAME
39	33 3/16	73 11/32	2	7	44 5/16	29 23/32	34 5/8	68 3/32	31 31/32	17 3/16	21 3/16	22 1/16	405T
44	37 5/32	82 1/8	2	8 1/4	49 13/32	33 5/16	38 9/16	76 5/8	36 1/16	19 5/32	22 7/8	24	444T
49	41 7/16	87 31/32	2	8 1/4	55 5/16	37 5/32	40 9/16	82 15/32	39 13/32	20 13/32	24 15/32	25 19/32	445T



SWSI CENTRIFUGAL FANS  
 ARR. 1 OR 9 - SIZES 39, 44 & 49  
 FIXED HOUSING  
 CLASS I, II & III CONSTRUCTION

DRAWN BY  
BDM  
 CHECKED BY  
FJH  
 DATE  
PC 8-4-92

DRAWING NO.  
R-25338-00  
 PRINT NO.

CHG.  
A





# OASIS INSTALACIONES , SA de CV

Jaumave 702 , Colonia Mitras Norte  
Monterrey N.L. México , CP-64320  
Phone: (81) 8373-3322

To: BOSH BATERIAS LUX S.A.  
Att'n: ING. GONZALO SANCHEZ  
Ref: BAGHOUSE FOR LEAD OXIDE  
ECUADOR

P-137-2012-GHT

DATE: October, 29, 2012.

## ITEM 1

Reference: Dust collector quote DYNA FLO (Pulse – jet Bags type)

AIR VOLUME : 40,000 CFM (100°C)

OASIS INSTALACIONES SA de CV offer it's bags filter with compressed air bursts cleaning system (pulse jet) model **DYNA FLO -500 BAGS-10 FT-TR**

## 1.- EQUIPMENT DESCRIPTION

### 1.1 FILTER BAGS

The filter bags is pulse - jet type and is going to be working under negative pressure , this means it is located before the main fan . The filters cleaning process is by compressed air bursts in an opposite way to the dirty air stream to be filtered , which passes through a venturi to increase the amount of air during cleaning . The compressed air burst is commanded by a solenoid valve that opens a diaphragm valve from an electronic timer which is time programmed based on the application.

#### 1.1.1 FILTER UNIT.

The dirty air flow enters the housing from the discharge hopper, hit a deflectors where heavy particulates fell down by gravity. The filters are mounted in metallic cages to give them mechanical support and filtration be from outside to inside .The dust collector unit consist of a rectangular body with a pyramidal discharge hopper where the dust captured is deposited and removed out by a continues discharge mechanism like screw conveyor and airlock to avoid false air into the system. No container price included.

## 2.- MANUFACTURING FEATURES

### 2.1 DUST COLLECTOR

#### HOUSING

It is fabricated with carbon steel panels ASTM A-36 ,12 gage in clean air plenum , body in gage 12 and additional reinforcement to overcome a pressure +/- 20" wg . The discharge hopper is gage 12 . This equipment is not including explosion vents.

**NOTE: The explosion vents do not avoid explosion and only are mechanical devices that help to reduce the mechanical damage in the collector body when relief the overpressure generated by the explosion.**

#### TUBE SHEET

The tube sheet is fabricated in carbon steel ASTM A-36 , 3/16" thick with drill holes for bags mounting with + 1/64" tolerance. Besides there is a support, to avoid tube sheet deflection.

#### CLEAN AIR PLENUM

It is fabricated in carbon steel ASTM A-36 with reinforcement and a filter cleaning system . Each filter row has a blowing pipe connected to a diaphragm valve pilot (solenoid) drive and a time commanded electronic controller. The plenum also works as clean air exit and so includes inspection doors and access to blowing pipes.



# OASIS INSTALACIONES , SA de CV

Jaumave 702 , Colonia Mitras Norte  
Monterrey N.L. México , CP-64320  
Phone: (81) 8373-3322

To: BOSH BATERIAS LUX S.A.  
Att'n: ING. GONZALO SANCHEZ  
Ref: BAGHOUSE FOR LEAD OXIDE  
ECUADOR

P-137-2012-GHT

## SERVICE PLATFORMS

The unit includes top service platform for valves maintenance, to change bags, and also includes protected ladder.

## DUST DISCHARGE

The collected dust discharged hopper is fabricated in carbon steel ASTM A-36 , 60° slope . Gage 12 totally reinforced with man holes registers.

## SUPPORT ESTRUCTURE

The unit has it own support structure carbon steel fabricated with reinforcement.

## CAGES

These cages are to support the bags and are constructed of gage 10 galvanized wire , with 8 vertical wires type “U” top collar to be used with “snap band bags” and integrated venturi , reinforcement rings every 6” .

## MANOMETER

The unit includes one manometer to see the pressure drop through filters. DWYER magnehelic.

## CLEANING FILTERS

The unit includes an electronic controller to actuates diaphragm valves, pulse time, and time between pulses.

## PAINT

All metal surfaces will be clean to white metal and blue enamel paint.

## 3.- TECHNICAL SPECIFICATIONS

### 3.1 EQUIPMENT

#### 3.1.1 DUST COLLECTOR

Qty	1 Unit
Model	DYNA-FLO 500 BAGS-10 FT-TR
Type	Pulse- Jet
Air Volume	40,000 Ft <sup>3</sup> /min.
Filtration way	Outside to inside.
Total Filter Area	6,900 Ft <sup>2</sup>
Bags qty.	500
Bag Diameter	5.25”
Bag Length	10’
Bags hang Type	SNAP-BAND
Air – to – cloth ratio	6 Ft <sup>3</sup> / Ft <sup>2</sup> / min.
Bags Mounting	Superior (Top removal)
Diaphragm valves qty.	50 PCS-1 ½ “ Ø
Compressed air consume	5 Ft <sup>3</sup> /pulse dry and clean .
Compressed air Pressure	90-100 Lbs/Ft <sup>2</sup>

#### 4.1 FILTER MEDIA

Polyester with Teflon membrane(PTFE) ( 500 filters ) , 5,25” Ø , 10’ length

**TOTAL PRICE FOB our shop Garcia NL. Mexico-----\$ 96,720 USD**



# OASIS INSTALACIONES , SA de CV

Jaumave 702 , Colonia Mitras Norte  
Monterrey N.L. México , CP-64320  
Phone: (81) 8373-3322

To: BOSH BATERIAS LUX S.A.  
Att'n: ING. GONZALO SANCHEZ  
Ref: BAGHOUSE FOR LEAD OXIDE  
ECUADOR

P-137-2012-GHT

## ITEM 2

### MAIN FAN

Centrifugal type fan to handle 40'000 CFM @ 12" wg. , rotor with radial blades , class IV., coupled to an electric 125 HP motor with pulleys and belts , including unitary base , inlet and outlet flanges , drain , discharge damper , and inspection door.

**TOTAL PRICE FOB our shop Garcia NL. Mexico-----\$ 34,800 USD**

## ITEM 3

### DISCHARGE MECHANISIM

Screw conveyor 9" Ø , 45 Ft length with 3Hp drive

**TOTAL PRICE FOB our shop Garcia NL. Mexico-----\$ 9,750 USD**

## ITEM 4

12" Ø rotary valve , cast iron body , rotor and ends machined . Top rotor flexible blades .  
**DRIVEN BY SCREW CONVEYOR**

**TOTAL PRICE FOB our shop Garcia NL. Mexico-----\$ 3,950 USD**

## ITEM 5

CONTROL PANEL WITH SOFT STARTER FOR 125 HP .

**TOTAL PRICE FOB our shop Garcia NL. Mexico-----\$ 15,000 USD**

### IMPORTANT NOTES :

- 1.- We are not including any motor fan or rotary valve starters , mechanical installations as well as electrical and pneumatic ones , neither ducts and hood fabrication.
- 2.- This proposal includes only the equipment supply for dust control produced at the grinding station .
- 3.- **In the event we get the purchase order OASIS INSTALACIONES SA de CV would warranty the correct system operation if ducting and hood are manufactured and installed (by others) based on our engineering and the system start up and balanced by our personal and all the installation manual recommendations be respected .**
- 4.- Once the engineering job has been approved (ducting) by customer any modification will affect equipment manufacturing lead time and the some charges will be added .
- 5.-There is no civil job included .
- 6.- **In the event of purchase order cancelation all kind of expenses done up to the moment the customer notify it by written will be charged .**
- 7.- Quote valid only for 15 days .



# OASIS INSTALACIONES , SA de CV

Jaumave 702 , Colonia Mitras Norte  
Monterrey N.L. México , CP-64320  
Phone: (81) 8373-3322

To: BOSH BATERIAS LUX S.A.  
Att'n: ING. GONZALO SANCHEZ  
Ref: BAGHOUSE FOR LEAD OXIDE  
ECUADOR

P-137-2012-GHT

LEAD TIME : 2-3 Weeks for drawings.  
: 12-14 Weeks for manufacturing after downpayment and approval drawings.

TERMS : 40% Downpayment  
10% Against drawings for approval.  
40% Against manufacturing weekly schedule dates.  
10% Before shipping .

In the event of technical assistance after start up and system tune , our personal would attend your requirements by phone or E-mail and if our personal is required at the job site please ask for the service rate.

## WARRANTY

OASIS warrants to the original purchaser that the equipment delivered by us shall be free from defects in materials and workmanship . In the event of defects we will take the case to be corrected under our costs and during a reasonable time . However we'll no take the case and will not have obligation and responsibility based on this warranty unless we have gotten by written the notification of such defects and no more of 12 months after system start up or 18 months after equipment delivery , and assuming they have been properly storage based on our instructions whichever comes first . According with this warranty " corrective action " can require in our option , repair , modification or defective pieces change . It is understood that this warranty are at our plant , so dismantling or mountings of pieces or defective units as well as freight costs , labor for charge and discharge are going to be paid by the user . Once the delivered equipment are in operation and under the customer control this warranty will be valid only if .

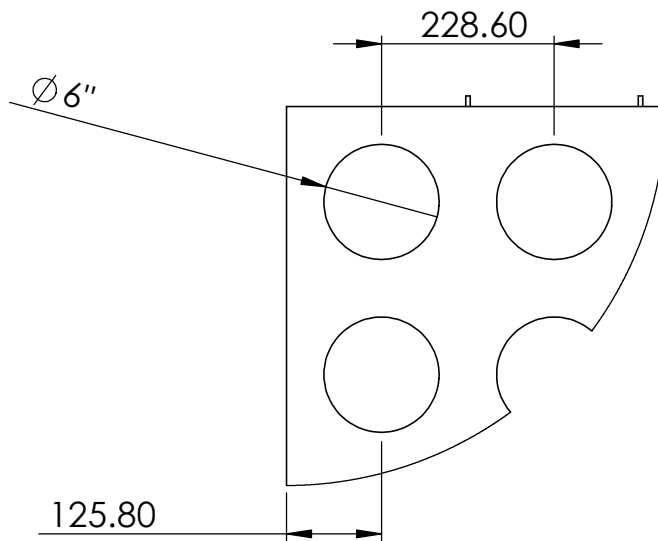
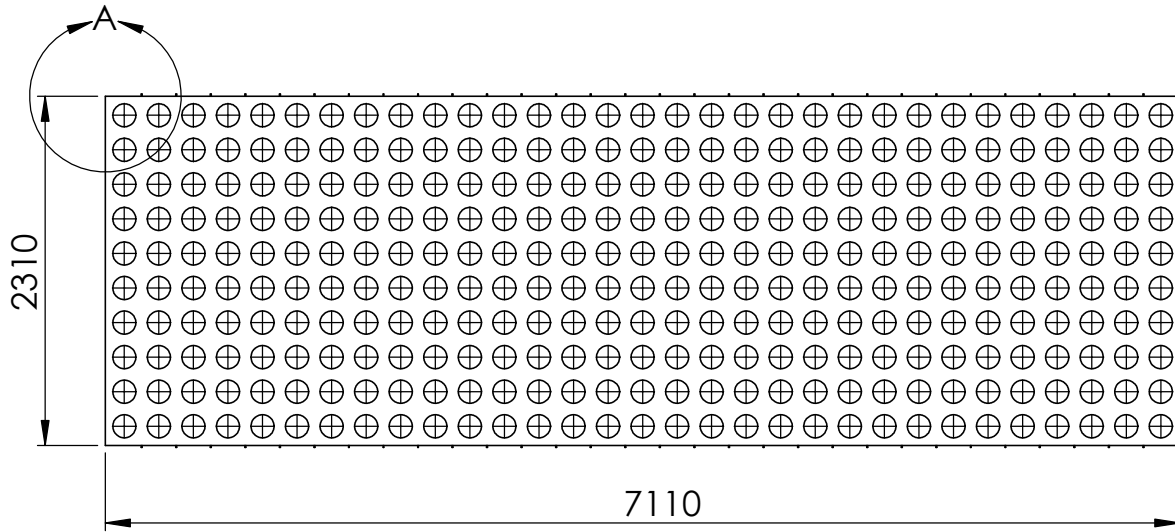
- 1) That our instructions and recommendations for operation and maintenance have been followed mainly those shown in our manual .
- 2) That the equipment have been used under normal operation conditions , or under specified conditions but known and approved by us .
- 3) That the equipment haven't been damaged for misused . negligence , accident or corrosion
- 4) That the customer haven't done modifications to the equipments or system with out our written approval .
- 5) That the customer haven't put load over the equipment unless we have given authorization .
- 6) This warranty is the only one respect these equipments and replaces any other one verbal or written .
- 7) It is understood "corrective action " in the way and time described above , will constitute all fulfillment of our responsibility in front of the customer , be needed , or negligence or any other motive .
- 8) Our warranty is valid only if the mounting , mounting supervision and start up are done under our responsibility .

Expecting this proposal deserve your approval we take the advantage to send you kind greetings.

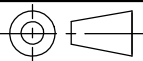
Very truly yours  
**OASIS INSTALACIONES , SA de CV**

**ING. GERARDO HUTCHINSON**

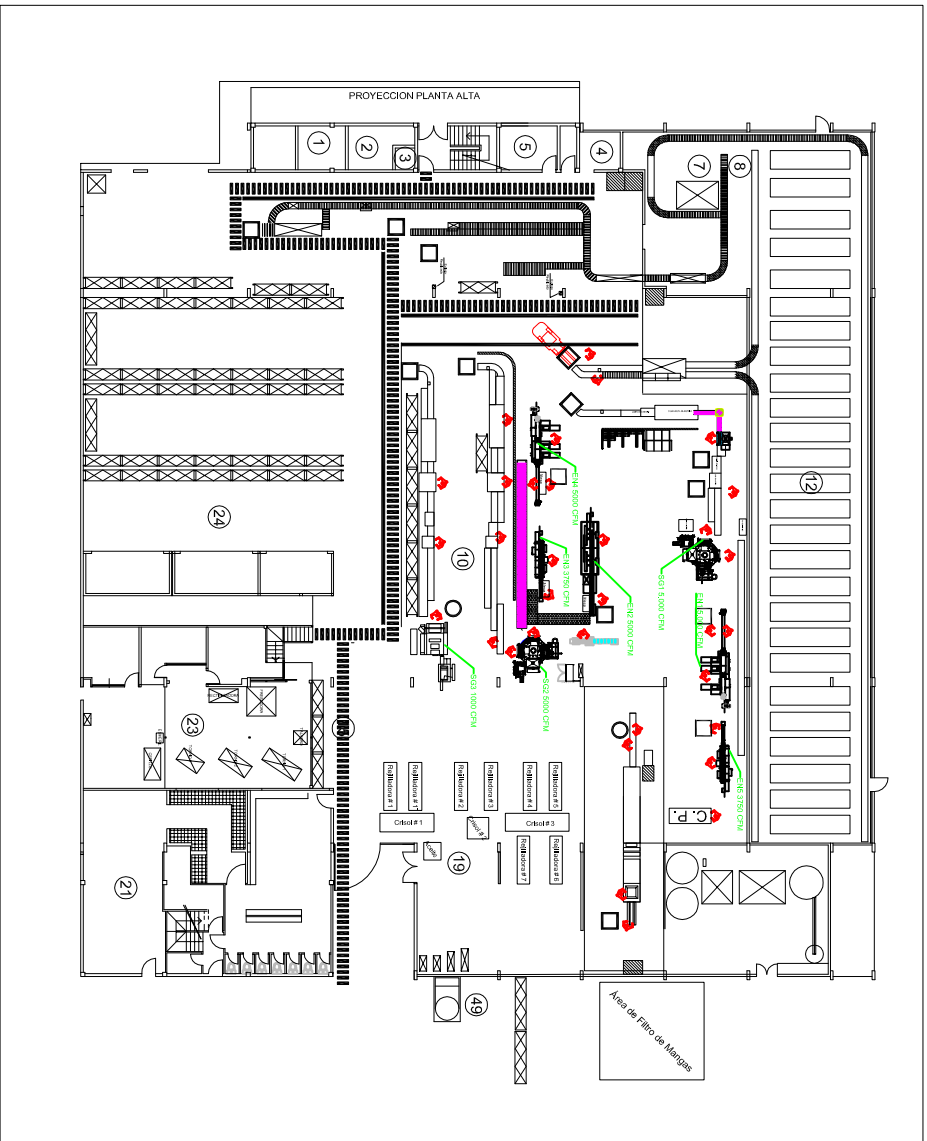
# ESPEJO PORTAMANGAS 31 X 10



DETALLE A  
ESCALA 1 : 10

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:  <h2>Espejo Porta Mangas</h2>	
DIBUJ.	G. Sánchez	GSB	18-03-15			
APROB.	M. Patiño	MPA	20-03-15	MATERIAL:	DEPARTAMENTO	A4
				<b>ASTM A36</b>	<b>FIMCP - ESPOL</b>	Nº 1

# VISTA DE PLANTA DEL GALPÓN PRODUCTIVO



Nomenclatura	
SG1	Soldadora de grupos # 1
SG2	Soldadora de grupos # 2
SG3	Soldadora de grupos # 3
EN1	Ensobradora # 1
EN2	Ensobradora # 2
EN3	Ensobradora # 3
EN4	Ensobradora # 4
EN5	Ensobradora # 5

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
	G. Sanchez	GSB	18-03-15
	M. Palfino	MPA	20-03-15

ESCALA:	Referencial

MATERIAL:

N/A

TITULO:

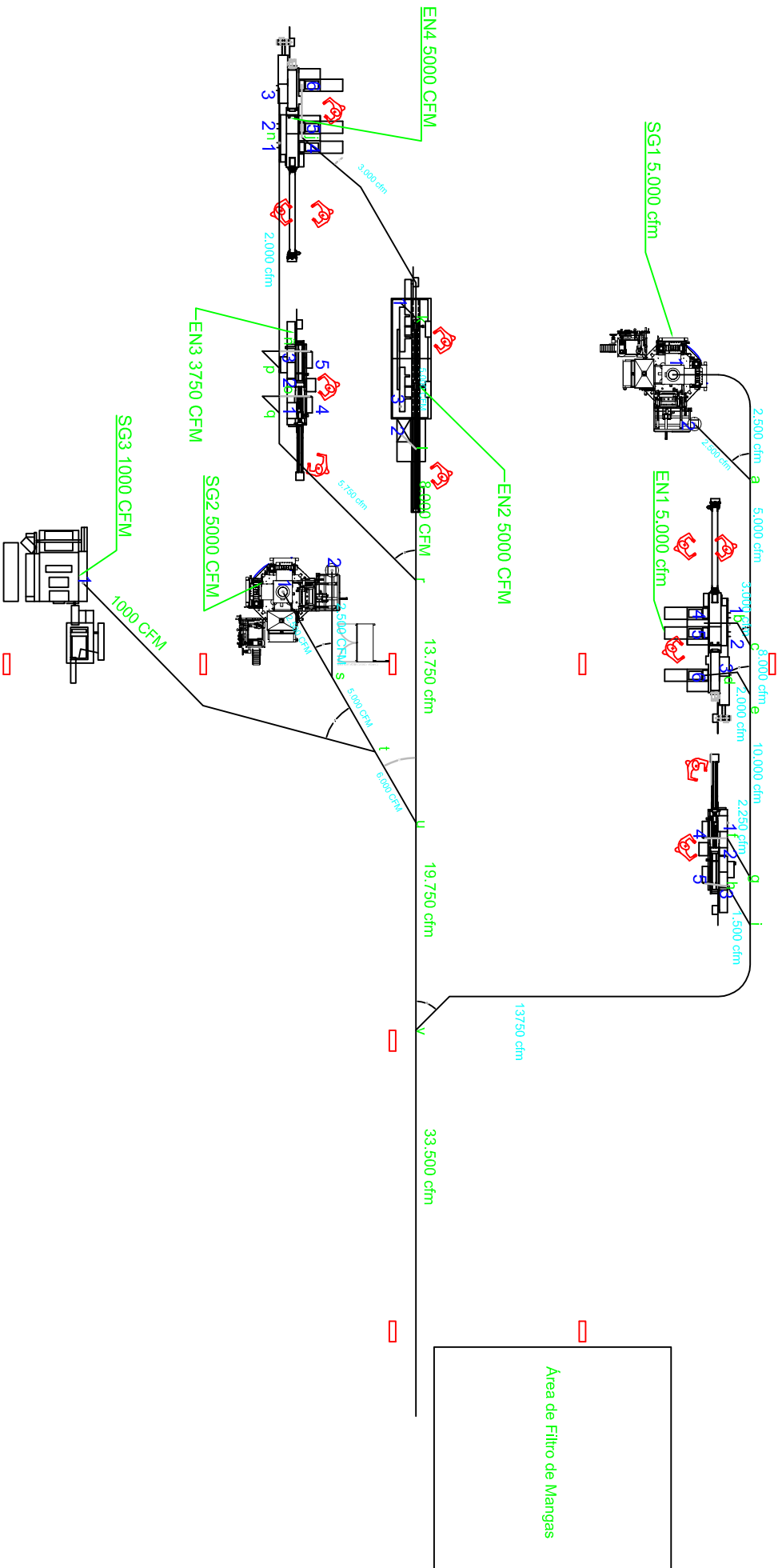
Distribución Maquinaria en Piso Planta

DEPARTAMENTO:

FIMCP - ESPOL

A4

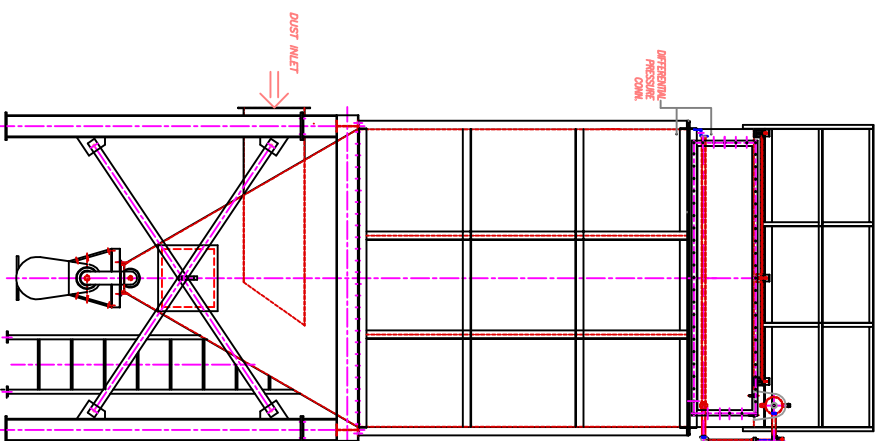
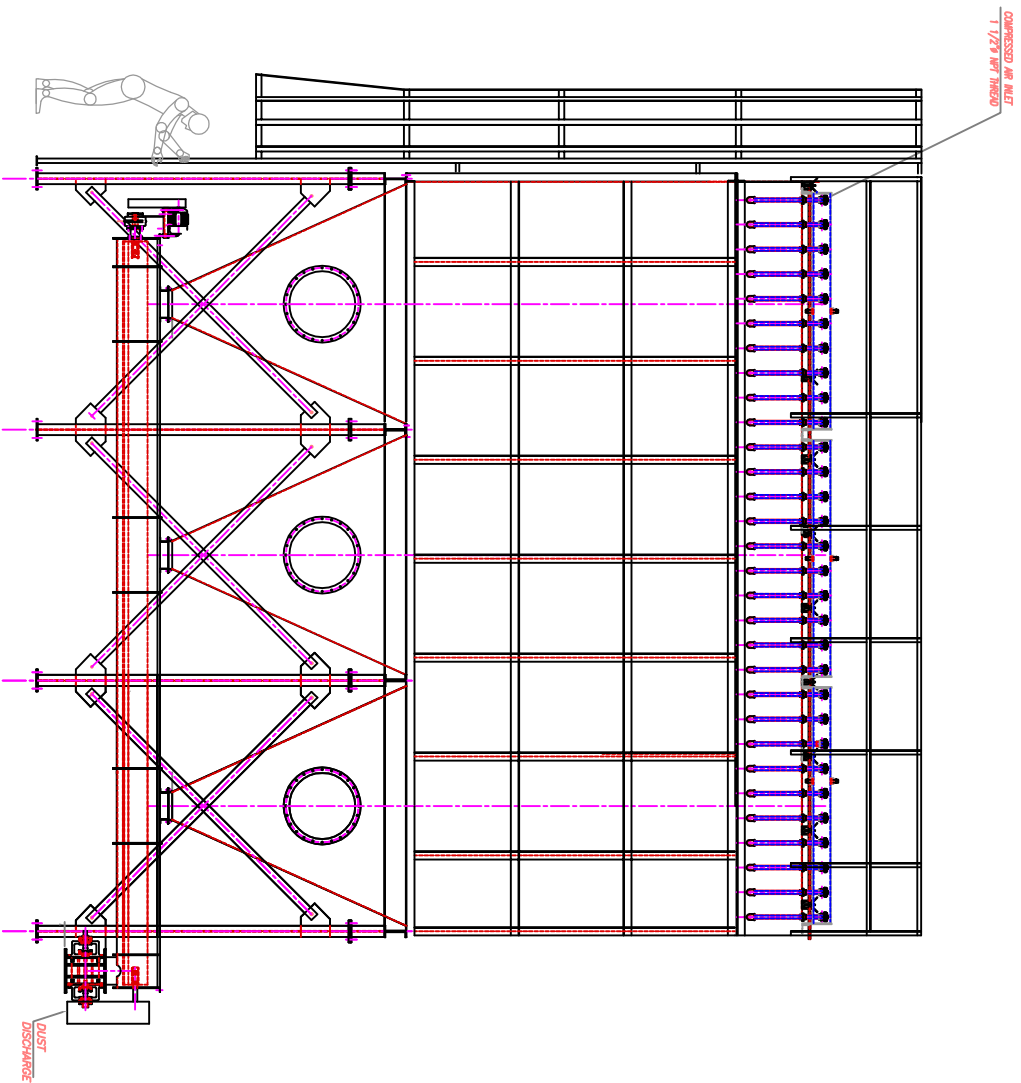
N° 2



ESCALA: Referencial		TÍTULO: <b>Esquema de Red de Ductos</b>	
		DEPARTAMENTO: <b>FIMCP - ESPOL</b>	
NOMBRE G. Sánchez	FIRMA GSB	FECHA 18-03-15	A4
DIBUJ. M. Paitño	MPA	20-03-15	
MATERIAL: <b>N/A</b>		Nº 3	







**Especificaciones**

- # OF BAGS = 310
- LENGTH OF BAGS = 12 FT.
- DIAMETER OF BAGS = 6" IN.
- FILTER AREA = 1,180 FT<sup>2</sup>
- # OF VALVES = 31-1 1/2" IN DIA.
- COMPRESSED AIR REQUIRED:-
- 5-6 CFM/PULSE @ 100 PSIG.
- SHIPPING WEIGHT = 9000 LBS.
- DESIGN PRESSURE = -20" WG.

Filtro de Mangas Tipo Pulse - Jet con 310 Mangas de 6" x 12'

ESCALA:		Referencial		TÍTULO:		Esquema de Filtro de Mangas	
NOMBRE	G. Sánchez	FIRMA	GSB	FECHA	18-03-15	DEPARTAMENTO:	FIMCP - ESPOL
DIBUJ.	M. Palfo	M.P.A.					
APROB.							
				MATERIAL:		N/A	
						A4	
						Nº 5	