

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

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

“Diseño de un Sistema Móvil de Extracción de Polvo generado  
durante el Proceso de Arenado”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA MECANICA**

Presentada por:

Sandra Gisella Suárez Sarmiento

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2008

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, a mi director de tesis el Ing. Ernesto Martínez L., a las personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de este trabajo y especialmente a mis padres por darme la oportunidad de poder estudiar.

## DEDICATORIA

A MIS PADRES,  
HERMANOS,  
FAMILIARES Y  
AMIGOS.

## TRIBUNAL DE GRADUACION



---

Dr. Alfredo Barriga R.  
DELEGADO DECANO FIMCP  
PRESIDENTE



---

Ing. Ernesto Martínez L.  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Andrés Rigail C.  
VOCAL

## DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamento de graduación de la ESPOL)

Sandra Suárez S

Sandra Gisella Suárez Sarmiento

## **RESUMEN**

El presente trabajo de tesis presenta el diseño de un sistema móvil de ventilación industrial para la evacuación de polvos contaminantes que se producen durante el arenado en la empresa DYFEMSA.

DYFEMSA es una empresa dedicada al Diseño y Fabricación de Estructuras Metálicas en la ciudad de Guayaquil con una visión de llegar a ser una de las más prestigiosas empresas involucradas en la Industria Metalmeccánica que satisfagan todas las necesidades que los clientes posean de manera clara, ágil y oportuna con personal capacitado y profesional.

La empresa fabrica perfiles, vigas aligeradas o de celosía, estructuras de galpones industriales, entre otros. A estos productos se les realiza una preparación superficial para su posterior protección contra la corrosión por medio de un determinado espesor de pintura lo cual hará que el producto tenga buena presentación y excelente calidad, capaz de soportar el ambiente de trabajo para el que fue diseñado. Para una correcta preparación superficial esta empresa utiliza el proceso de arenado el cual proyecta al material abrasivo a una presión determinada impactando sobre la superficie lo que provoca un desprendimiento de las impurezas como pinturas, calamina, herrumbre o suciedad.

Pero dentro de este proceso de preparación tan necesario se presenta un problema que aparte de ser interno se convierte en una amenaza para las áreas cercanas al lugar donde se realiza este proceso de limpieza, problema que se trata exclusivamente de una contaminación ambiental. Esto se da debido a que en el momento de realizar el arenado las partículas tanto de sílice como las que se desprenden de las superficies quedan suspendidas en el aire circundante las cuales serán posteriormente respiradas por el personal de la planta de manera involuntaria, partículas que van desde los 2,5 a 10 $\mu$ m (micras), originando una enfermedad llamada silicosis, la cual afecta directamente a los pulmones causando cáncer y con ello la muerte de quien la posea si no se tratase el caso a tiempo. Así como afecta al personal que trabaja en planta estas partículas al encontrarse suspendidas en el ambiente son propensas a que sean transportadas por corrientes de aire hacia áreas cercanas originando una vez más problemas a la salud de quienes viven en el sector. Es por ello que la M.I. Municipalidad de Guayaquil realiza controles, inspecciones, análisis y si se diera el caso hasta sanciones a las industrias que incumplan con las ordenanzas establecidas que van acorde con el bienestar poblacional y seguridad ambiental de la ciudad.

Para dar solución a este problema ambiental se estableció la necesidad de construir un sistema móvil de extracción de polvo producido durante el

proceso de arenado en el lugar de trabajo, sistemas que son muy comunes en empresas dedicadas a trabajar con productos nocivos para la salud.

El sistema diseñado para suplir la necesidad planteada se basa en la ventilación localizada, la cual estará compuesta por un brazo extractor flexible de poliuretano resistente a la abrasión, dos separadores de partículas de polvo, entre los cuales se encuentra el ciclón y el filtro de mangas cumpliendo la misma función pero para diferentes tamaños de partículas y finalmente un ventilador de tiro inducido que será importante para generar el vacío óptimo para la correcta extracción del polvo suspendido en el ambiente. Durante la selección y diseño del sistema de ventilación se da especial importancia a las regulaciones y normas ambientales que rigen el desarrollo de procesos, para esto se hace referencia a normas ambientales nacionales e internacionales. Entre los parámetros de diseño necesarios para el sistema de extracción se tiene al tamaño de partícula en suspensión, la velocidad de captura y de transporte de partículas en el interior del sistema.

Todo este análisis, diseño y estudio de factibilidad de instalación del sistema propuesto nos da como resultado la creación del sistema móvil de extracción de polvo, creando planos para su construcción y cronograma de instalación, quedando así a disposición de la empresa DYFEMSA la ejecución y construcción del presente proyecto.

## INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN .....	I
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS .....	VII
SIMBOLOGÍA .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE PLANOS .....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPITULO 1</b>	
<b>1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Preparación superficial por chorreo con medios abrasivos... 5	5
1.2.1 Limpieza por chorreado en seco.....	8
1.2.2 Limpieza por chorreado con medio húmedo.....	14
1.2.3 Limpieza por chorreado con hielo seco .....	17
1.3 Efectos causados por el uso de arena en la preparación	

de superficies .....	18
1.4 Contaminación del aire ambiente.....	23

## **CAPITULO 2**

### **2. PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE EXTRACCION**

<b>DE POLVO .....</b>	<b>44</b>
2.1 Descripción del sistema óptimo de extracción .....	45
2.2 Campana extractora .....	49
2.3 Ducto .....	53
2.4 Separador de partículas.....	54
2.5 Ventilador.....	55

## **CAPITULO 3**

### **3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA ...**

3.1 Diseño de forma.....	67
3.2 Diseño de campana extractora .....	68
3.3 Diseño de ducto .....	73
3.4 Diseño de ciclón.....	74
3.5 Diseño de filtro de mangas .....	77
3.6 Selección del ventilador .....	80

**CAPITULO 4**

<b>4. FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO</b> .....	93
4.1    Cronograma de construcción del sistema .....	94
4.2    Análisis de costo para la implementación del diseño .....	101

**CAPITULO 5**

<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	103
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

EPA	Environmental Protection Agency
PM10	Material particulado menor a 10 micras
PM2,5	Material particulado menor a 2,5 micras
ASME	American Society of Mechanical Engineer
OMS	Organización Mundial de la Salud
PES	Precipitador Electroestático
ASTM	American Society of Testing Material
PVC	Policloruro de Vinilo
VP	Presión dinámica
A/C	Relación aire-tela
$A_u$	Área unitaria de manga
$h_d$	Perdida en ducto
$F_h$	Factor de perdida en campana
$H_o$	Perdida en campana
$h_r$	Perdida en reducción
$V_f$	Velocidad de filtración
$\Delta P_f$	Caída de presión en mangas
$\Delta P_c$	Caída de presión en ciclón
$SP_{vent}$	Caída de presión para ventilador
$D_c$	Diámetro principal

## SIMBOLOGIA

TON	Toneladas
psi	Libra por pulgada cuadrada
$\mu\text{m}$	Micra
$\text{Kg} / \text{m}^3$	Kilogramo por metro cúbico
$\text{m} / \text{s}$	Metro por segundo
mm	Milímetros
RC	Rockwell C
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
$\mu\text{g} / \text{m}^3$	Microgramo por metro cúbico
°C	Grados centígrado
mm col H <sub>2</sub> O	Milímetros de columna de agua
pulg col H <sub>2</sub> O	Pulgadas de columna de agua
CFM	Pies cúbico por minuto
SP	Presión Estática
H	Ancho de entrada de campana
L	Longitud de entrada de campana
Kg	Kilogramo
$\text{m}^3 / \text{s}$	Metros cúbicos por segundo
$\text{m}^2$	Metros cuadrados
$\text{g} / \text{cm}^3$	Gramos por centímetro cúbico
$\text{m}^3 / \text{m}^2 \text{ min}$	Metro cúbico por minuto por metro cuadrado
Q	Caudal
V	Velocidad
KPa	Kilopascales
Mpa	Megapascales
$\phi$	Diámetro de ducto
°R	Grados Rankine
atm	Atmósferas
FPM	Pies por minuto
$\rho$	Densidad
Si	Silicio
m	Metros
cm	Centímetros

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1 Vista microscópica detallada de partículas de sílice en un filtro .....	20
Figura 1.2 Mecanismos de colección de partículas en un ciclón .....	26
Figura 1.3 Vórtices en el ciclón .....	27
Figura 1.4 Lavador Venturi.....	31
Figura 1.5 Precipitador de placa-alambre .....	34
Figura 1.6 Precipitador de placas planas.....	35
Figura 1.7 Precipitador tubular.....	35
Figura 1.8 Elementos mecánicos de un colector de polvo PULSE-JET .....	37
Figura 1.9 Filtro de limpieza por sacudida .....	39
Figura 1.10 Filtro de limpieza por vibración .....	40
Figura 1.11 Filtro de limpieza por aire a contracorriente .....	40
Figura 1.12 Filtro de limpieza por aire comprimido .....	41
Figura 1.13 Cámara de sedimentación .....	42
Figura 2.1 Cabina de arenado .....	45
Figura 2.2 Ventilador Centrifugo.....	57
Figura 2.3 Ventilador con alabes curvados hacia delante.....	59
Figura 2.4 Ventilador con alabes curvados hacia atrás .....	61
Figura 2.5 Ventilador axial .....	62
Figura 3.1 Diagrama de flujo del sistema de extracción de polvo .....	67
Figura 3.2 Diseño de forma del sistema de extracción de polvo.....	68
Figura 3.3 Posición de campana de extracción .....	69
Figura 3.4 Dimensiones del ciclón .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Características de la arena .....	11
Tabla 2 Características de la granalla.....	14
Tabla 3 Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones .....	29
Tabla 4 Partículas atrapadas por dispositivos de control .....	42
Tabla 5 Matriz de decisión de sistema de extracción.....	46
Tabla 6 Resultado del análisis granulométrico de polvo .....	71
Tabla 7 Matriz de decisión para selección de campanas.....	72
Tabla 8 Matriz de decisión para selección de ductería .....	74
Tabla 9 Factor de pérdida para campanas rectangulares.....	83
Tabla 10 Factor de pérdida para reducciones .....	85

## ÍNDICE DE PLANOS

Planos 1 y 2	Sistema de Extracción de Polvo
Plano 3	Campana Extractora
Plano 4	Ciclón
Plano 5	Placa Espejo
Plano 6	Filtro de Mangas
Plano 7	Tolva de Filtro de Mangas
Plano 8	Soporte de Campana Extractora
Planos 9 y 10	Estructura de soporte
Plano 11	Ventilador

## **INTRODUCCION**

El objetivo de este trabajo es presentar el diseño de un sistema móvil de extracción de polvo generado durante el proceso de arenado, el cual me fue encomendado por la empresa DYFEMSA con el objetivo de disminuir la contaminación del aire ambiental debido a las partículas en suspensión que resultan de la limpieza de superficies mediante este método.

El problema de contaminación se ha venido dando durante mucho tiempo en la empresa con los diferentes trabajos realizados y de acuerdo a las normas de la M.I. Municipalidad de Guayaquil, principal ente controlador de las normas a nivel industrial, se debe tener un límite máximo permisible de contaminantes en el aire ambiente el cual la empresa y otras dedicadas a este tipo de trabajos se encuentran incumpliendo actualmente en lo que respecta a material particulado.

Se realizó un estudio de la situación para poder elegir el sistema que mejor se adapte a la reducción de emisiones de polvo. Se diseñó y seleccionó los componentes adecuados para el sistema logrando así un trabajo en conjunto de los mismos.

Finalmente se presenta un análisis de factibilidad del sistema propuesto planteando un cronograma de fabricación y un análisis económico del proyecto quedando a disposición y criterio de la empresa DYFEMSA la implementación del mismo.

# **CAPITULO 1**

## **1.DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

En el inicio de este capítulo se plantean los antecedentes del problema de contaminación del aire ambiente que está generando en la actualidad esta empresa. Luego de esto se describen los diferentes procesos de preparación superficial; a continuación se dan a conocer los efectos que se producen en la salud de las personas y en el medio ambiente por el uso de arenado en la preparación de superficies. Finalmente se abordará la contaminación del aire y los diferentes métodos para controlar la emisión de partículas al ambiente externo.

## **1.1 Antecedentes.**

La empresa metalmecánica DYFEMSA se creó a finales del año 2000 para satisfacer la creciente demanda de trabajos técnicos especializados en el sector industrial en la ciudad de Guayaquil – Ecuador. Convirtiéndose en la actualidad en una empresa dedicada al diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas.

A través de los años se ha visto que la calidad de la preparación de la superficie es de vital importancia para los diferentes sistemas de revestimiento aplicados al acero para proteger al mismo de la corrosión. De esta manera se ha aceptado el método de limpieza por chorro de abrasivo como aquel con el cual se pueden conseguir los mejores resultados tanto en la limpieza como en la textura de la superficie.

El proceso más utilizado de preparación superficial en esta empresa es el arenado, el cual es el mejor de los tratamientos mecánicos disponibles todavía para dar base cierta a cualquier esquema de pintura que se adopte. Este proceso conlleva a un problema muy serio en la actualidad ya que la arena al impactar sobre la superficie a tratar se descompone en partículas finas de sílice que se

convierten en un alto porcentaje en polvo que permanece suspendido en el aire deteriorando la calidad del mismo en las zonas de trabajo, este polvo en condiciones ambientales específicas podría ser transportado por el viento y afectar áreas relativamente alejadas, y traer consecuencias muy graves a la salud de las personas que estuvieren en contacto continuo con las zonas afectadas y molestias a las comunidades cercanas a las que podría llegar este polvo.

## **1.2 Preparación superficial por chorreo con medios abrasivos.**

En la limpieza por chorreo, varios agentes son utilizados para diferentes tipos de limpieza y resultados. La dureza, la forma, la dimensión y el tipo de material influyen en los resultados de la limpieza. La arena es el abrasivo mayormente utilizado, otros materiales abrasivos incluyen escoria de carbón, escoria derretida, abrasivos minerales, abrasivos metálicos y abrasivos sintéticos [1].

La arena de sílice es comúnmente usada para chorreado en lugares abiertos al ambiente. La arena tiene un alto nivel de fragmentación lo cual puede resultar en una gran generación de polvo, la exposición de los operarios a la sílice cristalina es una preocupación que se tiene cuando se arenan superficies.

La escoria de carbón y la derretida son usadas para el chorreo en barcos. La escoria tiene la ventaja de contener bajos niveles de sílice, pero puede contener contaminantes que pueden ser peligrosos para el aire.

Los abrasivos metálicos incluyen a la granalla de fundición esférica, granalla de fundición angular y granalla de acero esférica. La granalla de fundición esférica es dura y frágil, es producida vertiendo metal fundido en un depósito de agua. La granalla de fundición angular es producida por trituración de partículas muy grandes e irregulares formadas durante la manufactura de la granalla de fundición esférica, una partícula de granalla angular presenta aristas y puntas que al ser proyectada trabaja como una herramienta que clava y arrastra en la superficie a procesar. La granalla de acero esférica se fabrica con acero rico en carbono, el cual es templado para aumentar su duración y resistencia a la fractura, posee la dureza necesaria para producir una buena limpieza y mantiene su forma redonda después del impacto. Estos materiales pueden reutilizarse.

Abrasivos sintéticos, tales como el carburo de silicio y óxido de aluminio se están convirtiendo en los sustitutos de la arena. Estos

abrasivos duran más y crean poca cantidad de polvo en comparación con la arena, además se los puede reutilizar.

Abrasivos minerales como plástico, vidrio y cáscara de nuez crean significativamente menos polvo que la arena y la escoria.

La limpieza abrasiva utiliza pequeñas partículas propulsadas por una corriente de aire o un chorro de agua para incidir en la superficie, eliminando revestimientos y contaminantes a través de la fuerza de su impacto. La limpieza abrasiva suele ser elegida para eliminar calaminas resistentes, pinturas viejas, laminillas, arenas de fundiciones, especialmente en superficies amplias pero de difícil acceso con otros métodos. Simultáneamente a la remoción de contaminantes se da un perfil de rugosidad para mejorar tanto sea el aspecto visual de la pieza tratada como así también dar un anclaje para aplicar cualquier tipo de revestimiento o pintura. No suelen ser efectivos para la eliminación de partículas, aceites o grasas; son ruidosos y de un uso limitado para piezas con formas irregulares y grietas.

Prácticamente todos los metales pueden ser limpiados al menos con uno de los procesos de chorreo abrasivo disponibles, pero el medio

abrasivo tiene que ser seleccionado cuidadosamente para los metales blandos y frágiles y sus aleaciones, como el aluminio, el magnesio, el cobre, el zinc y el berilio. La limpieza abrasiva es también con frecuencia el único método de limpieza posible para aceros sensibles al debilitamiento por hidrógeno. Este método de limpieza se utiliza asimismo en la preparación de metales como el acero inoxidable y el titanio, para que la pintura produzca una adherencia mecánica en sustitución de recubrimientos de conversión que no puedan ser aplicados fácilmente sobre esos metales.

Entre las industrias que utilizan la limpieza por chorreo con medios abrasivos se tiene a las industrias constructoras de barcos, la industria automotriz y otras que se relacionan con la preparación de superficies y el pintado.

### **1.2.1 Limpieza por chorreado en seco.**

La limpieza por chorreado en seco es probablemente el método más eficiente y eficaz desde el punto de vista medioambiental para la limpieza y el acabado (una ventilación apropiada ayuda a mantener el área de trabajo

limpia, mientras que los extractores de polvo facilitan de forma sencilla su eliminación).

En el chorreado en seco se utiliza la arena, óxido de aluminio, carburo de silicio, granalla esférica o angular.

Dentro de la limpieza por chorreado en seco se tiene: al arenado y el granallado.

### **Arenado**

El arenado consiste en la eliminación por medio del impacto de arena a alta velocidad contra la superficie que se desea tratar. El procedimiento consiste en el arrastre de arena por una corriente de aire comprimido a una presión de 90 a 100psi, hasta una boquilla que, dirigida por el operario, permite bombardear y limpiar la superficie metálica. Es un proceso de limpieza profundo realizado sobre cualquier tipo de superficie a tratar, dejando las mismas en su estado natural, liberándola de cualquier tipo de impureza, ya sea por la corrosión del tiempo y el uso, o la aparición de hongos. Este proceso puede ser utilizado también para cambiar de aspecto, ya sea por color o antigüedad, dejando una textura

lista para su pintura. Generalmente se utiliza en equipos de transporte, tanques, frentes de edificios o piletas, limpieza de grandes estructuras como un barco o un puente.

La superficie luego del proceso de arenado presenta en una visión al lente del microscopio una serie de valles y picos con profundidades que varían entre 1,5 a 3,5 $\mu$ m perfectamente uniforme. Es en esa base metálica áspera y micro-rugosa que la película de pintura encuentra su mejor anclaje y adherencia. Comúnmente las distancias entre picos y valles es variable según la presión del aire de la tobera, su cono de barrido y la granulometría de la arena proyectada.

El tipo de arena que se utiliza, es la sílice y nunca la calcárea, la cual tiene la dureza necesaria para este tipo de trabajo. Es el abrasivo natural de más amplia disponibilidad y muy bajo costo, y le aporta el nombre a todos los procesos de preparación de superficie por proyección de partículas llamados comúnmente "arenado". La arena al ser un abrasivo natural debe ser sometida a análisis, debido a los contaminantes que puede arrastrar desde su lugar de origen, dunas, ríos, canteras, etc. Además para trabajar

adecuadamente con la arena, ésta no debe utilizarse a granel sino que debe ser tamizada, retirando los finos que no realizan un buen trabajo de arenado sobre la superficie y los gruesos que obturarían el equipo. También debe ser sometida a un proceso de secado debido a su capacidad de absorber humedad.

La arena es extremadamente frágil y proyectada por equipos de alta producción, solo se puede utilizar una sola vez debido a que más del 80% se transforma en polvo, es decir, adopta la característica del talco o la harina luego del primer golpe.

Podemos observar en la siguiente tabla las principales características de la arena utilizada para el proceso:

**TABLA 1**

**CARACTERISTICAS DE LA ARENA**

<b>Abrasivo</b>	Arena
<b>Tipo</b>	Sílice
<b>Forma</b>	Irregular redondeada
<b>Dureza</b>	5-6 MOHS
<b>Densidad</b>	1600 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Sílice libre</b>	90%
<b>Mallas</b>	6 - 300
<b>Factor de reutilización</b>	1 vez

## **Granallado**

El granallado es una técnica de tratamiento de limpieza superficial por impacto con el cual se puede lograr un excelente grado de limpieza y simultáneamente una correcta terminación superficial. El granallado es el bombardeo de partículas abrasivas a gran velocidad (65 - 110 m/s) que, al impactar con la pieza tratada, produce la remoción de los contaminantes de la superficie. La rugosidad que logra el granallado dependerá del tipo de abrasivo utilizado como además de la dureza de la superficie a tratar permitiendo lograr rugosidades de 0,75 a 5 $\mu$ m.

El granallado es utilizado para:

- Limpieza de piezas de fundición ferrosas y no ferrosas, piezas forjadas, etc.
- Decapado mecánico de alambres, barras, chapas, etc.
- Shot Peening (aumenta la resistencia a la fatiga de resortes, elásticos, engranajes, etc.),
- Limpieza y preparación de superficies donde serán aplicados revestimientos posteriores (pintura, cauchos, etc.)

El granallado utiliza a la granalla como su medio abrasivo la cual se presenta en forma de partículas redondas (shot) o angulares (grit); la gama de dimensiones está comprendida entre 0,1 y 8mm. La granalla se obtiene mediante la fusión de chatarra en hornos eléctricos, por atomización de acero líquido seguido de una serie de tratamientos térmicos y mecánicos que le confieren características técnicas específicas para cada aplicación, es seleccionada en su calidad y sometida a un control de detección de radioactividad.

Debido a que no absorbe humedad, la granalla de acero no requiere de un secado previo y al ser todas las partículas de similar granulometría, producen un trabajo totalmente uniforme.

Podemos observar en la tabla 2 las principales características de la granalla:

**TABLA 2**  
**CARACTERISTICAS DE LA GRANALLA**

<b>Abrasivo</b>	Granalla de acero
<b>Tipo</b>	Metálica
<b>Forma</b>	Angular
<b>Dureza</b>	40 a 68 RC
<b>Densidad</b>	4000 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Sílice libre</b>	0
<b>Mallas</b>	18 - 200
<b>Factor de reutilización</b>	De 700 a 5000 veces

Debido al riesgo de contaminación por óxido ferroso, la granalla de acero no es apropiada para determinadas aplicaciones. La corrosión de las superficies puede producirse tras el tratamiento, por lo que es esencial proceder a su recubrimiento o protección temporal. Al ser partículas de acero templado y revenido no provocan ningún problema de contaminación en la superficie de trabajo. El polvo producido en la operación es el resultado de los materiales removidos sobre la superficie a tratar.

### **1.2.2 Limpieza por chorreado con medio húmedo.**

El chorreado con medio húmedo difiere del chorreo seco en que las partículas abrasivas utilizadas suelen ser arena

mucho más fina no de sílice, por consecuencia no tóxica y están suspendidas en agua tratada químicamente, formando una especie de lodo. Este compuesto acuoso es bombeado y agitado continuamente para prevenir su solidificación y es impulsado por aire comprimido a través de una o varias boquillas dirigidas hacia la pieza de trabajo.

Pueden utilizarse tipos y tamaños de abrasivos muy diversos. Los tamaños van desde  $1\mu\text{m}$  a  $70\mu\text{m}$ . Entre los tipos de abrasivos utilizados además de la arena se encuentran materiales orgánicos o agrícolas, bicarbonato sódico, cuarzo, óxido de aluminio, vidrio o cualquier material que pueda permanecer suspendido en agua.

Los líquidos comúnmente utilizados para transportar las partículas abrasivas son aditivos a base de agua como los inhibidores de óxido, agentes humectantes y compuestos anti-obstrucción y anti-solidificación. En algunas aplicaciones se han utilizado destilados de petróleo como portadores de abrasivos para eliminar residuos de aceites y cascarillas o rebabas finas. Los destilados de petróleo, no obstante, sólo

pueden ser utilizados con unidades de chorreo húmedo diseñadas específicamente, debido al peligro de inflamación.

A diferencia del chorreo seco, el objetivo del chorreo húmedo no es la eliminación total de calaminas resistentes, rebabas o suciedad sino la producción de efectos relativamente leves sobre la superficie de la pieza de trabajo. En muchas piezas pequeñas, como componentes electrónicos, las rebabas son eliminadas mediante chorreo húmedo. Este método también es usado por motociclistas, la industria automotriz y la marina. Es el método actual de limpieza superficial para acero inoxidable y otros metales no ferrosos.

Con frecuencia es necesaria una limpieza previa al chorreo para prevenir la contaminación del lodo de recirculación. Los métodos de limpieza previa incluyen métodos de desengrase convencionales. Los óxidos más resistentes y la tierra seca se eliminan con chorreo seco.

En el chorreado con medio húmedo no se da distorsión en el material producida por el calor, con este proceso se elimina el uso de químicos, no se genera polvo, por lo tanto hay

mayor productividad, es libre de riesgos y existe seguridad para el operador.

### **1.2.3 Limpieza por chorreado con hielo seco.**

Se trata de una forma de chorreo abrasivo en la que son propulsadas sobre la superficie a tratar partículas duras de CO<sub>2</sub> helado, por medio de aire o de otros gases.

Algunas piezas pueden ser sensibles a los cambios térmicos que produce la granalla, las piezas de grosor fino pueden verse dañadas con el impacto. La granalla puede fabricarse en diferentes tamaños y propulsarse a diferentes velocidades para mejorar los grados de limpieza y reducir los daños superficiales.

Como alternativa se utilizan “copos de nieve” blandos de CO<sub>2</sub> helado. La nieve de CO<sub>2</sub> es muy eficaz en la eliminación de partículas. Ha sido también utilizada para eliminar pequeñas partículas de componentes ópticos, giroscopios, espejos muy finos y otras superficies delicadas. Algunas fuentes señalan experiencias exitosas de eliminación de capas de fluidos y

huellas digitales. No sirve para eliminar óxido, pintura, grasas o capas gruesas de aceite. El proceso está más indicado en limpiezas con visibilidad directa.

La ventaja de la nieve de CO<sub>2</sub> es que sublima al contacto con el material a limpiar. Eso hace que el operario únicamente tenga que desechar la suciedad en sí.

Las cuestiones de seguridad incluyen la ventilación y la protección de las personas respecto del contacto con la nieve fría. Es aconsejable asimismo el uso de gafas de protección. Los niveles de sonido pueden variar entre 60 y 120 decibeles.

### **1.3 Efectos causados por el uso de la arena en la preparación de superficies.**

La arena de sílice que contiene cuarzo se utiliza en equipos de limpieza a presión para limpiar superficies como son los exteriores de edificios y puentes y los interiores de tanques de almacenamiento y tubos.

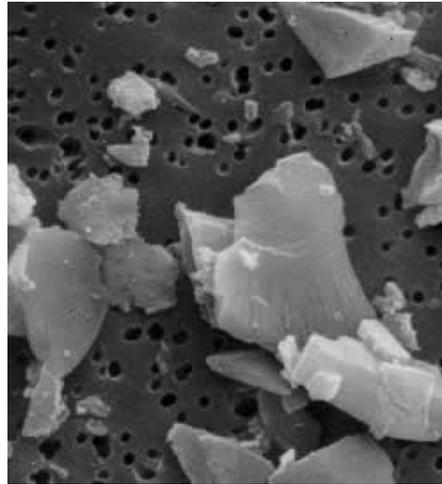
## **Efectos en el medio ambiente**

Dentro de los contaminantes que se generan durante el proceso de arenado se tiene a las partículas de polvo [2] las cuales se describen a continuación:

**Partículas:** En esta categoría se incluye todo tipo de materia sólida en suspensión en forma de humo, polvo y vapores. Entre las cuales están las partículas sedimentables (material particulado de tamaño mayor a  $10\mu\text{m}$ ), material particulado de diámetro aerodinámico menor a  $10\mu\text{m}$  (PM10), material particulado de diámetro aerodinámico menor a  $2,5\mu\text{m}$  (PM 2,5).

La arena de sílice usada durante el proceso de limpieza por chorro de arena se descompone en partículas finas que se convierten en un alto porcentaje en polvo con tamaños inferiores  $45\mu\text{m}$ , que luego del impacto permanecen suspendidas en el aire (Figura 1.1), generándose así una fracción importante de partículas finas en permanente suspensión que deterioran la calidad del aire en las zonas de trabajo, las cuales en condiciones ambientales específicas podrían ser transportadas por el viento y afectar áreas relativamente

alejadas. Las partículas en suspensión también son las principales causantes de la neblina, la cual reduce la visibilidad.



**FIGURA 1.1 VISTA MICROSCÓPICA DETALLADA DE PARTÍCULAS DE SÍLICE EN UN FILTRO.**

Por lo tanto el chorreado en seco con arena causa altos niveles de contaminación en el aire.

### **En la salud**

Los operadores de máquinas de limpieza por chorro de arena están expuestos a la sílice cristalina, la mayoría de estos operadores trabajan en la construcción civil y naval, también en muchas otras industrias se puede estar expuesto como la minería subterránea y a cielo abierto, la cerámica, la instalación de paredes secas, la

fabricación de vidrio, el trabajo de fundición, el trabajo en canteras, la agricultura y la reparación automotriz.

Se sabe desde hace pocos años que los contaminantes que afectan a más personas, por encima de cualquier otro, son las partículas en suspensión (PM) y el ozono. La peligrosidad de las partículas en suspensión está en relación con su tamaño: cuantas más pequeñas son, más facilidad tienen para penetrar en el organismo humano. Las partículas PM 10 pueden acceder a la parte superior del tracto respiratorio, y las partículas PM 2,5 pueden llegar hasta los pulmones, por lo que son potencialmente más peligrosas. La exposición crónica a las partículas en suspensión aumenta el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón.

Si las partículas generadas durante el impacto de la arena con la superficie tratada son lo suficientemente pequeñas (en particular aquel de tamaño menor a  $10\mu\text{m}$ ) como para ser aspiradas y penetrar profundamente en los pulmones, se conocen como sílice cristalina respirable. La inhalación de estas partículas finas de sílice causa más daño a los pulmones que la inhalación de partículas más grandes. Cuando los trabajadores inhalan sílice cristalina, los

pulmones generan tejido de cicatriz (crecimiento nodular fibrótico de los tejidos) alrededor de las partículas de sílice. Este proceso provoca una enfermedad pulmonar llamada silicosis (endurecimiento de los pulmones). A medida que aumenta el tejido pulmonar dañado por el polvo de sílice, se hace más difícil la respiración, se presentan dolores de pecho y podría ocurrir la muerte.

Existen tres tipos de silicosis:

- **Silicosis crónica**, que ocurre después de 10 años o más de exposición a concentraciones bajas de sílice cristalina.
- **Silicosis acelerada**, que ocurre después de 5 a 10 años de exposición a concentraciones altas de sílice cristalina.
- **Silicosis aguda**, que ocurre entre unas semanas y 5 años de exposición a concentraciones muy altas de sílice cristalina.

Por lo tanto el chorreado en seco con arena tiene un impacto negativo en la salud de los operarios. Estas desventajas inherentes a la arena, hace extremar los requerimientos de seguridad y han provocado que la legislación en la mayoría de países tecnológicamente avanzados, sumada a los estándares de calidad de muchas empresas, prohíban o restrinjan su utilización en las tareas de mantenimiento, impulsando de este modo la búsqueda de

materiales, tecnologías o procesos alternativos de preparación de superficies.

#### **1.4 Contaminación del aire ambiente.**

El aire que respiramos tiene una composición muy compleja y contiene alrededor de mil compuestos diferentes. Los principales elementos que se encuentran en el aire son nitrógeno, oxígeno e hidrógeno. Sin estos tres compuestos, la vida en La Tierra sería imposible.

La calidad del aire trata de la composición del aire y de la idoneidad de éste para determinadas aplicaciones. La presencia o ausencia de varias sustancias y sus concentraciones son los principales factores determinantes de la calidad del aire. Debido a esto, la calidad del aire se expresa mediante la concentración o intensidad de contaminantes, la presencia de microorganismos, o la apariencia física. Ejemplos de contaminantes que son importantes indicadores de la calidad del aire son el dióxido de azufre y las **partículas de polvo** y suciedad.

La calidad del aire es uno de los temas en el programa de muchas autoridades internacionales en estos días. Una de las organizaciones que conciernen a la calidad del aire es la OMS (Organización Mundial de la Salud), que recomienda estándar para los contaminantes del aire que pueden tener efectos en la salud.

Cada gobierno tiene sus propios estándares para los contaminantes del aire. Estos estándares son concentraciones máximas, que pueden estar presentes en el aire. Mientras que esos estándares pueden variar mucho entre los distintos países, los gobiernos de diferentes países, por ejemplo en la Unión Europea, están intentando unificar sus normas de estándares de contaminación del aire.

Las Directrices de la Calidad del Aire de la OMS recomiendan un límite de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual para PM 2,5 y unos  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual para PM10 [3]. Tal como especifica la OMS, no se trata de niveles seguros, sino de un objetivo alcanzable y aceptable para reducir los efectos sobre la salud.

## **Dispositivos de control de emisión de partículas al aire ambiente**

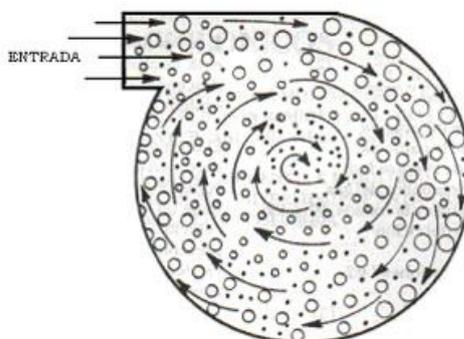
La captación y depuración de partículas presenta una problemática muy diversa en los distintos procesos industriales que generan emisiones a la atmósfera. La recuperación de productos en polvo del gas de descarga es vital para cualquier industria para evitar los problemas de polución o aumentar el rendimiento de la planta. Las técnicas de control para las partículas se centran en capturar las partículas emitidas por una fuente contaminante.

Los dispositivos de control más usados para controlar la emisión de partículas son los siguientes:

### **Separador de inercia: Ciclón**

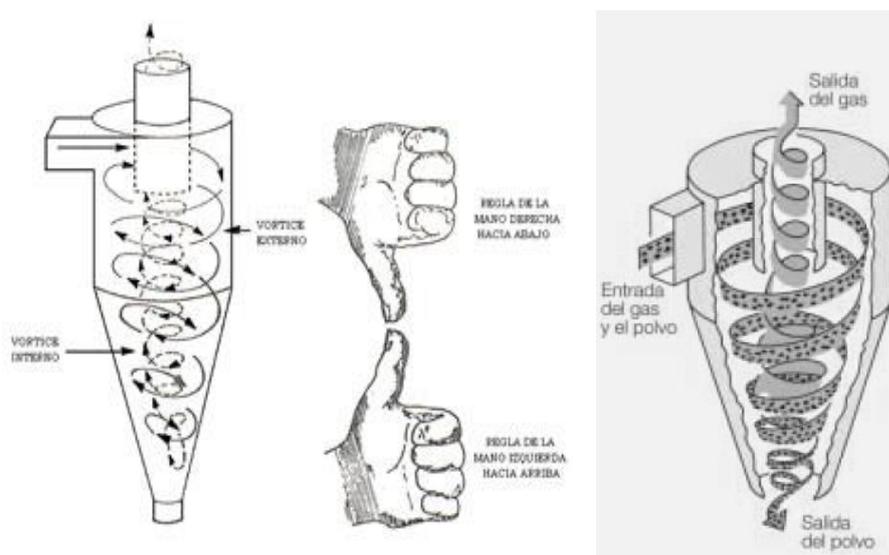
Uno de los métodos más antiguos y más usados para separar polvo en suspensión en un gas (generalmente aire) es el ciclón. También se los conoce como separadores centrífugos. Los ciclones usan el principio de impacto inercial, generado por la fuerza centrífuga para remover el material particulado. El ciclón es esencialmente una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga. La figura 1.2 muestra el

movimiento de las partículas mayores hacia las paredes del ciclón debido a la fuerza centrífuga.



**FIGURA 1.2 MECANISMOS DE COLECCIÓN DE PARTÍCULAS EN UN CICLÓN.**

En un ciclón, el flujo contaminante es forzado a un movimiento circular. Este movimiento ejerce fuerza centrífuga sobre las partículas y las dirige a las paredes exteriores del ciclón. Las paredes del ciclón se angostan en la parte inferior de la unidad, lo que permite que las partículas sean recolectadas en una tolva. El aire limpio sale del ciclón por la parte superior de la cámara, pasando por un espiral de flujo ascendente o vórtice formado por una espiral que se mueve hacia abajo. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes, se deslizan a través de ellas, y son recogidos en la parte inferior.



**FIGURA 1.3 VÓRTICES EN EL CICLÓN**

La fuerza centrífuga generada por los giros del gas dentro del ciclón puede ser mucho mayor que la fuerza gravitacional, ya que la fuerza centrífuga varía en magnitud dependiendo de la velocidad y del radio de giro del gas.

Teóricamente el aumento de la velocidad de entrada al ciclón implicaría un aumento de la fuerza centrífuga y por lo tanto un aumento de la eficiencia, sin embargo velocidades de entrada muy altas generan la resuspensión de material particulado de las paredes internas del ciclón, lo cual disminuye la eficiencia del ciclón; adicionalmente aumentar la velocidad de entrada implica mayor consumo de energía.

El diseño apropiado de la sección cónica del ciclón obliga al cambio de dirección del vórtice descendente, el vórtice ascendente tiene un radio menor, lo que aumenta las velocidades tangenciales; en el cono se presenta la mayor colección de partículas, especialmente de las partículas pequeñas al reducirse el radio de giro.

Los ciclones son eficientes para remover partículas grandes pero no son tan eficientes para partículas pequeñas. Por esta razón a menudo se usan con otros dispositivos de control.

Los ciclones para separar partículas sólidas o líquidas de gases trabajan con partículas de entre 5 a 200 $\mu\text{m}$ , en el caso de partículas de diámetro menor a 5 $\mu\text{m}$  el rendimiento de la separación es bajo y para el caso de diámetro de partículas superiores a 200 $\mu\text{m}$  es conveniente utilizar una cámara de sedimentación por que la abrasión es menor.

Los ciclones presentan eficiencias mayores que la cámara de sedimentación gravitacional y eficiencias menores que los filtros de tela, lavadores y precipitadores electrostáticos. El grado de limpieza esperado es de 80% para partículas menores de 20 $\mu\text{m}$  y más de 90% para partículas de mayor tamaño.

Las principales familias de ciclones de entrada tangencial son:

- Ciclones de alta eficiencia.
- Ciclones convencionales.
- Ciclones de alta capacidad.

Los márgenes de la eficiencia de remoción para los ciclones, están con frecuencia basados en las tres familias. La tabla 3 presenta el intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones.

**TABLA 3**

**INTERVALO DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN PARA LAS DIFERENTES FAMILIAS DE CICLONES.**

Familia de Ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PARTICULAS SEDIMENTABLES (>10µm.)	PM10	PM2.5
<b>Convencionales</b>	70 - 90	30 - 90	0 – 40
<b>Alta eficiencia</b>	80 - 99	60 - 95	20 – 70
<b>Alta capacidad</b>	80 - 99	10 - 40	0 -10

**Ciclones de alta eficiencia:** Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales, pueden remover partículas de 5µm

con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

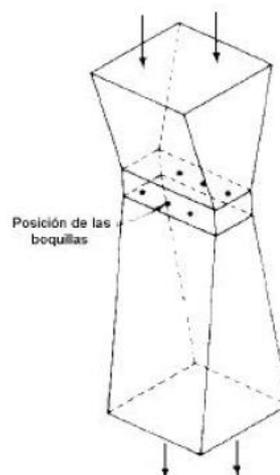
**Ciclones de alta capacidad:** Los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de  $20\mu\text{m}$ , aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas.

#### **Separador por vía húmeda: Lavador Venturi**

Los lavadores Venturi usan un flujo líquido para remover partículas sólidas. En el lavador Venturi, el gas cargado con material particulado pasa por un tubo corto con extremos anchos y una sección estrecha. Esta constricción hace que el flujo de gas se acelere cuando aumenta la presión. El flujo de gas recibe un rocío de agua antes o durante la constricción en el tubo. La diferencia de velocidad y presión que resulta de la constricción hace que las partículas y el agua se mezclen y combinen. La reducción de la

velocidad en la sección expandida del cuello permite que las gotas de agua con partículas caigan del flujo de gas. Para capturar partículas pequeñas, un lavador debe tener una velocidad relativa muy grande entre el gas que se está limpiando y las gotas de líquido.

Los lavadores Venturi pueden alcanzar 99 por ciento de eficiencia en la remoción de partículas pequeñas. Sin embargo, una desventaja de este dispositivo es la producción de aguas residuales.



**FIGURA 1.4 LAVADOR VENTURI**

### **Separador eléctrico: Precipitador electrostático (PES)**

Los precipitadores electrostáticos capturan las partículas sólidas en un flujo de gas por medio de la electricidad. El PES carga de electricidad a las partículas atrayéndolas a placas metálicas con

cargas opuestas ubicadas en el precipitador. Las partículas se retiran de las placas mediante "golpes secos" y se recolectan en una tolva ubicada en la parte inferior de la unidad.

La diferencia de voltaje entre electrodo y placa para casi todos los diseños es de 60 – 70 mil voltios. La eficiencia de remoción de los PES es muy variable. Para partículas menores de 5 $\mu$ m la eficiencia de remoción es de aproximadamente 99 por ciento. Su caída de presión es muy baja y pueden manejar grandes volúmenes. Sus mayores desventajas son su costo y que no pueden manejar sustancias explosivas.

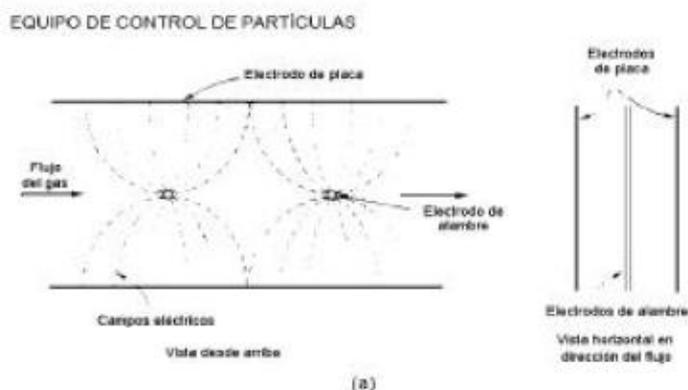
Los precipitadores electrostáticos se usan mucho para eliminar la contaminación atmosférica de las chimeneas de los aparatos industriales como, por ejemplo, las calderas de vapor y los hornos de cemento. Además se utilizan para recoger vapores de ácido sulfúrico y de ácido fosfórico y para recuperar compuestos de sodio en la sosa y en molinos de pasta de sulfato.

Las tipos de precipitadotes que existen son:

- Precipitador de placa y alambre.
- Precipitador de placas planas.

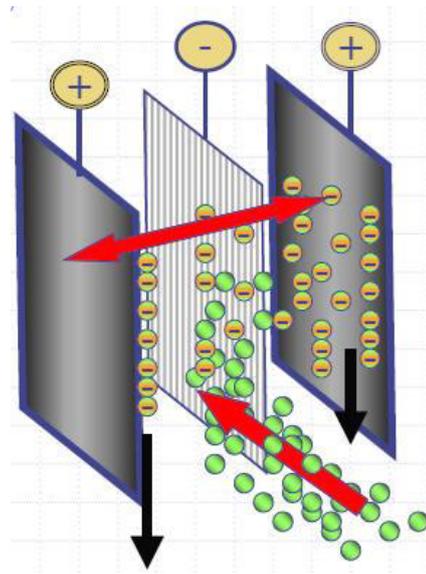
- Precipitador tubular.

**Precipitador de placa-alambre.-** Consta de placas paralelas y alambres entre las placas. Esta disposición permite muchas líneas de flujo operando en paralelo, y a su vez pueden ser muy altas, lo que permite a este tipo de precipitador tratar grandes volúmenes de flujo. Las placas son el electrodo colector, que deben ser golpeadas periódicamente para desprender el material recolectado. Hay que tener en cuenta la resistividad del material recolectado, ya que altas resistividades provocan la situación de corona invertida (se inyectan iones de polaridad contraria que disminuyen la eficiencia de recolección), si la resistividad es muy baja, las partículas se mantienen en la placa muy disgregadas, lo que provoca fenómenos de resuspensión y por lo tanto disminuye la eficiencia. En el cálculo de la resistividad del material influyen muchos factores como: naturaleza del gas y del material recolectado, temperatura, humedad, características de la superficie recolectora, etc.



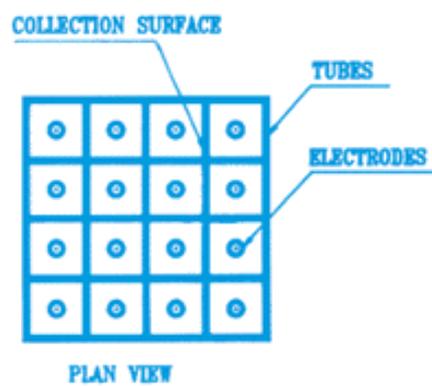
**FIGURA 1.5 PRECIPITADOR DE PLACA – ALAMBRE**

**Precipitador de placas planas.-** En este tipo de precipitador electrostáticos, de menor tamaño, se sustituyen los alambres por placas planas para los electrodos de alto voltaje. Esto incrementa el campo eléctrico promedio usado para recolectar partículas y proporciona una mayor área superficial. Las coronas no pueden formarse entre placas planas, por lo que hay que incorporar electrodos adicionales a la entrada de las placas que generen las coronas. Este precipitador es menos susceptible a la formación de corona invertida, siendo especialmente útil para la recolección de material con gran resistividad. Además, es menos propenso a la formación de chispas, por lo que suelen ser de polaridad positiva, para minimizar la formación de ozono.



**FIGURA 1.6 PRECIPITADOR DE PLACAS PLANAS**

**Precipitador tubular.** Los precipitadores tubulares tienen forma de tubo, o tubos en paralelo con forma de panel, con el electrodo de alto voltaje en forma de alambres. Normalmente son lavados con agua, por lo que son más utilizados con particulados húmedos o pegajosos.



**FIGURA 1.7 PRECIPITADOR TUBULAR**

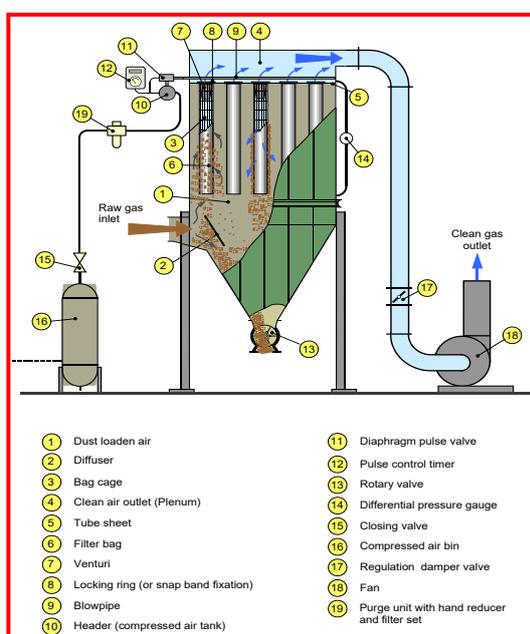
### **Separador filtrante: Filtro de mangas**

Los filtros de mangas son uno de los equipos más representativos de la separación sólido-gas mediante un medio poroso, aparecen en todos aquellos procesos en los que sea necesaria la eliminación de partículas sólidas de una corriente gaseosa.

Los filtros de mangas son capaces de recoger altas cargas de partículas resultantes de procesos industriales de muy diversos sectores, tales como: cemento, yeso, cerámica, caucho, química, petroquímica, siderúrgica, automovilística, cal, minera, amianto, aluminio, hierro, coque, silicatos, almidón, carbón, anilina, fibras de granos, etc.

La eliminación de polvo o de las pequeñas gotas que arrastra un gas puede ser necesaria por motivos de contaminación, para acondicionar las características de un gas a las tolerables para su vertido a la atmósfera, o como necesidad de un proceso para depurar una corriente gaseosa intermedia en un proceso de fabricación. En ocasiones el condicionante de la separación será un factor de seguridad, ya que algunos productos en estado de partículas muy finas forman mezclas explosivas con el aire.

Los filtros de mangas constan de una serie de bolsas con forma de mangas, normalmente de fibra sintética o natural, colocadas en unos soportes para darles consistencia y encerrados en una carcasa de forma y dimensiones muy similares a las de una casa. Trabaja bajo el mismo principio que una aspiradora de uso doméstico, los gases contaminantes cargados de partículas, al entrar al equipo, fluyen por el espacio que está debajo de la placa a la que se encuentran sujetas las mangas y hacia arriba para introducirse en las mangas, y las partículas quedan retenidas en la parte externa de las mangas. A continuación el gas fluye hacia afuera de las mangas, por el espacio exterior de los sacos, dejando atrás los sólidos, y se lo lleva por una serie de conductos hacia la chimenea de escape.



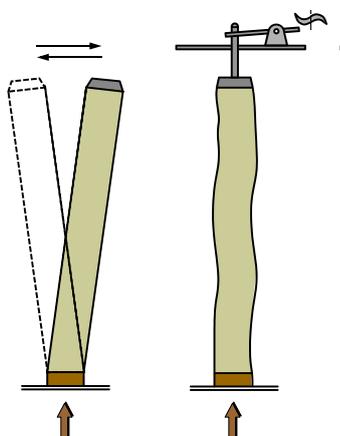
**FIGURA 1.8 ELEMENTOS MECÁNICOS DE UN COLECTOR DE POLVO PULSE-JET.**

El tamaño de las partículas a separar por los filtros de mangas será entre 2 y 30 $\mu\text{m}$ . Sin embargo, no es usual disponer de medios filtrantes con poros tan pequeños como para retener las partículas que transporta el gas, debido a que los diámetros de éstas son extraordinariamente pequeños. Por tanto la filtración no comienza a efectuarse de manera efectiva hasta que no se han acumulado una cierta cantidad de partículas sobre la superficie de la manga en forma de torta filtrante. La saturación de los filtros permite recoger partículas más pequeñas, pero eso implica la necesidad de aumentar la presión del gas para que los gases puedan atravesar el filtro.

La caída de presión en los filtros de mangas es media, pueden manejar grandes volúmenes y su potencia es media. Sus limitantes son la temperatura y la humedad; ya que no pueden manejar flujos a más de 200°C y deben estar totalmente secos, de lo contrario se queman las mangas o se apelmaza el polvo y tapan las mangas, por lo que los gases a altas temperaturas a menudo tienen que ser enfriados antes de entrar en contacto con el medio filtrante. Si se logra una adecuada selección del tejido, es posible obtener eficiencias del 80 – 95% para partículas hasta de 5 $\mu\text{m}$ .

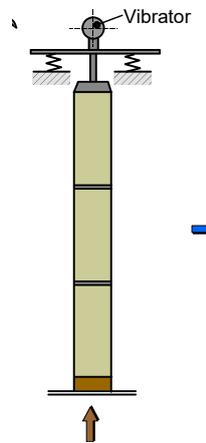
Existen los siguientes tipos de filtros de mangas:

**Filtros de limpieza por sacudida manual:** Es un filtro constituido de una bolsa filtrante suspendida en un cuadro metálico provisto de un dispositivo de sacudida manual, accionándolo de abajo arriba para obtener la limpieza del tejido filtrante. Estos filtros sirven para equipar individualmente los puestos de trabajo.



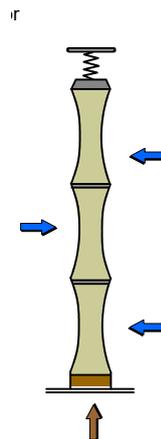
**FIGURA 1.9 FILTRO DE LIMPIEZA POR SACUDIDA**

**Filtro de limpieza mecánica por vibración:** Es un filtro constituido de saco filtrante o mangas cilíndricas, con un sistema de limpieza por vibrador, que al final de cada período de trabajo, el medio filtrante es descolgado por sacudidas que realiza una excéntrica accionada por un motor eléctrico. Esta sacudida desprende la torta de polvo que cae en un depósito. Estos filtros se utilizan para trabajos discontinuos.



**FIGURA 1.10 FILTRO DE LIMPIEZA POR VIBRACION**

#### **Filtro de limpieza por aire a contracorriente**

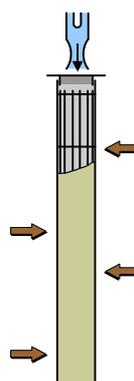


**FIGURA 1.11 FILTRO DE LIMPIEZA POR AIRE A CONTRACORRIENTE**

**Filtro de impulsos de aire comprimido:** Es un filtro constituido por mangas filtrantes cilíndricas, con un sistema de limpieza de estas mangas por una breve inyección de aire comprimido a través de un venturi, el cual induce un gran volumen de aire que infla la manga desprendiendo la torta de polvo del exterior de la misma. El

funcionamiento de este filtro puede ser continuo durante 24 horas al día, siendo ésta su principal ventaja de implantación. Admite concentraciones de polvo y velocidades de filtración, más importantes que un captador de polvo automático. Permite la recuperación o la recirculación de productos tratados.

En la industria de cemento la mayoría de los sistemas de limpieza han sido reemplazados por el filtro de impulsos de aire comprimido.

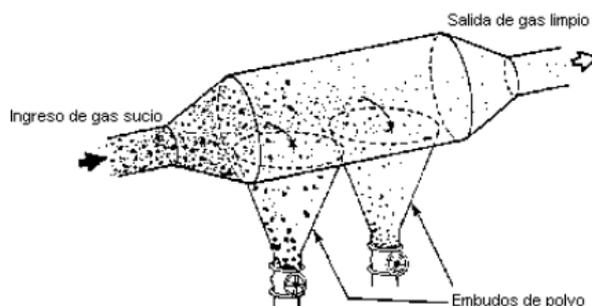


**FIGURA 1.12 FILTRO DE LIMPIEZA POR AIRE COMPRIMIDO**

### **Cámaras de sedimentación**

Las cámaras de sedimentación emplean la fuerza de gravedad para remover partículas sólidas. El flujo de gas ingresa a una cámara donde disminuye la velocidad del gas. Las partículas más grandes caen del flujo de gas en una tolva. Debido a que las cámaras de

sedimentación son efectivas sólo para la remoción de partículas más grandes, usualmente se usan junto con un dispositivo más eficiente de control. Su máxima eficiencia se logra con partículas no mayores a 1000  $\mu\text{m}$ , siempre y cuando su densidad sea alta.



**FIGURA 1.13 CAMARA DE SEDIMENTACION**

A continuación se presenta una tabla con información aproximada de los tamaños de partículas que pueden ser atrapadas por los equipos de control mencionados anteriormente.

**TABLA 4**

**PARTICULAS ATRAPADAS POR DISPOSITIVOS DE CONTROL**

<b>Equipo</b>	<b>Rango de partículas que atrapa en micras</b>
Precipitadores electrostáticos	0.01 a 90
Filtros de tela	0.05 a 90
Lavadores de gases	0.05 a 100
Separadores centrífugos	5 a 1000
Cámaras de sedimentación	10 a 10000

La definición del tipo de equipo a utilizar para controlar un contaminante, no sólo depende del tamaño de las partículas a controlar, también son muy importantes sus características físicas y químicas. De nada servirá un filtro de tela con material húmedo o con alta temperatura, tampoco funcionará un precipitador electrostático si el material a capturar no se puede ionizar. Por ello se deberán conocer las características físicas y limitaciones operativas de los equipos de control.

## **CAPITULO 2**

### **2. PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE EXTRACCION DE POLVO.**

En este capítulo se describe el tipo de sistema seleccionado utilizando ventilación localizada para la eliminación de los partículas de polvo así como también los componentes a utilizar en el sistema de extracción entre los cuales tenemos a la campana extractora, el ducto por el cual fluye el polvo, el separador de partículas necesario y el ventilador para producir el vacío en el sistema.

## 2.1 Descripción del sistema óptimo de extracción.

En la actualidad existen cabinas de arenado de diferentes dimensiones en industrias donde el tratamiento de superficies de piezas de grandes dimensiones constituye uno de los procesos de fabricación, haciendo a la operación apta para compartir espacios y tiempos productivos con cualquier otro tipo de proceso industrial. La mayoría de las cabinas poseen en su interior sistemas de aspiración del polvo con ductos internos y filtración del mismo haciendo que sea un sistema estático de trabajo. Esto asegura, no solo el disponer de la operación dentro de la planta fabril, sino de poder integrarlo a una línea de producción. Las cabinas tienen algunas desventajas con respecto al sistema móvil de extracción a plantear, el cual puede servir para trabajos tanto en la planta como en el lugar de trabajo.



**FIGURA 2.1 CABINA DE ARENADO**

El sistema de extracción a utilizar se lo ha determinado por medio de una matriz de decisión con respecto a las dos opciones citadas anteriormente la cual se presenta a continuación:

**TABLA 5**  
**MATRIZ DE DECISION DE SISTEMA DE EXTRACCION**

<b>Sistema</b>	<b>Costo</b>	<b>Trabajos puntuales</b>	<b>Movilidad al sitio de trabajo</b>
<b>Cabina</b>	Alto	Si	No
<b>Extractor portátil</b>	Bajo	No	Si

De acuerdo a la matriz presentada el sistema más factible es el extractor portátil o móvil ya que tiene un bajo costo, puede servir para trabajos en general y como su nombre lo indica se lo puede transportar hacia cualquier lugar de trabajo.

Este sistema utiliza los principios de ventilación para la extracción de polvo la misma que será descrita a continuación.

### **Ventilación**

La ventilación consiste en producir corrientes de aire que permitan eliminar contaminantes de la atmósfera en la que se desenvuelve un

trabajador, para evitar que se introduzca en su organismo y provoque enfermedades.

Los tipos de ventilación que existen son la ventilación diluidora y la local. En algunos casos, el propósito de la ventilación es extraer el aire contaminado, por lo que se denomina extracción; en otros, la ventilación pretende cambiar el aire sucio por aire puro, por lo que estos sistemas se denominan de recirculación de aire.

### **Ventilación diluidora**

La ventilación diluidora tiene cuatro factores que la limitan:

- La cantidad de contaminante generado no debe ser muy grande o el volumen necesario para la dilución será impráctico.
- Los obreros deben de estar a relativa distancia de la generación de los contaminantes o estos deben estar en bajas concentraciones de tal manera que la exposición de los trabajadores no sea en exceso de los valores máximos permisibles.
- La toxicidad de los contaminantes debe ser baja.
- La generación de los contaminantes debe ser relativamente uniforme.

La ventilación diluidora es raramente utilizada para humos y polvos debido a que cuando la toxicidad es alta, el requerimiento de aire es extremadamente grande y por que la generación de estos elementos en procesos industriales es usualmente alta. Otro problema envuelto es la determinación de la razón de generación del contaminante, valor necesario para calcular el requerimiento de aire. El método más común para eliminar estos contaminantes es mediante ventilación localizada.

### **Ventilación localizada**

La extracción localizada capta el contaminante en su lugar de origen antes de que pueda pasar al ambiente de trabajo. La mayor ventaja de este método respecto a la ventilación diluidora es su menor requerimiento de aire y que no contribuye a esparcir el contaminante.

Un sistema de extracción localizada consta de:

- 1) Campana: para la captación del contaminante en el foco.
- 2) Ducto: para transportar el aire con el contaminante al sitio adecuado, evitando que se disperse en la atmósfera.
- 3) Separador: para separar el contaminante del aire, recogéndolo de forma adecuada y liberar aire limpio.

- 4) Ventilador: para transmitir la energía necesaria al aire y hacerlo circular a través del sistema.

## **2.2 Campana extractora.**

Una campana es una estructura diseñada para encerrar total o parcialmente una operación generadora de un contaminante. Es un punto de entrada de aire contaminado al sistema. En general se denominan campanas a todos los tipos de aberturas por donde penetra el aire a los ductos.

El valor de una instalación será nulo si el contaminante no es captado y arrastrado dentro de la campana. El término campana se usa en sentido general, comprendiendo todas las aberturas por las que se produce succión sin considerar sus formas.

Los principios básicos que se deben tener en cuenta en el diseño de una campana en extracción localizada son:

- 1) Encerrar la fuente tanto como sea posible, ya que el caudal de aire a extraer será tanto menor cuanto más encerrado quede el foco contaminante en el interior de la campana. Por

consiguiente el diseño geométrico de una campana deberá siempre perseguir el objetivo de encerrar al máximo el proceso en su interior, teniendo siempre presente las necesidades de un acceso adecuado al proceso.

- 2) Capturar el contaminante con velocidad adecuada. La velocidad del aire a través de todas las aberturas de la campana debe ser lo bastante alta como para captar el contaminante. La importancia de la velocidad óptima de control y captura es uno de los puntos fundamentales en el diseño de este tipo de campanas.
- 3) Extracción del contaminante fuera de la zona de respiración del operario. Las campanas deben situarse con respecto al foco contaminante, de tal forma que el flujo de aire se desplace del operario a la fuente del contaminante, para evitar que el operario respire aire contaminado.
- 4) Suministro adecuado de aire. Todo el volumen de aire extraído debe ser reemplazado para no originar una depresión. Sin una causa de reposición adecuada, un sistema de extracción localizada no puede trabajar con el rendimiento esperado.
- 5) Descarga del aire extraído lejos del punto de reposición, ya que todo el efecto de una extracción localizada puede

malograrse por una recirculación hacia el interior del aire contaminado expulsado.

- 6) Proveer una adecuada velocidad de transporte para las partículas. El transporte de material particulado debe realizarse a una velocidad de aproximadamente 18 a 20m/s, para evitar la deposición de partículas en los ductos. El transporte de gases o vapores puede realizarse a velocidades inferiores.
- 7) Igualar la distribución del flujo del aire a todo lo largo de las aberturas de campana.

### **Tipos de campanas y aplicaciones**

Las campanas pueden ser clasificadas en los siguientes grupos:

- **Campanas de techo:** Son las más conocidas. Consiste en una bóveda situada por encima del lugar de trabajo. Este tipo de campana no se utiliza cuando el material es tóxico y el operario debe inclinarse sobre el tanque o proceso generador de los contaminantes. Cuando hay corrientes transversales puede ser necesario colocar pantallas en los costados.

- **Cabinas:** Suelen tener, aunque no siempre, un gran hueco, de forma que parte de la operación contaminante puede efectuarse dentro de la campana. El aire generalmente circula horizontalmente en lugar de vertical.
- **Campana de rejilla lateral:** Es similar a la cabina pero el hueco es más pequeño. Se trabaja, por lo general, enfrente de la campana y de forma que el aire que penetra en la misma circule por encima de donde se está trabajando.
- **Campana de aire descendente:** El aire circula hacia abajo. Su empleo es limitado ya que cualquier corriente ascendente o transversal tiene un efecto adverso sobre la penetración del contaminante de las aberturas.
- **Campana extractora alargada:** Es simplemente una campana de rejilla lateral, en la cual la relación lado mayor a menor es más grande. Como ejemplo, las bocas de aspiración de los tanques y baño.

### 2.3 Ducto.

El ducto en un sistema de extracción localizada es el lugar por donde se traslada el aire contaminado desde la campana, que se encuentra junto al foco contaminante, al punto en que se ha ubicado el separador y la descarga. Cuando ese aire pasa por cualquier ducto debe vencerse la resistencia originada por la fricción y, por lo tanto, hay que gastar energía. La magnitud de esta pérdida por fricción tiene que ser calculada antes que el sistema está instalado, con el objeto de elegir el ventilador más adecuado.

El flujo, en un ducto de extracción localizada, es en la práctica siempre turbulento, por lo que la velocidad no es constante, sino que oscila alrededor de su valor medio.

En los ductos es importante tener presente los siguientes aspectos:

- 1) En la extracción de polvo, la velocidad en el ducto debe ser lo bastante alta para evitar que el polvo sedimente y atasque la tubería.

- 2) Para la extracción de gases y vapores, la velocidad en el ducto se obtendrá de un balance económico entre el costo del ducto y el ventilador y los costos del motor y la potencia del mismo.
- 3) En la localización y construcción del ducto deben estar previstos los medios de protección necesarios para evitar la corrosión, con objeto de aumentar la vida del sistema de extracción.
- 4) Conseguir el mínimo consumo de fuerza motriz (disminuyendo la pérdida de carga).
- 5) Mantener la velocidad de transporte necesaria para que el contaminante no se deposite y tapone el ducto.
- 6) Mantener el sistema equilibrado en todo momento.

#### **2.4 Separador de partículas.**

El vertido directo del contaminante de una extracción localizada y más tratándose de material particulado, al exterior, daría lugar a un problema de contaminación atmosférica, por lo que se debe retener y separar del aire que ha servido como vehículo transportador. El objetivo de los separadores o purificadores es recoger el contaminante del aire antes de que éste vuelva a la atmósfera. Uno o

varios dispositivos separadores de aire adecuados deberían formar parte del sistema de extracción.

Los separadores pueden ser de muy diversos tipos, según la técnica empleada y el contaminante que debe separarse, los cuales ya fueron descritos anteriormente en la sección 1.4.

El tipo de separador a utilizar en este proyecto consta de un ciclón para retener las partículas mas grandes y posterior a el un filtro de mangas con limpieza por aire comprimido.

## **2.5 Ventilador.**

Los ventiladores son los dispositivos que suministran energía al sistema para el movimiento del aire en el interior del mismo, es una turbo-máquina de fluido para gases que absorbe la energía mecánica y restituye energía a un gas comunicándole un incremento de presiones inferiores a 1000mm col H<sub>2</sub>O.

Siempre que sea posible, el ventilador se colocará después del separador, con objeto de que por él pase aire limpio y así evitar el

deterioro del mismo por erosión de partículas o corrosión de las diversas sustancias.

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

*Según la presión desarrollada:*

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

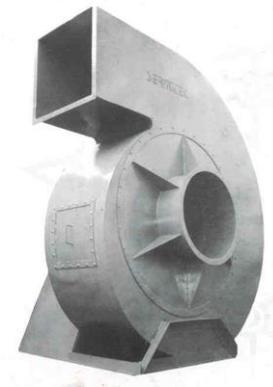
*Según la dirección del flujo:*

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

Se describirán los ventiladores según la dirección de flujo los cuales ya fueron nombrados en el párrafo anterior.

### **Ventiladores centrífugos**

Un ventilador centrífugo consta de una voluta, rodete y un sistema de accionamiento. En el ventilador centrífugo el rodete atrae el aire a su cuerpo por el oído, lo conduce a su periferia y la arrastra hacia la impulsión siguiendo el movimiento en espiral canalizando por la voluta. El eje de impulsión es perpendicular al eje de aspiración. El aire es espirado por un pabellón o cono de aspiración que está situado en el flanco de la caja o puesta al disco del rodete donde van fijando los alabes.



**FIGURA 2.2 VENTILADOR CENTRIFUGO**

Las características que reúnen los ventiladores centrífugos son:

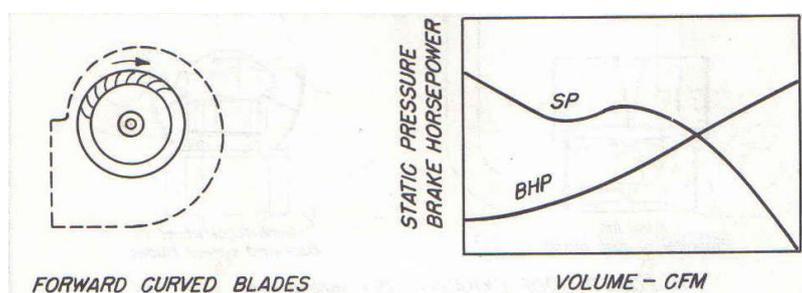
- Caudales algo menores.
- Presiones más elevadas.
- Buen rendimiento.
- Silenciosos.
- Impulsión.
- Extracción.

Los caudales son algo menores que un ventilador helicoidal sin embargo la presión es mucho mayor. La utilización de un centrífugo se hace para toda clase de caudales y cuando se alcance una determinada presión. Un ventilador centrífugo es mucho más caro que un ventilador helicoidal pero tiene una mayor flexibilidad de empleo.

Los ventiladores centrífugos tienen tres tipos básicos de hélice o rodete que se describen a continuación:

**Ventiladores con alabes curvados hacia delante:** También llamados de jaula de ardilla tienen una hélice con los alabes curvados en el mismo sentido que la dirección de giro. Estos ventiladores necesitan poco espacio, baja velocidad periférica y

son silenciosos. Se utilizan cuando la presión estática necesaria es de baja a media, tal como la que se encuentran en los sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire, etc. No es recomendable utilizar este tipo de ventilador con aire polvoriento, ya que las partículas se adhieren a los pequeños alabes curvados y pueden provocar el desequilibrio del rodete.



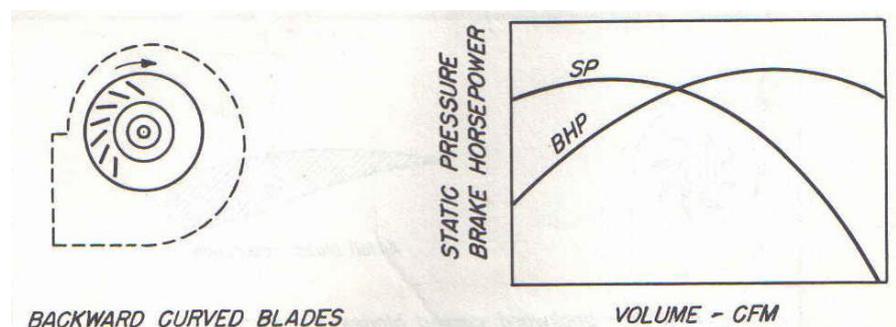
**FIGURA 2.3 VENTILADOR CON ALABES CURVADOS HACIA ADELANTE**

Estos ventiladores tienen un rendimiento bajo fuera del punto de proyecto. Además, como su característica de potencia absorbida crece rápidamente con el caudal, ha de tenerse mucho cuidado con el cálculo de la presión necesaria en la instalación para no sobrecargarlo. En general son bastante inestables funcionando en paralelo vista su característica caudal-presión.

**Ventiladores con alabes rectos:** Los ventiladores centrífugos radiales tienen la hélice con los alabes dispuestas en forma radial. La

carcasa está diseñada de forma que a la entrada y a la salida se alcance velocidades de transporte de materiales. Existen una gran variedad de diseños de hélices que van desde los de "alta eficacia con poco material" hasta los de "alta resistencia a impacto". La disposición radial de los alabes evita la acumulación de materiales sobre las mismas. Este tipo de ventilador es el comúnmente utilizado en las instalaciones de extracción localizada en las que el aire contaminado con partículas debe circular a través del ventilador. En este tipo de ventiladores la velocidad periférica es media y se utiliza en muchos sistemas de extracción localizada que en transportar aire sucio o limpio.

**Ventiladores con alabes curvados hacia atrás:** Tienen un rodete con las alabes inclinados en sentido contrario al de rotación. Este tipo de ventilador es el de mayor velocidad periférica y mayor rendimiento con un nivel sonoro relativamente bajo y una característica de consumo de energía del tipo "no sobrecargable". En un ventilador "no sobrecargable", el consumo máximo de energía se produce en un punto próximo al de rendimiento óptimo de forma que cualquier cambio a partir de este punto debido a cambios de la resistencia del sistema resultará en un consumo de energía menor.

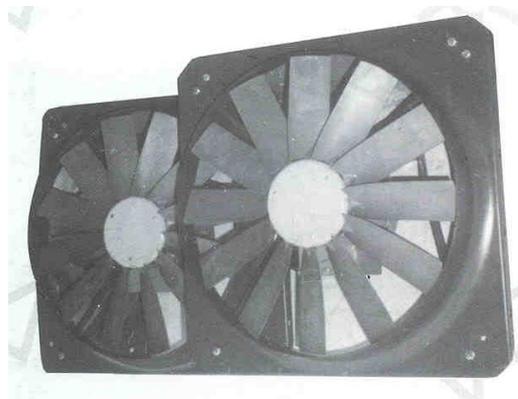


**FIGURA 2.4 VENTILADOR CON ALABES CURVADOS HACIA ATRAS**

Los ventiladores centrífugos requieren para su instalación de un mayor espacio físico y de bases más firmes que los axiales. Sin embargo, donde su uso es más generalizado es en aquellos sistemas de ventilación locales, donde se emplean filtros contra polvo, cuya resistencia al paso de una corriente de aire depende de su climatización y varía con el tiempo de uso. En estos tipos de sistema las curvas de operación características de los ventiladores centrífugos se adaptan mejor a la exigencia del incremento paulatino de caída de presión estática que los axiales y con un menor nivel de ruido.

## Ventiladores axiales

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



**FIGURA 2.5 VENTILADOR AXIAL**

**Ventiladores helicoidales:** En estos ventiladores el aire se desplaza en el sentido del eje de rotación de la hélice. La hélice tiene un núcleo al cual se fijan las palas perfiladas y dispuestas formando un ángulo dado. Si las palas no tuvieran ningún ángulo de ataque más acción tiene la hélice sobre el aire. Su composición simple lo convierte en un aparato barato en comparación con su caudal. Al tener poca presión disponible sólo se pueden aplicar, donde la resistencia al flujo de aire es baja, es decir, en instalaciones de pocos

metros de ducto y aún éste del mismo diámetro de la hélice. Se emplean para mover aire con poca pérdida de carga, y su aplicación más común es la ventilación general, se utiliza frecuentemente en montaje mural, en extracción e impulsión de aire sin mediación de ductos.

Un ventilador helicoidal está compuesto por una virola, una hélice y sistema de accionamiento. Se construyen con dos tipos de alabes: alabes de disco para ventiladores sin ningún conducto; y alabes estrechas para ventiladores que deban vencer resistencias bajas (menos de 25mm col H<sub>2</sub>O). Sus prestaciones están muy influenciadas por la resistencia al flujo del aire y un pequeño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal.

Las características de un ventilador helicoidal son:

- Grandes caudales de aire.
- Presión disponible reducida.
- Buen rendimiento.
- Ruidosos.
- Curva plana.
- Montaje mural.

- Impulsión.
- Extracción.

El caudal de aire que transportan los ventiladores helicoidales es grande en relación a su tamaño, hélices de diámetro de 800mm puede dar hasta 30m<sup>3</sup>/h.

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

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

rotación existente o adquirida por el fluido en la instalación, a la entrada del rodete o tras su paso por el mismo. Estas directrices pueden colocarse a la entrada o a la salida del rodete, incluso las hay fijas ó removibles.

## **CAPITULO 3**

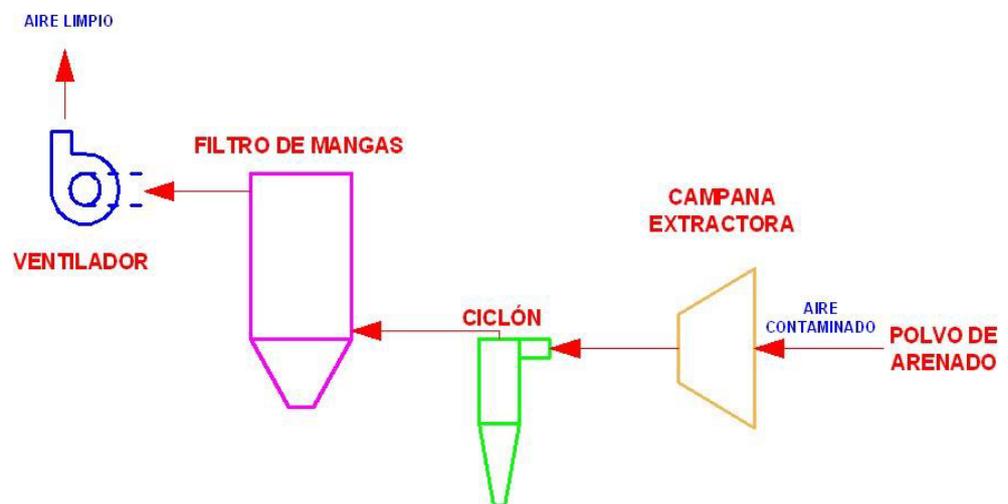
### **3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA.**

En este capítulo se detalla al principio el diseño de forma correspondiente del sistema, así como también se presentan los cálculos necesarios para el diseño de cada uno de los componentes a utilizar en el sistema, como son campana extractora, ducto, codos, reducciones, ciclón, filtro de mangas, y la selección adecuada del ventilador, además se presenta el análisis de la estructura que soportará los diferentes componentes distribuyéndolos de tal manera que sea de fácil transportación.

### 3.1 Diseño de forma.

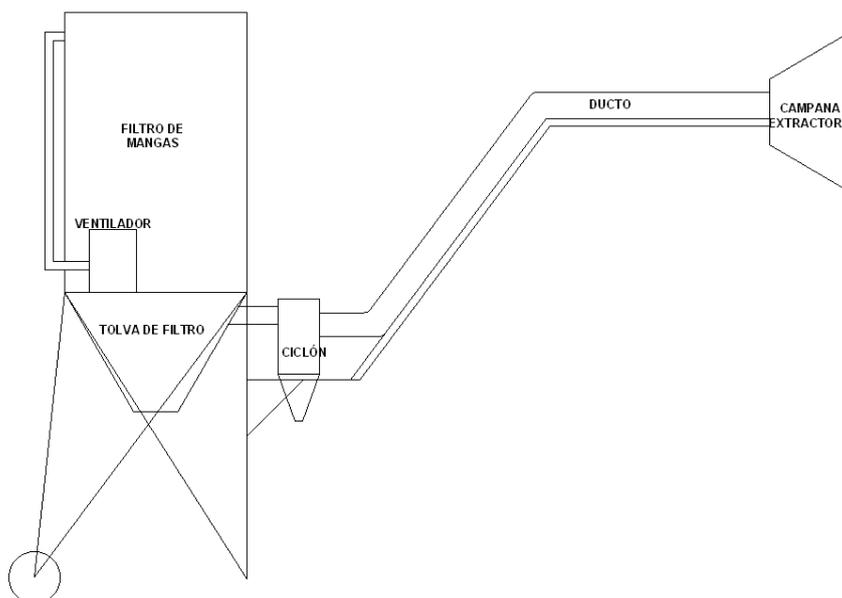
En este sistema de extracción de polvo se tendrá a los siguientes elementos constitutivos: la campana extractora que estará apoyada sobre un brazo metálico el cual esta conectado a un bastidor, el ducto que también estará apoyado por el brazo metálico, un ciclón, un filtro de mangas y el ventilador con su respectivo motor. El bastidor soportará al ciclón, el filtro de mangas y el ventilador.

Lo anteriormente descrito se resume en el siguiente diagrama de flujo.



**FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE EXTRACCION DE POLVO**

Se tiene el siguiente diseño de forma correspondiente al diagrama de flujo presentado.



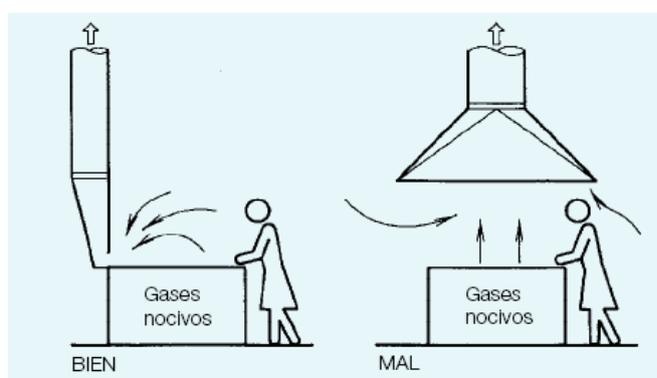
**FIGURA 3.2 DISEÑO DE FORMA DEL SISTEMA DE EXTRACCION DE POLVO**

### **3.2 Diseño de campana extractora.**

La campana extractora a utilizar en este sistema y que cumple con las características necesarias para su uso será la de tipo rectangular a canto vivo, la misma que deberá regirse por medio de un factor de forma que establece lo siguiente: la relación entre el ancho (H) y la longitud de la entrada (L) de la campana sea mayor o igual a 0.2.

$$\frac{H}{L} \geq 0.2 \quad [4]$$

También se pudo establecer que para este sistema de extracción de polvo, es indispensable que la posición de la campana se localice de manera lateral a la posición de trabajo y no en la parte superior, como se ilustra en la figura 3.3.



**FIGURA 3.3 POSICIÓN DE CAMPANA DE EXTRACCIÓN**

Esta posición establecida ayuda a que el trabajador no aspire el aire contaminado y por lo tanto tenga una mejor visibilidad mientras realiza el trabajo de arenado.

Para determinar las dimensiones finales de la campana me he basado en un catálogo para fabricación de campanas extractoras usado en la industria de cemento [5]. Por lo cuál queda determinado que las dimensiones son las siguientes:

$$H = 660mm$$

$$L = 900mm$$

Calculando la relación se verifica el factor de forma:

$$\frac{660}{900} = 0.73 \geq 0.2$$

El espesor mínimo y estándar según el catálogo destaca que debe de ser de 3mm [5] por lo que se escoge este valor para la fabricación de la campana extractora. El tipo de material seleccionado es acero ASTM A36 y con estos datos nos da un peso de la campana aproximado de 80Kg.

El parámetro importante para el diseño de este sistema de extracción de polvo es el caudal a ser extraído y que ingresa a través de la campana, el cuál fue analizado para dos posiciones diferentes: suspendida y apoyada en el suelo.

### **Campana suspendida en el aire**

$$Q = V(10x^2 + A) \text{ [6]}$$

Q: Caudal en la campana (m<sup>3</sup>/s).

V: Velocidad de captura de la partícula (m/s).

x: Distancia al foco (m).

A: Área transversal de campana (m<sup>2</sup>).

Para la selección de la velocidad de captura se tomo el valor de 0.02m/s [7] que es la velocidad resultante de una partícula de 10µm (por ser el diámetro mayor de la partícula a capturar) y una densidad de 0.530g/cm<sup>3</sup> (resultado de un análisis granulométrico del polvo recogido en filtros de mangas de un cuarto de arenado).

**TABLA 6**  
**RESULTADO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE POLVO**

<b>Tamaño del polvo, x (micras)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
x > 180	27.37
180 > x > 150	14.33
150 > x > 125	19.75
125 > x > 106	0.97
106 > x > 75	8.26
75 > x > 38	17.27
x < 38	12.5
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>

$$\rho_s = 530 \frac{Kg}{m^3} = 0.530 \frac{g}{cm^3}$$

Para la distancia de la campana al foco de generación del polvo se asumió como máximo una longitud de 2m, con estos valores se obtuvo lo siguiente:

$$Q = 0.02[10(2)^2 + (0.66 \times 0.9)]$$

$$Q = 0.81 \frac{m^3}{s}$$

### **Campana apoyada en el suelo**

$$Q = V(5x^2 + A) \quad [6]$$

Con los datos anteriores se procede a calcular el caudal para la siguiente posición obteniendo los resultados:

$$Q = 0.02[5(2)^2 + (0.66 \times 0.9)]$$

$$Q = 0.41 \frac{m^3}{s}$$

**TABLA 7**

#### **MATRIZ DE DECISION PARA SELECCIÓN DE CAMPANA**

<b>POSICION DE CAMPANA</b>	<b>CAUDAL DE AIRE A SER MANEJADO</b>	<b>CAPTURA DE PARTICULAS DE POLVO</b>
Suspendida en el aire	ALTO	ALTO
Apoyada en el suelo	BAJO	BAJO

De acuerdo a la matriz presentada se decide que el diseño del sistema de extracción de polvo deberá ser realizado con el valor de caudal de la campana suspendida en el aire es decir 0.81 m<sup>3</sup>/s, ya que con este valor podrá también funcionar para el caso de apoyada en el suelo por que el caudal de esta posición es menor, además cuando la campana se encuentre al nivel de suelo posiblemente capturará partículas a nivel de este y no las que se encuentren suspendidas en el aire.

### 3.3 Diseño de ducto.

Para el diseño del ducto por el cual las partículas van a ser extraídas es necesario encontrar el valor del diámetro del mismo, es por eso que se toma como referencia el resultado obtenido del caudal a ser aspirado por la campana extractora y la velocidad de transporte Standard para las partículas de polvo cuyo valor es de 16m/s de acuerdo a catálogo de fabricación de sistemas colectores de polvo (1).

De acuerdo a los datos obtenidos y con la ayuda de las siguientes formulas:

$$Q = VA \quad (1) \qquad A = \frac{\pi\phi^2}{4} \quad (2)$$

Se calcula el diámetro del ducto:

$$\phi = 254mm = 0.254m$$

Para seleccionar el tipo de material del ducto a utilizar se procedió a realizar análisis con varias alternativas, de las cuales se presentan a continuación:

- Acero ASTM A36 de 3mm de espesor
- Tubería PVC ESPIRO PU ANTIESTATICO [8]
- Tubería de tejido de PVC autoextinguible EXTRAFLEX [9]
- Tubería de poliuretano FLEX [10]

TABLA 8

## MATRIZ DE DECISION PARA SELECCIÓN DE DUCTERIA

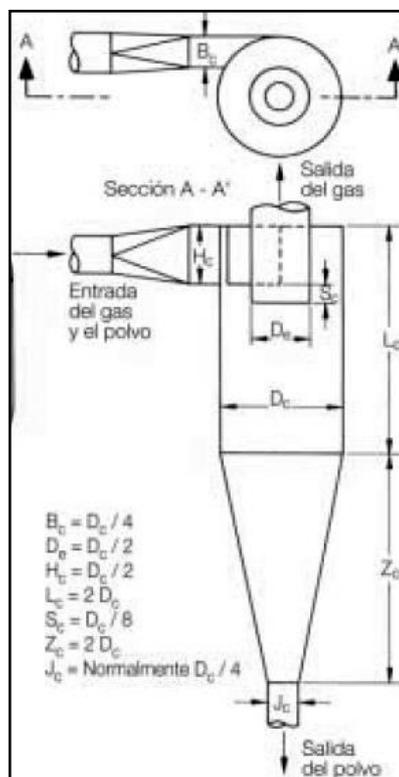
TIPO DE DUCTERIA	PARED INTERIOR LISA	ANTI-ESTATICO	PESO	RESISTENTE A LA ABRASION
Acero ASTM A36	SI	NO	EXTRA-PESADO	NO
Espiro PU antiestático	SI	SI	PESADO	SI
PVC EXTRAFLEX	NO	SI	EXTRA-LIVIANO	NO
POLIURETANO FLEX	NO	SI	LIVIANO	SI

De acuerdo a los parámetros expuestos en la matriz se selecciona a la tubería Espiro PU antiestático debido a poseer una pared interior lisa la cual provocará una caída de presión menor que si fuese corrugada y por ser antiestática es decir se le puede dar la forma que se desee y tener mayor flexibilidad al momento de trabajar y con una resistencia a la abrasión moderada ya que los polvos a extraer son provenientes de la arena utilizada en el proceso conjuntamente con impurezas desprendidas de las superficies tratadas.

### 3.4 Diseño de ciclón.

El diseño de los ciclones es algo complejo y en la mayoría de las aplicaciones la eficiencia es optimizada a base de prueba y error. Las dimensiones del ciclón están en función del diámetro principal ( $D_c$ )

del mismo, y se utiliza este procedimiento para propósitos constructivos.



**FIGURA 3.4 DIMENSIONES DEL CICLON**

Se tiene los siguientes valores que permiten realizar el cálculo de las dimensiones del diámetro principal  $D_c$ :

- Caudal  $Q = 0.81 \frac{m^3}{seg}$
- Velocidad de transporte  $V = 16 \frac{m}{seg}$

Por lo tanto:

$$D_c = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

$$D_c = \sqrt{\frac{4(0.81)}{\pi(16)}}$$

$$D_c = 0.254m$$

Teniendo el valor del diámetro principal  $D_c$  se calculan las dimensiones restantes del ciclón de acuerdo a las ecuaciones de la figura 3.4:

$D_c$ : Diámetro principal  
 $B_c$ : Ancho de entrada de gas  
 $D_o$ : Diámetro de salida de gas  
 $H_c$ : Altura de entrada de gas  
 $L_c$ : Altura del cilindro del ciclón  
 $S_c$ : Diferencia entre entrada y salida de gas  
 $Z_c$ : Altura del cono del ciclón  
 $J_c$ : Diámetro de salida de polvo

$$B_c = \frac{D_c}{4}$$

$$D_o = \frac{D_c}{2}$$

$$B_c = \frac{0.254}{4}$$

$$D_o = \frac{0.254}{2}$$

$$B_c = 0.064m$$

$$D_o = 0.127m$$

$$L_c = 2D_c$$

$$L_c = 2(0.254)$$

$$L_c = 0.508m$$

$$H_c = \frac{D_c}{2}$$

$$H_c = \frac{0.254}{2}$$

$$H_c = 0.127m$$

$$S_c = \frac{D_c}{8}$$

$$S_c = \frac{0.254}{8}$$

$$S_c = 0.032m$$

$$Z_c = 2D_c$$

$$Z_c = 2(0.254)$$

$$Z_c = 0.508m$$

$$J_c = \frac{D_c}{4}$$

$$J_c = \frac{0.254}{4}$$

$$J_c = 0.064m$$

### 3.5 Diseño de filtro de mangas.

Para el diseño correcto de un filtro de mangas es muy importante tener en cuenta los parámetros necesarios para su cálculo, entre ellos están:

- Caudal  $Q = 0.81 \frac{m^3}{seg}$
- Dimensión de mangas  $\phi = 145mm$  tomado de catálogos de fabricantes.  
 $L = 2500mm$
- Relación aire-tela (Air-to-cloth ratio)  $A/C = 1.20 \frac{m^3}{m^2 \min}$  valor tomado del catálogo de fabricación de sistemas colectores de polvo (1).

Con estos valores se procede a calcular el área de una manga del filtro ( $A_u$ ):

$$A_u = \frac{\pi \phi^2}{4} + \pi \phi L$$

$$A_u = \frac{\pi(0.145)^2}{4} + \pi(0.145)(2.5)$$

$$A_u = 1.16m^2$$

Con este dato se tiene que el número de mangas necesarias para el filtro será:

$$\#mangas = \frac{Q}{\frac{A/C.ratio}{Au}}$$

$$\#mangas = \frac{0.81}{\frac{1.20}{1.16}}$$

$$\#mangas = 36$$

También se debe tener muy en cuenta que la velocidad de filtración (can velocity) se encuentre en el rango de 1 a 1.3 m/s en el interior del filtro, esto se calcula con la ayuda de la sección espejo, para ello hay que saber que la sección espejo es el resultado de la diferencia entre la placa espejo y el área total de los agujeros del filtro en la placa espejo.

Por lo tanto:

$$\text{Área\_Placa\_espejo} = (\text{ancho})(\text{largo})$$

$$\text{Área\_Placa\_espejo} = (1.22)(1.22) = 1.48m^2$$

$$\text{Área\_total\_de\_agujero\_de\_mangas} = (\#mangas)\left(\frac{\pi}{4}\right)(\phi^2)$$

$$\text{Área\_total\_de\_agujero\_de\_mangas} = (36)\left(\frac{\pi}{4}\right)(0.145)^2 = 0.594m^2$$

$$\text{Sección\_espejo} = (\text{Área\_Placa\_espejo}) - (\text{Área\_total\_de\_agujero\_de\_mangas})$$

$$\text{Sección\_espejo} = 1.48 - 0.594$$

$$\text{Sección\_espejo} = 0.886m^2$$

$$can\_velocity = \frac{Q}{sección\_espejo}$$

$$can\_velocity = \frac{0.81}{0.886}$$

$$can\_velocity = 1 \frac{m}{s}$$

El resultado de la velocidad de filtración (*can velocity*) está en el rango permisible del diseño de nuestro filtro de mangas.

El material de las mangas filtrantes será de poliéster [11] debido a que es el fieltro más utilizado por su gran versatilidad, resistencia y tolerancia a la abrasión presenta buena resistencia a los ácidos, disolventes y agentes oxidantes, sin embargo, deben evitarse los ácidos fuertes como el ácido sulfúrico y el clorhídrico, además de los álcalis, particularmente a altas temperaturas. Este tipo de fibra presenta una baja resistencia a la hidrólisis, especialmente a temperaturas superiores a 90°C. En ambientes secos puede soportar temperaturas en continuo de 150°C, y en un periodo corto de tiempo, resiste hasta 170°C (según los fabricantes de las fibras). Así mismo se necesitan 36 canastillas de 145mm de diámetro y altura de 2.5m fabricadas en acero.

Con todos los datos obtenidos se procede a realizar los planos de construcción del filtro de mangas, el cual queda definido en dos

cuerpos de 1220mm de ancho y 1220mm de largo con una altura de 1750mm, todo en espesor de 5mm, así también se debe construir la tolva de recepción la cual debe poseer un ángulo de inclinación de cada cara de 60°, medida estándar en tolvas para recolección de polvos [12].

### **3.6 Selección del ventilador.**

Para la selección del ventilador necesario que ayudará creando vacío en el sistema con la única finalidad de extraer el polvo generado en el proceso de arenado es de vital importancia conocer los valores del cabezal estático del sistema y el caudal con que fluye, este último ya calculado en secciones anteriores.

Es por eso que para obtener el cabezal estático del sistema será necesario calcular las pérdidas generadas en los diferentes accesorios, se deberá tomar en cuenta para el cálculo del cabezal a la campana extractora, ductos, reducciones, codos de 90°, ciclón y filtro de mangas. Entonces se procede a realizar cada análisis de pérdidas basándose en teoría puntuales de cada componente.

### Pérdidas en ducto

Asumiendo una longitud de 5m de ducto Espiro PU que llevará el brazo extractor y 3m de ducto de acero desde la salida del filtro al ventilador dando un total de 8m de acuerdo al diseño realizado, es necesario obtener el factor de pérdida por cada metro de longitud de ducto, para aquello es importante ayudarse con la tabla de pérdidas en ductos circulares de pared interna lisa [13] y cualquiera de los tres parámetros siguientes: caudal, diámetro del ducto o velocidad de transporte.

$$Q = 0.81 \frac{m^3}{seg} = 1719CFM$$

$$V = 16 \frac{m}{seg} = 3149FPM$$

Usando la tabla descrita se obtiene un factor de:

$$k = 1.4 \frac{pu \lg H_2O}{100 ft} = \frac{1.17 mm.col.H_2O}{m}$$

Por lo tanto se obtiene la pérdida a lo largo del ducto:

$$h_d = kL$$

$$h_d = (1.17)(8)$$

$$h_d = 9.3 mm.col.H_2O$$

### **Presión dinámica (VP)**

Como ya se describió anteriormente la velocidad de transporte es de 16m/s y para el calculo del cabezal estático generado en el ducto será necesario el valor de la presión dinámica (VP) generada en el interior de la misma, la cual se la obtiene de la siguiente formula:

$$V = 4.003\sqrt{VP}$$

Por lo tanto despejando el valor de la presión dinámica se obtiene:

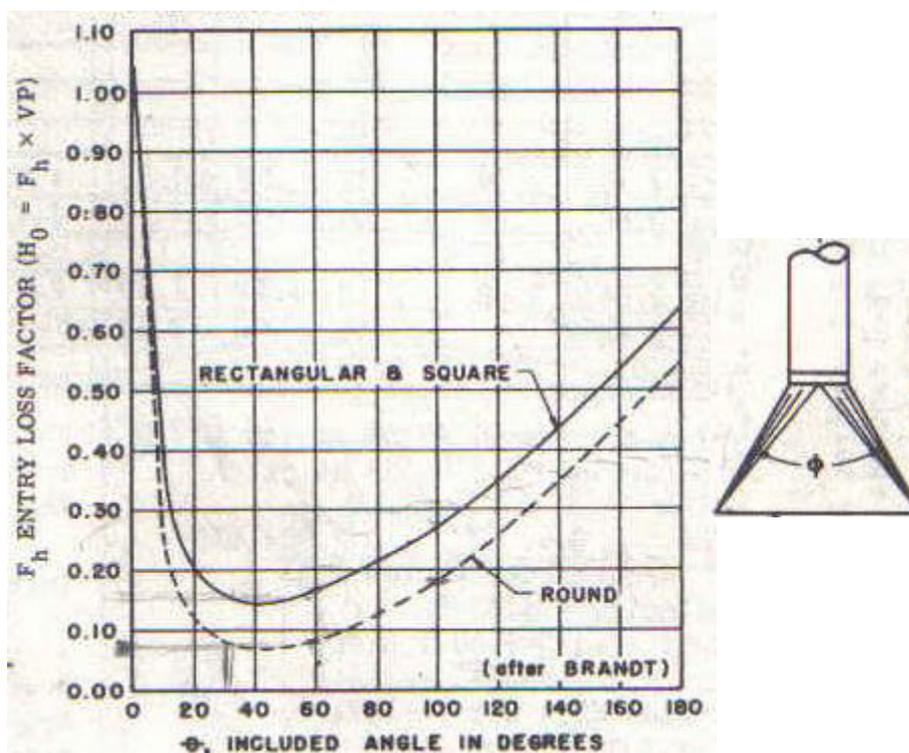
$$VP = \left(\frac{V}{4.003}\right)^2$$
$$VP = \left(\frac{16}{4.003}\right)^2$$
$$VP = 15.74mm.col.H_2O$$

Este valor servirá de ayuda para la perdida en los accesorios ya que se encuentran en función de la presión dinámica del sistema. Este cálculo se lo pudo también haber realizado de acuerdo a la tabla de presión dinámica para diferentes velocidades [14].

### **Perdida en campana extractora**

Este valor de pérdida se encuentra en función de la presión dinámica (VP), calculada anteriormente, de acuerdo a estudios realizados se tiene la tabla 9 generada para mayor facilidad de uso [15].

**TABLA 9**  
**FACTOR DE PÉRDIDA PARA CAMPANAS RECTANGULARES**



Como se puede observar el valor  $F_h$  depende exclusivamente del ángulo  $\theta$ . Es por ello que de acuerdo al diseño de la campana se obtiene un valor del ángulo de  $73^\circ$  (ver plano de fabricación) y así un factor de pérdida:

$$F_h = 0.2$$

Entonces la pérdida en la campana extractora será:

$$H_o = 0.2VP$$

$$H_o = 0.2(15.74)$$

$$H_o = 3.15 \text{ mm.col. } H_2O$$

### Perdidas en codos 90°

De acuerdo al diseño establecido, el ducto desde la campana extractora hasta el ciclón posee una longitud aproximada de 5m el cual es antiestático, es decir que toma la forma deseada y por tal motivo se asume que existirán como máximo cuatro puntos donde el ducto se doblará simulando la existencia de codos de 90°, también existen un codo en el ciclón y seis codos en la conexión del filtro y el ventilador, dando un total de once codos de 90°. Al igual que la pérdida en la campana extractora, el factor de pérdida en los codos de 90° se encuentra en función de la presión dinámica (VP) [16]. Por tal motivo se escoge aquel factor donde el radio de curvatura del ducto sea 1.25 veces el diámetro del ducto.

$$h_{1-codo.90^\circ} = 0.55VP$$

$$h_{1-codo.90^\circ} = 0.55(15.74)$$

$$h_{1-codo.90^\circ} = 8.657mm.col.H_2O$$

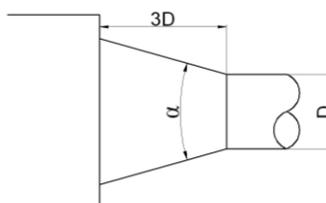
$$h_{11-codos.90^\circ} = 8.657(11) = 95.22mm.col.H_2O$$

### Perdidas en reducciones

Como se puede observar en los planos del diseño de los componentes a utilizar en el sistema existen 2 reducciones, una de ellas va desde el ducto hacia el ciclón y la segunda se encuentra

entre el ciclón y el filtro de mangas, para el calculo de ambas perdidas se toma como base a la tabla 10 creada para esta finalidad, las cuales se encuentran en función del ángulo  $\alpha$  de la reducción y la presión dinámica (VP) [15].

**TABLA 10**  
**FACTOR DE PÉRDIDA PARA REDUCCIONES**



$\alpha$	PERDIDA DE ENTRADA		COEFICIENTE DE ENTRADA	
	CIRCULAR	RECTANGULAR	CIRCULAR	RECTANGULAR
15°	0.15VP	0.25VP	0.93	0.88
30°	0.08VP	0.16VP	0.96	0.93
45°	0.06VP	0.15VP	0.97	0.93
60°	0.08VP	0.17VP	0.96	0.92
90°	0.15VP	0.25VP	0.93	0.89
120°	0.26VP	0.35VP	0.89	0.86
150°	0.40VP	0.40VP	0.84	0.82

Es así que el valor de  $\alpha = 25^\circ$  es igual para ambos casos e interpolando se puede deducir una pérdida de  $h_r = 0.10VP$

$$h_r = 0.10(15.74)$$

$$h_r = 1.57 \text{ mm.col. } H_2O$$

$$h_{2r} = 2(1.57)$$

$$h_{2r} = 3.14 \text{ mm.col. } H_2O$$

### **Perdidas en el filtro de mangas**

Las pérdidas de presión en el filtro de mangas se producen por dos factores: el primero es la caída de presión cuando los gases circulan por los ductos de entrada y salida, y el segundo es la caída de presión que se produce cuando los gases son filtrados por las mangas. De acuerdo a los valores que se obtiene al evaluar estas dos pérdidas de presión, se debe considerar que la primera es despreciable con respecto a la segunda. Por esta razón se procede a evaluar la pérdida de presión que se produce cuando los gases son filtrados al atravesar las mangas.

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

La pérdida de presión, cuando las mangas están limpias se la puede calcular con la siguiente fórmula determinada por Denno & Klemm (1979):

$$(Pe)_{\Delta w} = 1045V_f P_j^{-0.65}$$

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

$$\Delta P_f = (Pe)_{\Delta w} + K_2 W_o V_f$$

$$W_o = C_i V_f t$$

Donde:

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

$$C_i = 0.015$$

$V_f$  La velocidad de filtración, la cual de acuerdo a investigaciones

$$V_f = 2 \frac{cm}{seg} = 0.02 \frac{m}{seg} \quad [17]$$

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

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

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

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

$$P_j = 552 KPa$$

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

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

$$(Pe)_{\Delta w} = 1045(0.02)(552)^{-0.65}$$

$$(Pe)_{\Delta w} = 0.345 KPa$$

$$(Pe)_{\Delta w} = 35.62 mm.col.H_2O$$

Si el tiempo entre pulsos se encuentra en un intervalo de 5 minutos, es decir, 300 segundos, tenemos que la cantidad de polvo por unidad de tiempo es:

$$W_o = 0.015(0.02)(300)$$

$$W_o = 0.090 \frac{Kg}{m^2}$$

La diferencia de presión encontrada en el filtro de mangas es:

$$\Delta P_f = 0.345 + \frac{(1.5 \times 10^5)(0.09)(0.02)}{1000}$$

$$\Delta P_f = 0.6151 KPa$$

$$\Delta P_f = 63.49 mm.col.H_2O$$

Hay que hacer notar que la pérdida generada en el filtro de mangas es la de mayor valor que las demás es por eso que se debe realizar los análisis requeridos sin pasar por alto parámetros como los descritos anteriormente.

### **Perdidas en el ciclón**

La caída de presión de los ciclones es difícil de evaluar, principalmente por la naturaleza empírica del diseño, y por la variedad de alternativas que existen. Para ciclones comunes la caída de presión está en un rango entre 0.5 a 2 pulg de columna de H<sub>2</sub>O y para ciclones de alta eficiencia, el rango está entre 2 y 6 pulg de columna de H<sub>2</sub>O. Las relaciones que se encuentran en la literatura para calcular la caída de presión, son aplicables solamente al diseño del ciclón propuesto por el autor, para el separador antes expuesto la caída de presión es:

$$\Delta P_c = \frac{39.7 K Q^2 P^2}{T^2}$$

En donde:

$Q$  Es el flujo de aire en CFM

$P$  La presión del aire en atmósferas, 1atm

$T$  Temperatura en °R, la cual será de 25°C, temperatura ambiente

$K$  Factor empírico de diseño y depende del diámetro del ciclón

$D_c$

$$K = 21.334D_c^{-3.6308}$$

$$K = 21.334 \left( 0.254m \times \frac{3.28 pie}{1m} \times \frac{12 pu lg}{1 pie} \right)^{-3.6308}$$

$$K = 4.98 \times 10^{-3}$$

$$^{\circ}R = 496 + \frac{9}{5}C$$

$$Q = 0.81 \frac{m^3}{seg} = 1719CFM$$

$$^{\circ}R = 496 + \frac{9}{5}(25)$$

$$^{\circ}R = 541$$

Así se tiene que la caída de presión originada en el ciclón es:

$$\Delta P_c = \frac{39.7(4.98 \times 10^{-3})(1719)^2 (1)^2}{(541)^2}$$

$$\Delta P_c = 2 pu lg .col.H_2O$$

$$\Delta P_c = 50.74mm.col.H_2O$$

Luego de haber realizado todos los cálculos pertinentes se presentan un resumen de los mismos:

<b>Ducto</b>	$h_d = 9.3mm.col.H_2O$
<b>Campana</b>	$H_o = 3.15mm.col.H_2O$
<b>Codos 90°</b>	$h_{11-codos,90°} = 95.22mm.col.H_2O$
<b>Reducciones</b>	$h_{2r} = 3.14mm.col.H_2O$
<b>Filtro de mangas</b>	$\Delta P_f = 63.49mm.col.H_2O$
<b>Ciclón</b>	$\Delta P_c = 50.74mm.col.H_2O$

Finalmente la caída de presión total para el ventilador será:

$$SP_{vent} = SP_{ducto} + \Delta P_f + \Delta P_c$$

Donde:

$$SP_{ducto} = VP + h_t$$

$$h_t = h_d + H_o + h_{11-codos,90°} + h_{2r}$$

Remplazando valores se tiene que:

$$h_t = 9.3 + 3.15 + 95.22 + 3.14$$

$$h_t = 110.85mm.col.H_2O$$

$$SP_{ducto} = 15.74 + 110.85$$

$$SP_{ducto} = 126.59mm.col.H_2O$$

El valor de caída de presión total para el ventilador es:

$$SP_{vent} = 126.59 + 63.49 + 50.74$$

$$SP_{vent} = -240.82mm.col.H_2O$$

El valor negativo es debido a que representa la presión negativa que deberá originar el ventilador centrífugo, el mismo que se encuentra en el rango de los ventiladores de media presión que van desde 100-300mm col H<sub>2</sub>O. Queda a disposición de la empresa la selección del ventilador con los parámetros descrito tanto de presión total como de caudal a transportar.

Una vez realizado el cálculo de todos los componentes se propone el diseño de la estructura soporte, la cual es analizada estructuralmente con ayuda del programa SAP2000 para verificar que se encuentre en condiciones aptas al momento de trabajar (Ver Apéndice B).

## **CAPITULO 4**

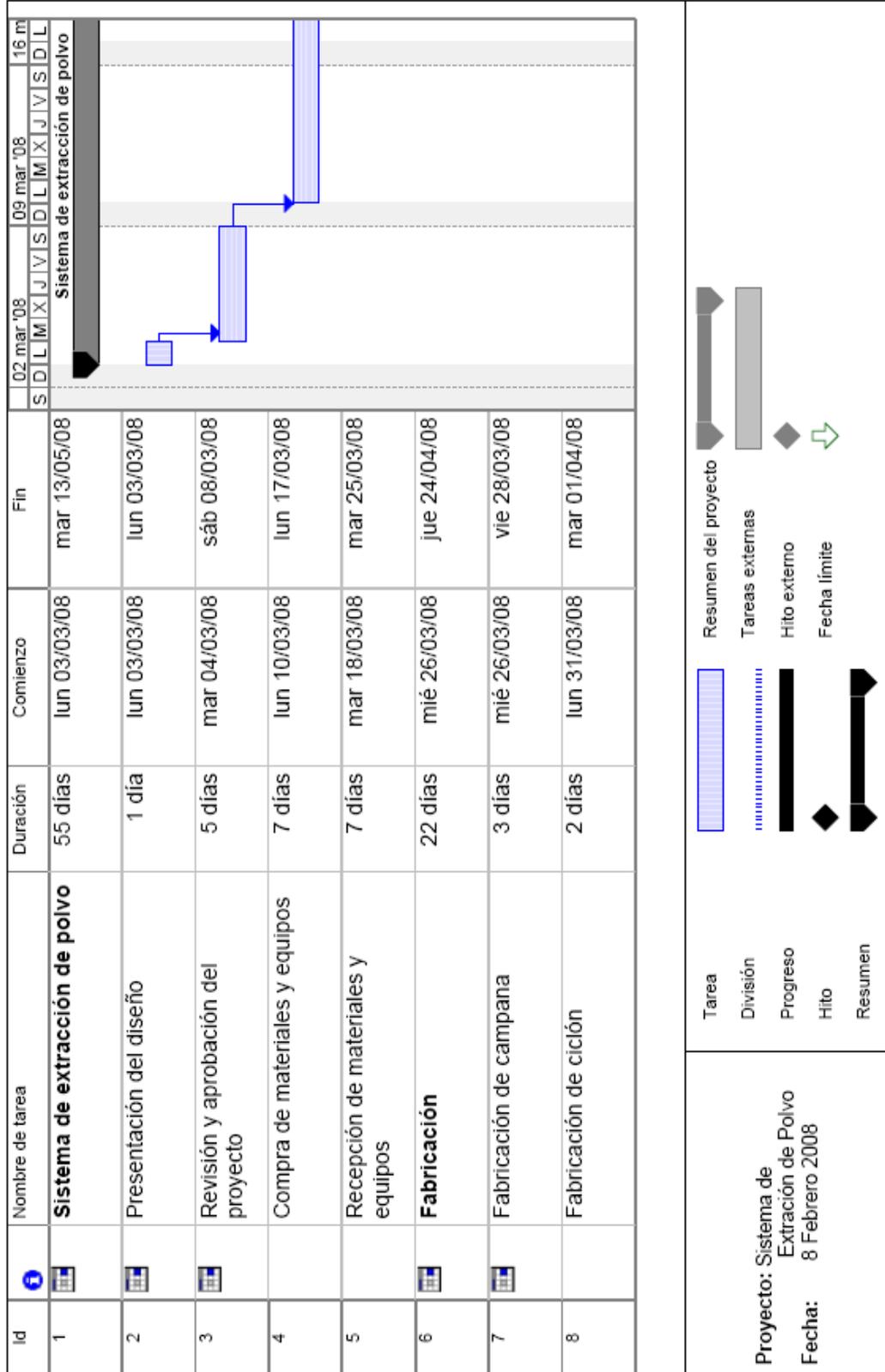
### **4. FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACION DEL DISEÑO.**

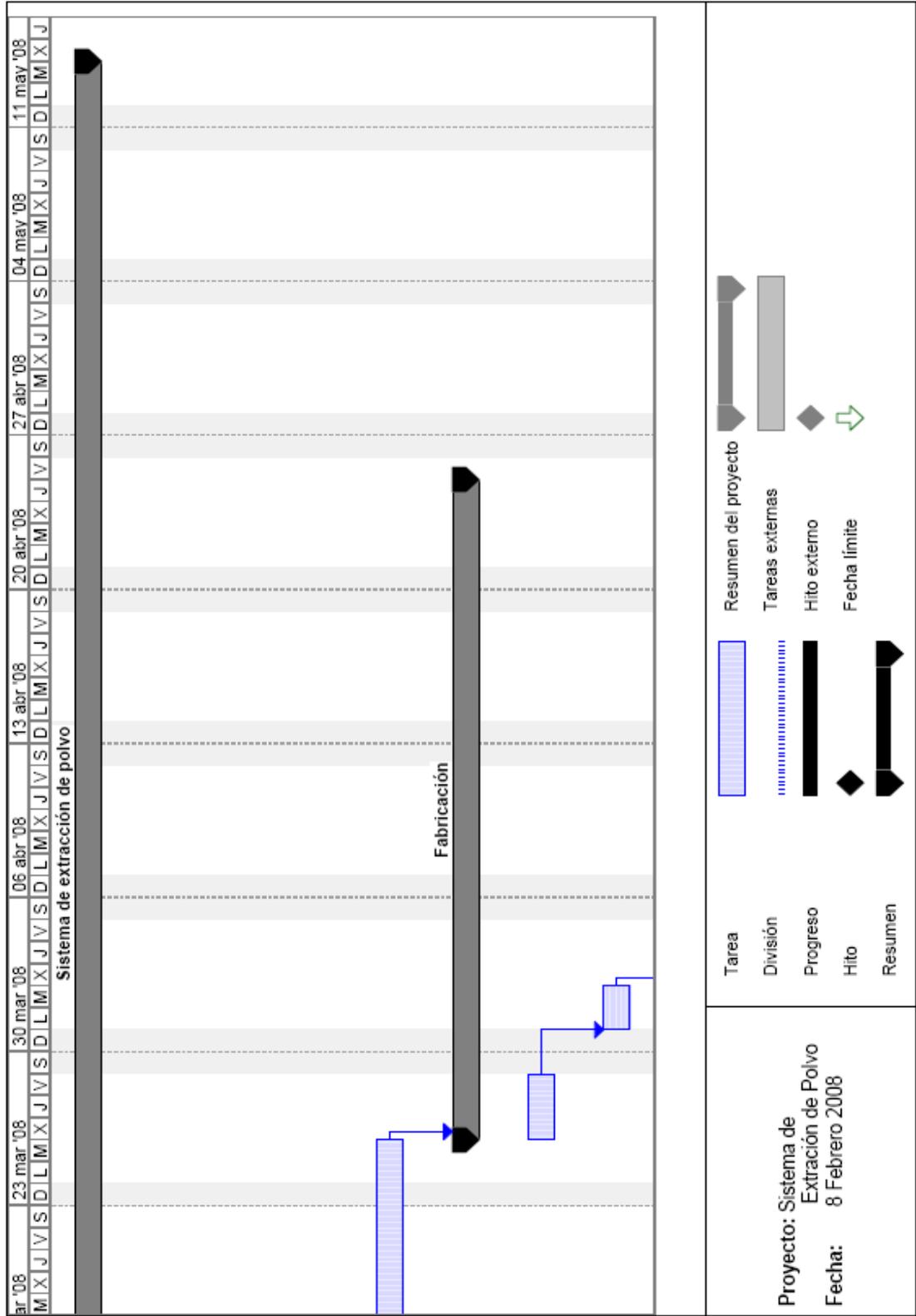
En este capitulo se detalla el cronograma de trabajo para la fabricación del sistema de extracción de polvo que servirá de guía para el desarrollo del mismo y a su vez se presenta el análisis de costo que será una referencia para la decisión de fabricación del sistema, incluyendo también el costo de la estructura soporte propuesta.

#### **4.1 Cronograma de construcción del sistema**

A continuación se presenta el cronograma para la implementación e instalación del sistema de extracción de polvo, detallando el tiempo referencial para la ejecución de la obra así como también la fecha de inicio y fin de cada tarea.

## Cronograma de construcción del sistema

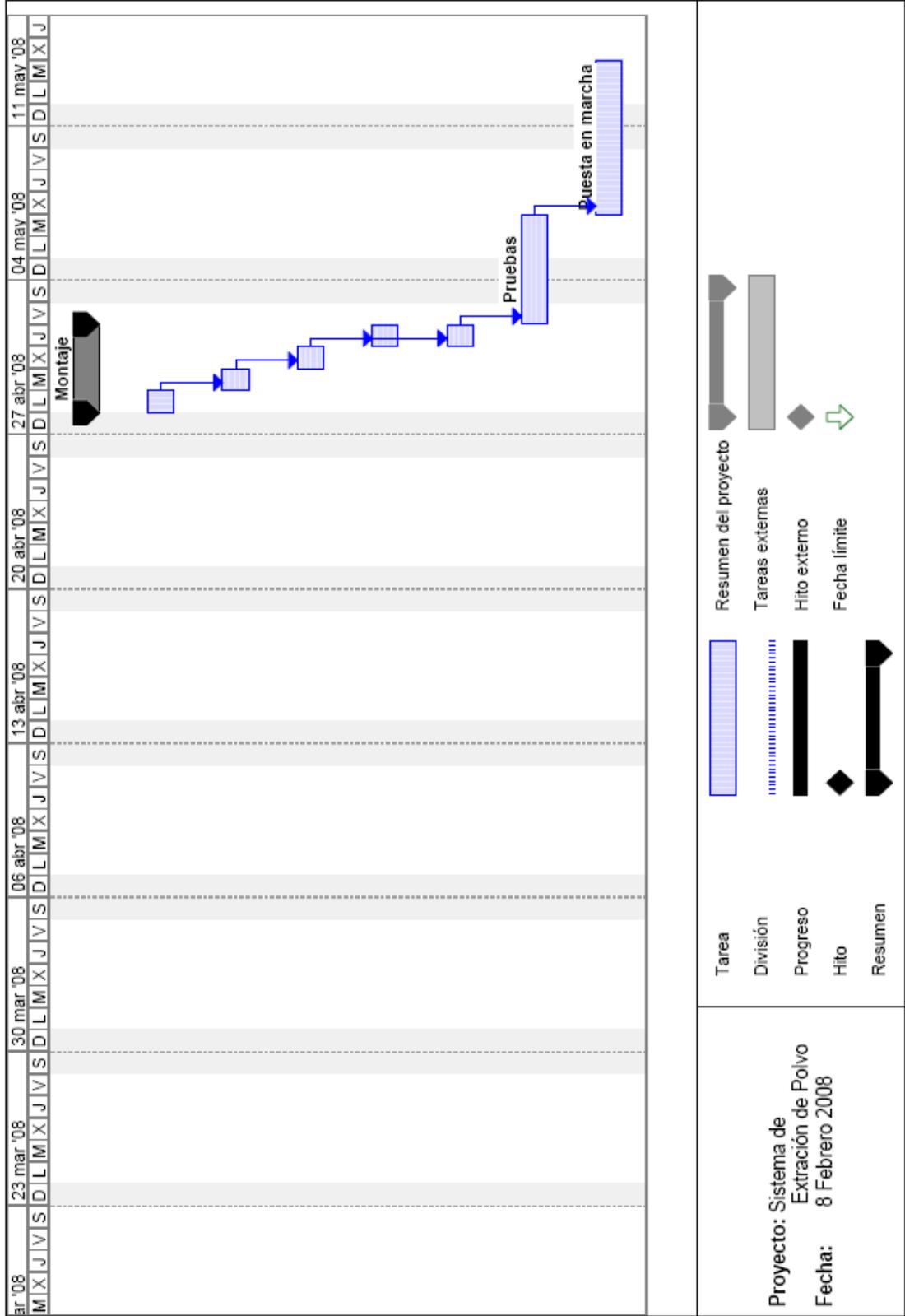












#### 4.2 Análisis de costo para la implementación del diseño

Este análisis incluye los componentes del sistema de extracción anteriormente diseñados incluyendo la estructura soporte analizada.

<b>CAMPANA EXTRACTORA</b>					
DESCRIPCION	Cantidad	Peso unit. [Kg]	Peso Total [Kg]	Costo/Kg	Costo Total [\$]
Plancha 1220x2440x3mm	1	70,10	70,10	1,10	77,11
L 50x50x3mm	1	14,13	14,13	1,10	15,54
Construcción			84,23	1,50	126,35
Montaje			84,23	0,80	67,39
<b>TOTAL A</b>					<b>286,39</b>

<b>CICLÓN</b>					
DESCRIPCION	Cantidad	Peso unit. [Kg]	Peso Total [Kg]	Costo/Kg	Costo Total [\$]
Plancha 1220x2440x3mm	1	35,05	35,05	1,10	38,56
Construcción			35,05	1,50	52,58
Montaje			35,05	0,80	28,04
<b>TOTAL B</b>					<b>119,17</b>

<b>FILTRO DE MANGAS</b>					
DESCRIPCION	Cantidad	Peso unit. [Kg]	Peso Total [Kg]	Costo/Kg	Costo Total [\$]
Plancha 1220x6000x5mm	4	287,31	1149,24	1,10	1264,16
L 50x50x4mm	1	28,26	28,26	1,10	31,09
Platina 30x3mm	6	4,24	25,43	1,10	27,98
Tubo $\Phi=254\text{mm} \times 3\text{mm}$	1	55,71	55,71	1,10	61,28
Construcción			1258,64	1,50	1887,97
Montaje			1258,64	0,80	1006,92
<b>TOTAL C</b>					<b>4279,39</b>

<b>SOPORTE METÁLICO DE CAMPANA EXTRACTORA</b>					
DESCRIPCION	Cantidad	Peso unit. [Kg]	Peso Total [Kg]	Costo/Kg	Costo Total [\$]
Placa 200x150x20mm	9	4,71	42,39	1,10	46,63
Tubo Cuadrado 100x100x4mm	1	69,78	69,78	1,10	76,76
Placa 200x100x12mm	4	1,88	7,54	1,10	8,29
Construcción			119,71	1,50	179,56
Montaje			119,71	0,80	95,76
<b>TOTAL D</b>					<b>407,00</b>

<b>ESTRUCTURA DE SOPORTE</b>					
DESCRIPCION	Cantidad	Peso unit. [Kg]	Peso Total [Kg]	Costo/Kg	Costo Total [\$]
Tubo Cuadrado 100x100x3mm	15	52,74	791,10	1,10	870,21
Tubo $\Phi=50,8$ mmx3mm	6	21,24	127,44	1,10	140,18
Placa 200x200x12mm	5	3,77	18,84	1,10	20,72
Plancha 1220x2440x5mm	3	116,84	350,52	1,10	385,57
Construcción			1287,90	1,50	1931,85
Montaje			1287,90	0,80	1030,32
<b>TOTAL E</b>					<b>4378,85</b>

<b>COSTO TOTAL (A+B+C+D+E) \$</b>	<b>9470,81</b>
-----------------------------------	----------------

# CAPITULO 5

## 5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### Conclusiones:

- Con este sistema diseñado se logra dar solución al problema de contaminación del aire ambiente en el lugar donde se realiza el trabajo de arenado y áreas cercanas.
- El sistema de extracción de polvo es accesible para construcción local ya que la mayoría de los materiales se encuentran en el país, logrando así la disminución de importación y generando nuevas plazas de trabajo.

- La cantidad de dinero a invertir en este sistema móvil de extracción es menor al que se necesita para un cuarto de arenado, teniendo así un producto de bajo costo.
- Al ser móvil el sistema tiene la opción de poder ser transportado al sitio de trabajo, reduciendo costos por transporte de estructuras metálicas a lugares donde se realiza el arenado.
- Se decidió que exista un ciclón antes del filtro de mangas para que retenga las partículas de mayor tamaño (mayor a PM10) en el mismo, originando una recuperación de cierta cantidad de sílice que podría ser reutilizada.

**Recomendaciones:**

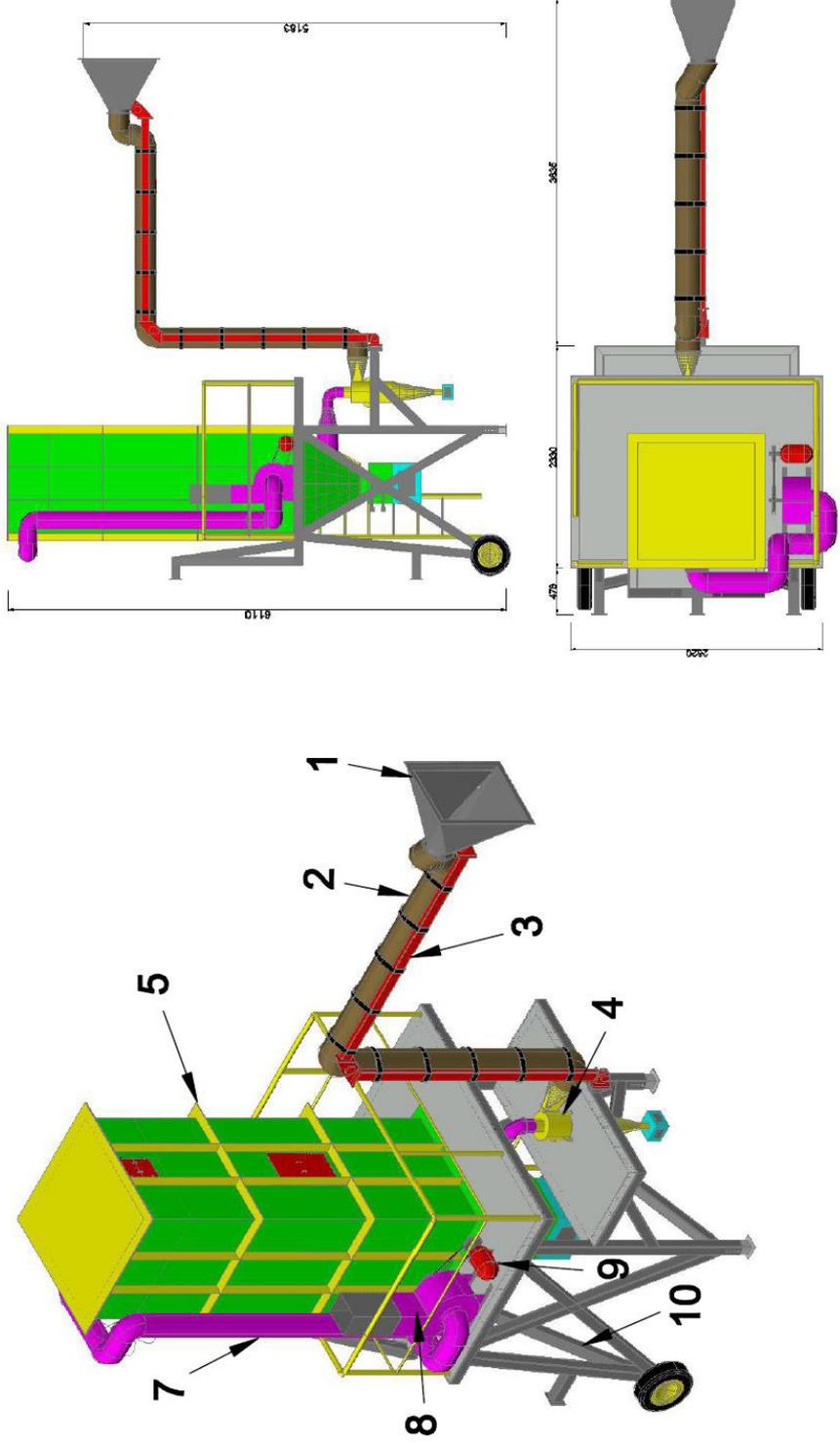
- Aplicar métodos donde se haga conciencia sobre el gran problema de contaminación en la industria y que afecta en gran parte a zonas cercanas.
- Estar al tanto de las sanciones por parte de los controladores del medio ambiente y artículos referentes al incumplimiento de reglas determinadas para reducir las emisiones de polvo al ambiente.
- Las grandes empresas dedicadas a trabajos metalmecánicos y que usen este proceso de preparación superficial deben tener por lo menos

un sistema parecido al diseñado para que así exista control de las emisiones.

- Se recomienda que para la selección apropiada del ventilador se lo haga tomando un margen de seguridad del 15%.
- Es de vital importancia realizar un estudio detallado en lo que compete al comportamiento de las partículas al ingresar en la campana por medio de un modelaje computarizado y de toma de muestras con el fin de estudiar mas a fondo el comportamiento de los contaminantes.
- Para los trabajadores dedicados a la preparación de superficies es importante que se encuentren protegidos a la exposición de este polvo generado ya que puede originarles problemas de salud.
- Realizar anualmente inspecciones sobre la cantidad de partículas presentes en el ambiente para así determinar eficiencia de los equipos de filtrado.
- Realizar un correcto aislamiento de la vibración producida por el ventilador en la estructura que pueda afectar a los demás equipos.

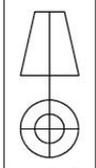
## **APENDICES**

## **APENDICE A: Planos**



**Componentes del Sistema de Extracción**

1	Campesna Extractora	6	Tolva de Filtro de Marges
2	Ducto Espiro PU	7	Ducto de Ventilación
3	Sopete de Campesna Extractora	8	Ventilador
4	Cilón	9	Motor
5	Filtro de Marges	10	Estructura de Soporte

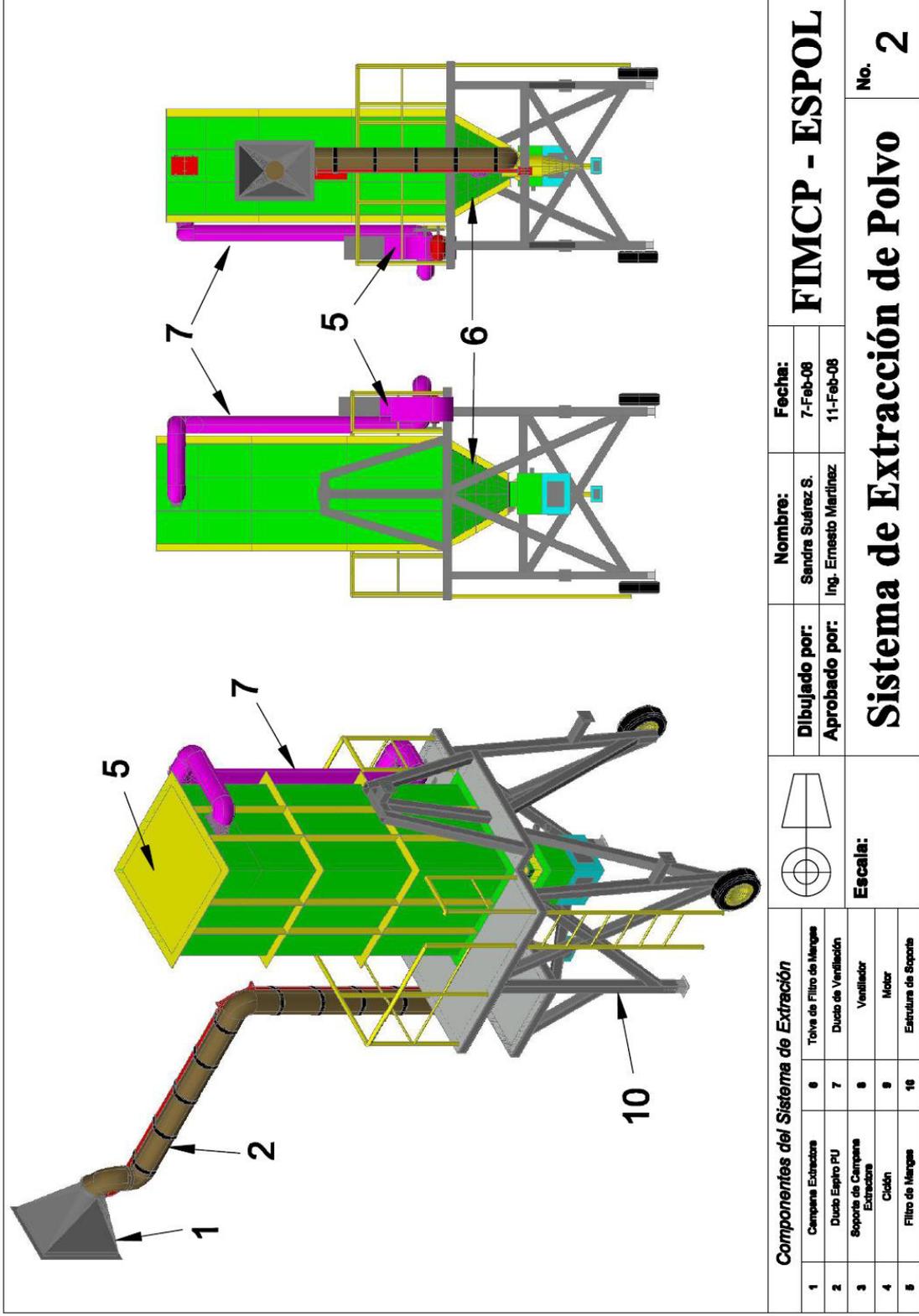


**Escala:**

<b>Dibujado por:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Fecha:</b>
Aprobado por:	Sandra Suárez S.	7-Feb-08
	Ing. Ernesto Martínez	11-Feb-08

**FIMCP - ESPOL**

**Sistema de Extracción de Polvo** No. **1**

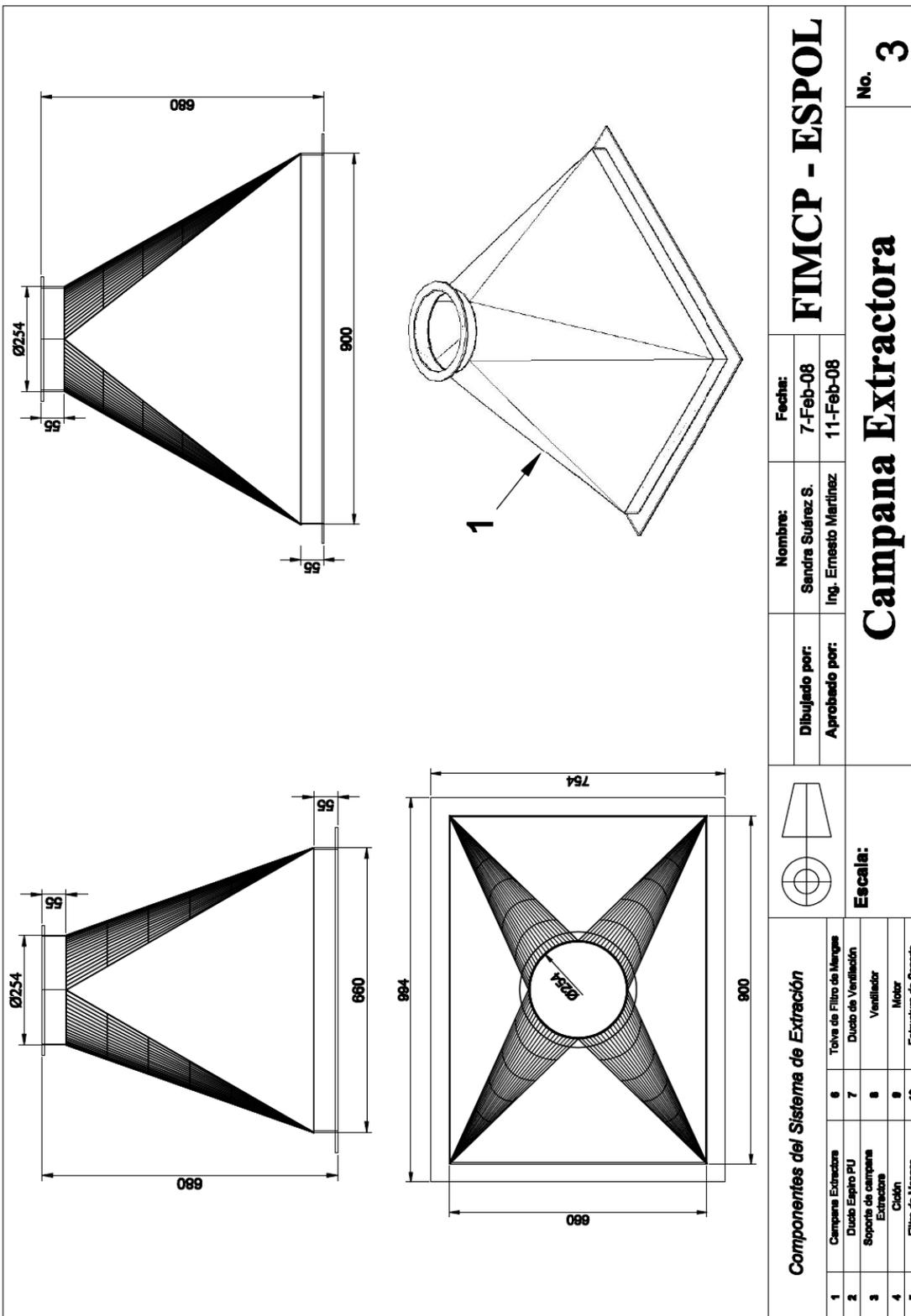


Componentes del Sistema de Extracción	
1	Cámpara Extractora
2	Ducto Espiral PU
3	Soporte de Cámpara Extractora
4	Ciclón
5	Filtro de Mallas
6	Tubo de Filtro de Mallas
7	Ducto de Ventilación
8	Ventilador
9	Motor
10	Estructura de Soporte

	<b>Escala:</b>
--	----------------

<b>Dibujado por:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Fecha:</b>
Ing. Ernesto Martínez	Sandra Suárez S.	7-Feb-08
<b>Aprobado por:</b>		11-Feb-08

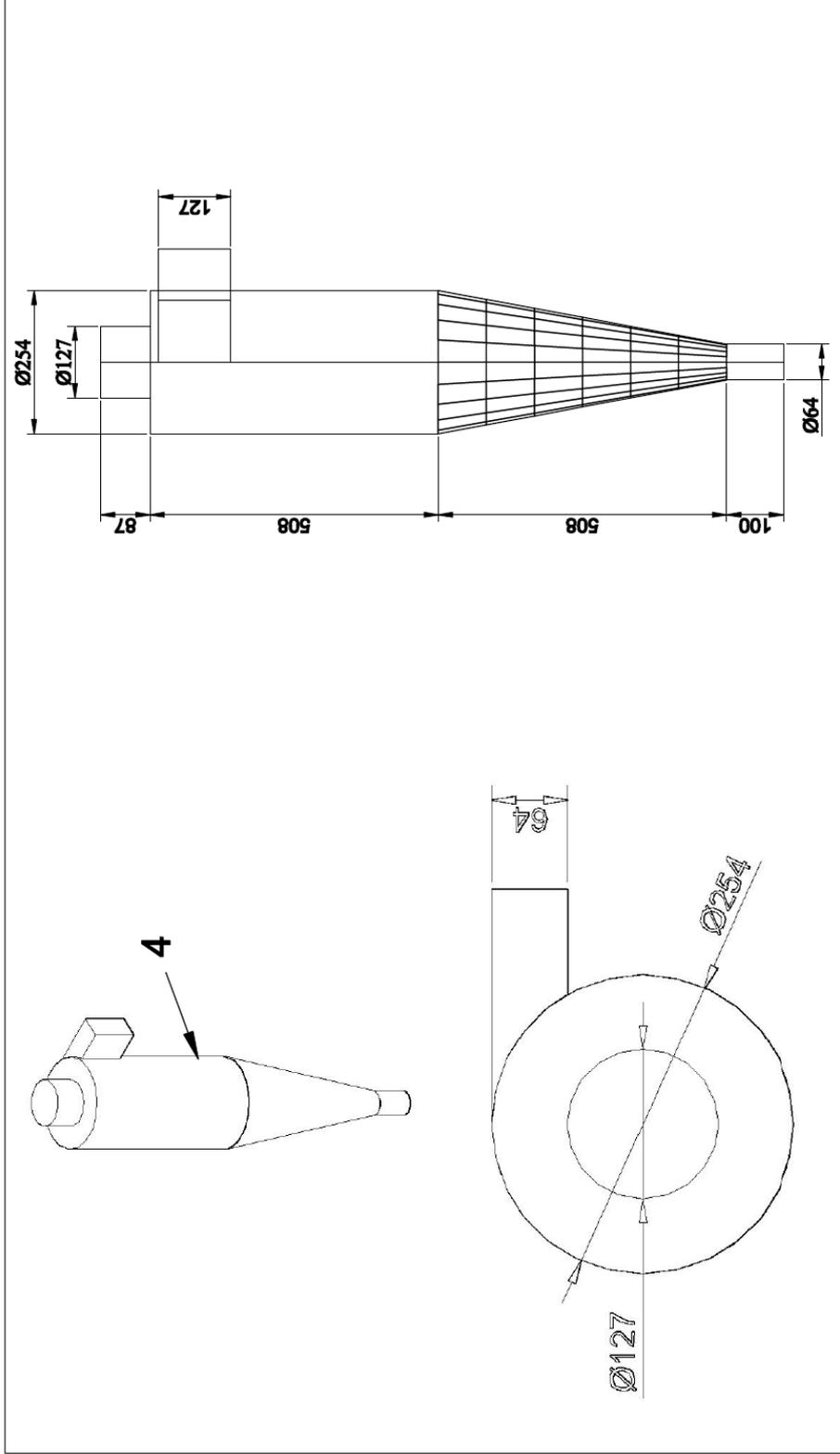
<b>FIMCP - ESPOL</b>	
<b>Sistema de Extracción de Polvo</b>	
<b>No.</b>	<b>2</b>



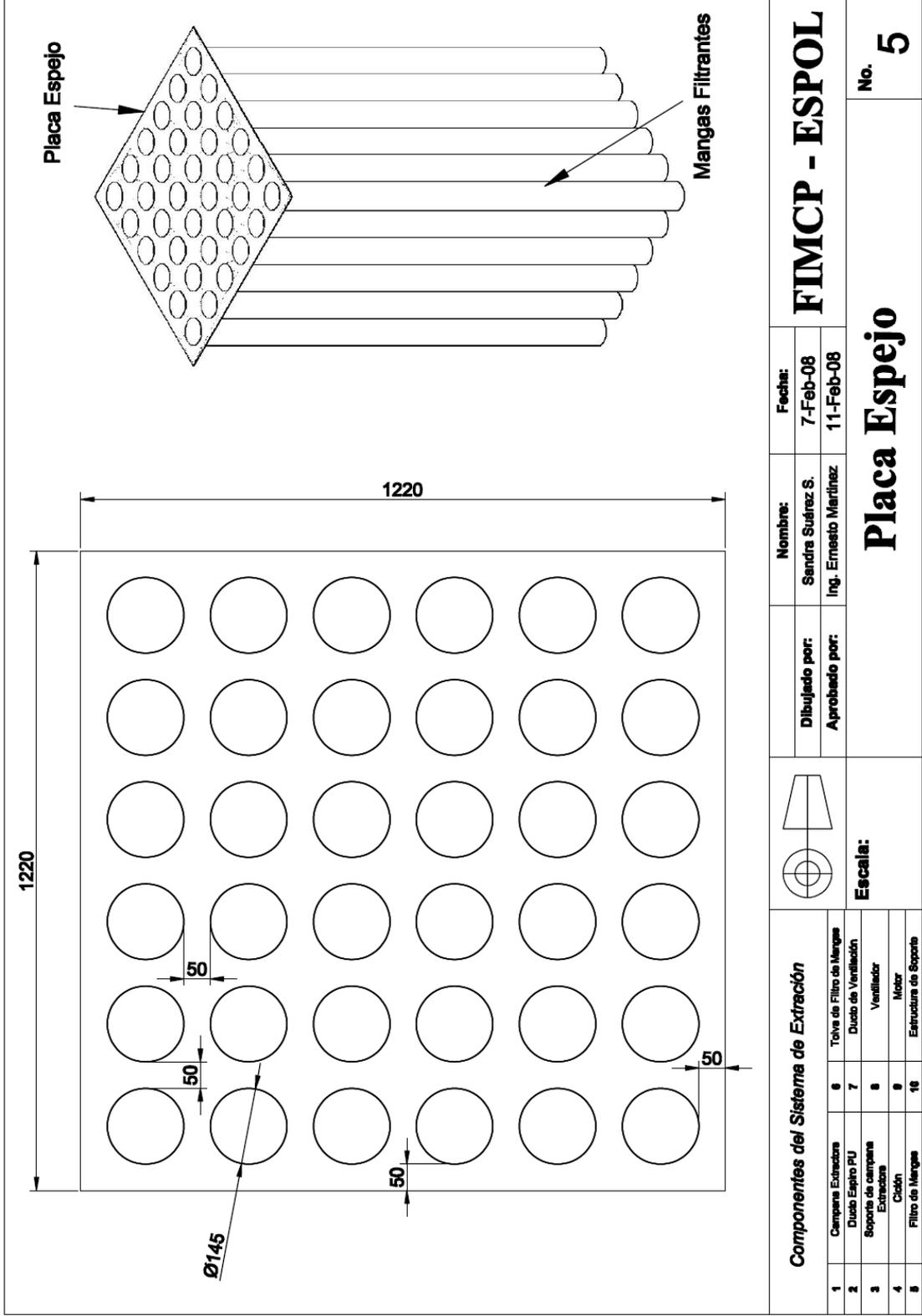
Componentes del Sistema de Extracción		Escala:	Dibujado por:	Aprobado por:	Nombre:	Fecha:					
1	Campana Extractora						6	Tolva de Filtro de Mangas	7	Ducto de Ventilación	8
2	Ducto Espiro PU	7									
3	Soporte de campana Extractora	8									
4	Ciclón	9									
5	Filtro de Mangas	10									

<b>FIMCP - ESPOL</b> <b>Campana Extractora</b>		<b>No. 3</b>
Nombre: Sandra Suárez S. Ing. Ernesto Martínez	Fecha: 7-Feb-08 11-Feb-08	



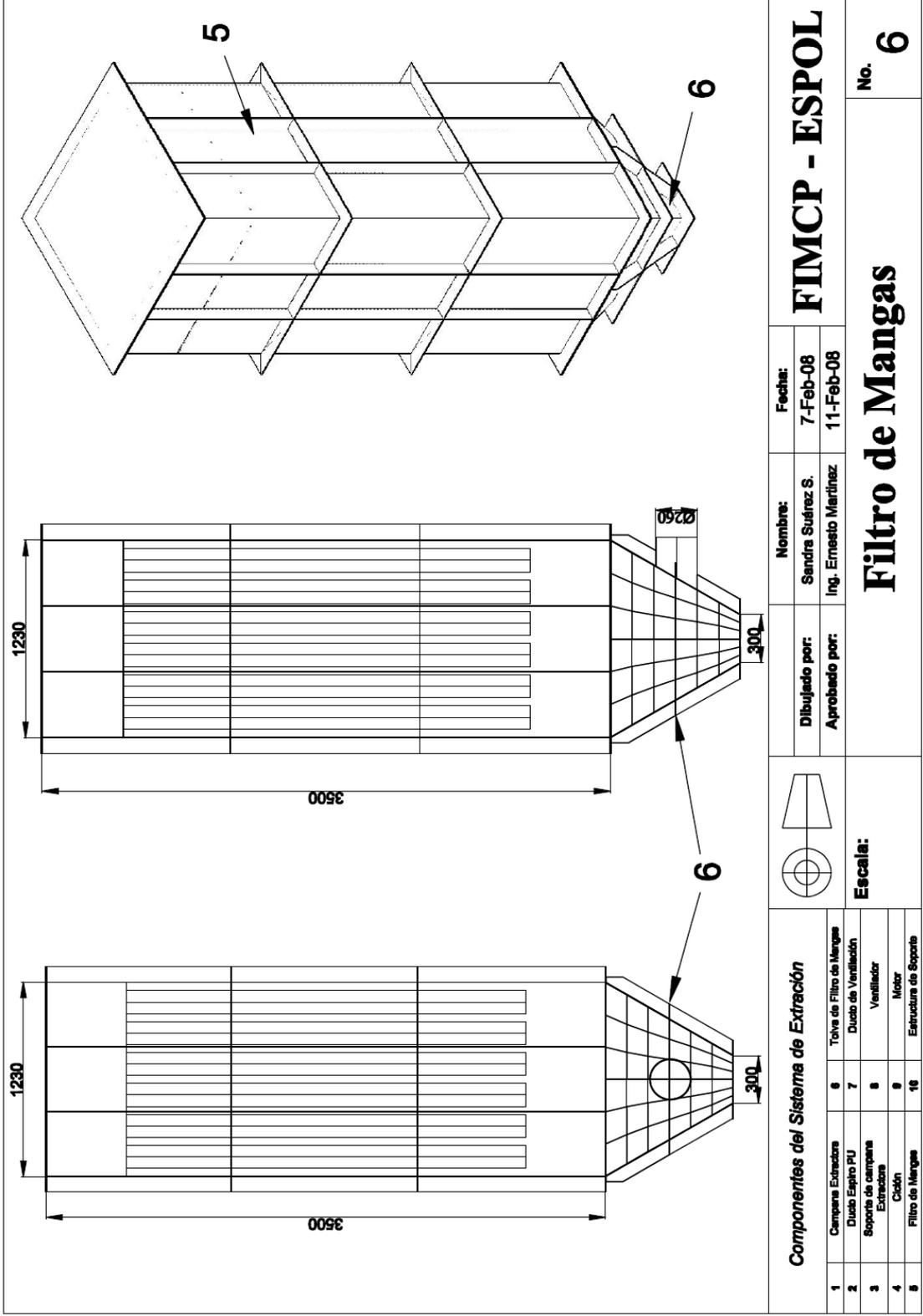
Componentes del Sistema de Extracción					Escala:	Dibujado por: Aprobado por:	Nombre: Sandra Suárez S. Ing. Ernesto Martínez	Fecha: 7-Feb-08 11-Feb-08	FIMCP - ESPOL	No. 4
1	Campara Extractora	6	Tolva de Filtro de Mergas							
2	Ducto Espiro PU	7	Ducto de Ventilación							
3	Soporte de campana Extractora	8	Ventilador							
4	Ciclón	9	Motor							
5	Filtro de Mergas	10	Estructura de Soporte							

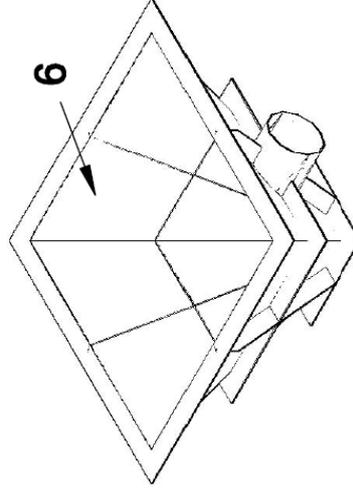
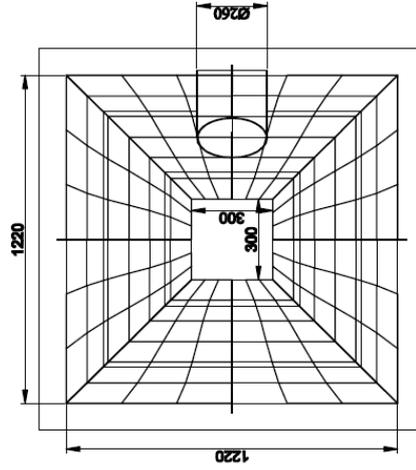
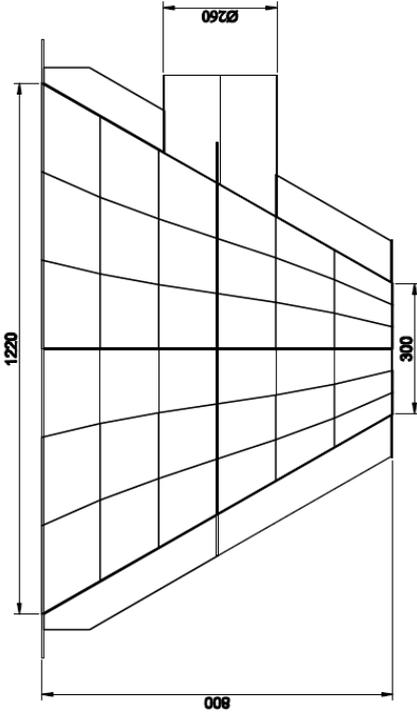
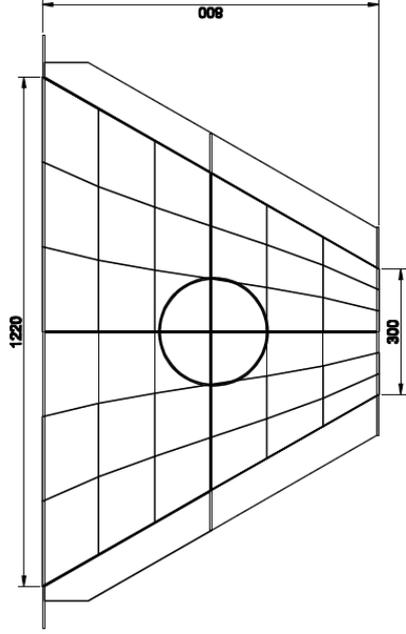


Componentes del Sistema de Extracción		Nombre:	Fecha:
1	Campesina Extracción		
2	Ducto Espejo PU	Ing. Ernesto Martínez	11-Feb-08
3	Soporte de campesina Extracción		
4	Ciclón		
5	Filtro de Mangas		
6	Tolva de Filtro de Mangas		
7	Ducto de Ventilación		
8	Ventilador		
9	Motor		
10	Estructura de Soporte		

<b>Placa Espejo</b>		<b>FIMCP - ESPOL</b>
Escala:		No. <b>5</b>





**Componentes del Sistema de Extracción**

1	Campesina Extracción	6	Tolva de Filtro de Mangas
2	Ducto Espiral PU	7	Ducto de Ventilación
3	Soporte de campesina Extracción	8	Ventilador
4	Ciclón	9	Motor
5	Filtro de Mangas	10	Estructura de Soporte



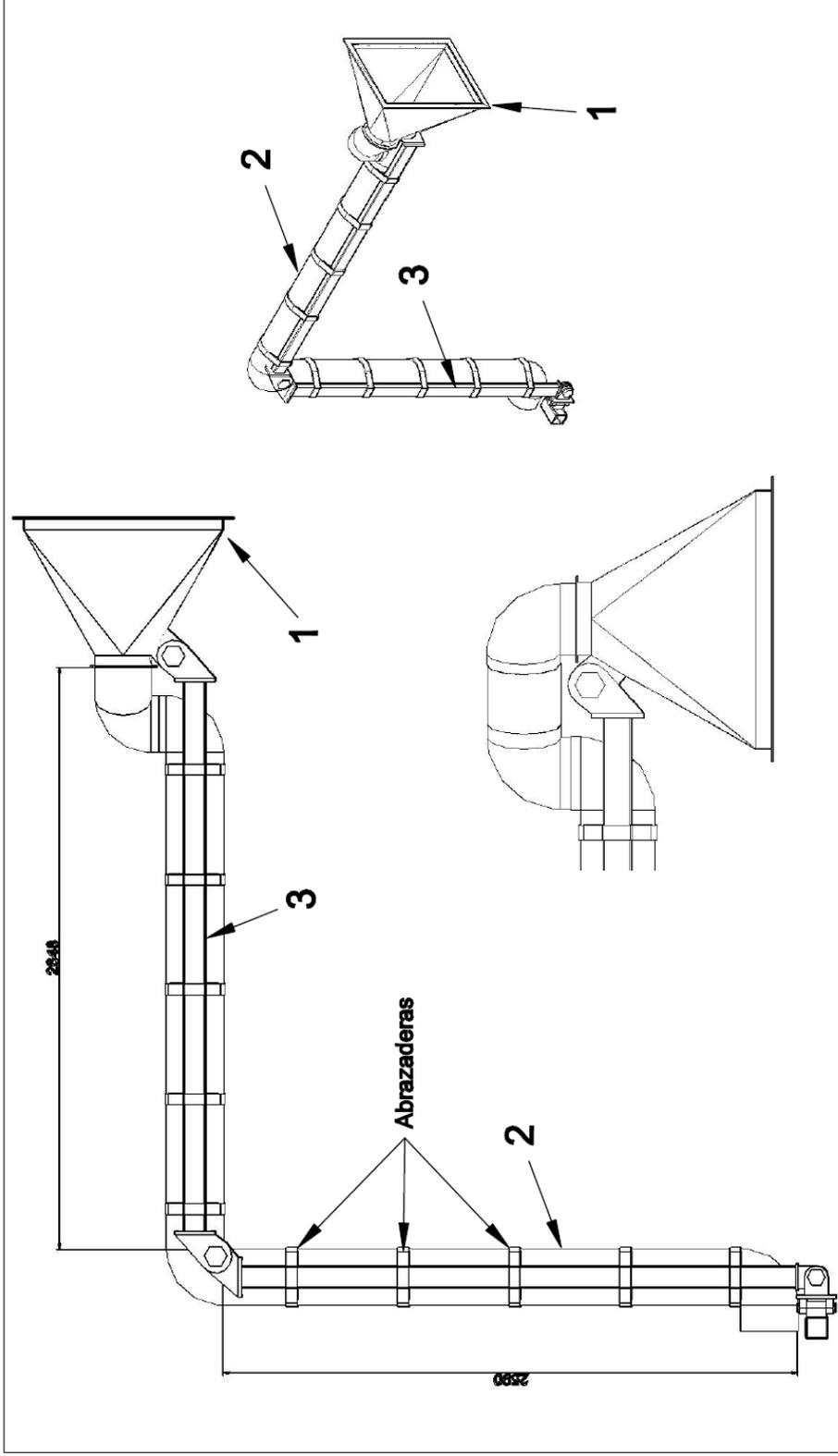
**Escala:**

<b>Dibujado por:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Fecha:</b>
Ing. Ernesto Martínez	Sandra Suárez S.	7-Feb-08
<b>Aprobado por:</b>		<b>11-Feb-08</b>

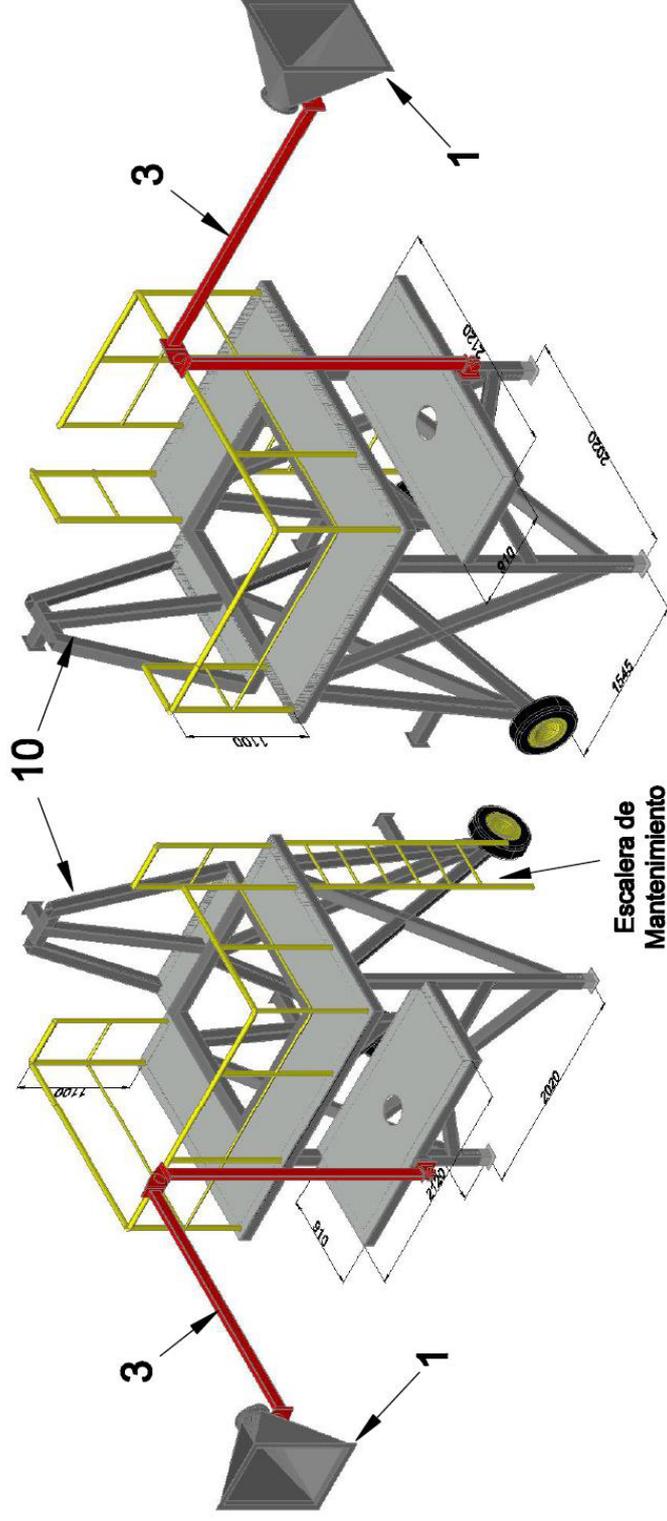
**FIMCP - ESPOL**

**Tolva de Filtro de Mangas**

**No. 7**

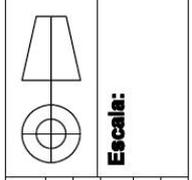


Componentes del Sistema de Extracción		Nombre:		Fecha:					
1	Campana Extractora	Sandra Suárez S.	7-Feb-08						
2	Ducto Espiro PU	Ing. Ernesto Martínez	11-Feb-08						
3	Soporte de campana Extractora	<b>FIMCP - ESPOL</b>							
4	Ciclón					<b>Soporte de Campana Extractora</b>			
5	Filtro de Mergas								
6	Tolva de Filtro de Mergas								
7	Ducto de Ventilación								
8	Ventilador								
9	Motor								
10	Estructura de Soporte								
		Escala:							



**Componentes del Sistema de Extracción**

1	Campaña Extractora	6	Toba de Filtro de Mergas
2	Ducto Espigo PU	7	Ducto de Ventilación
3	Soporte de Campaña Extractora	8	Ventilador
4	Ciclón	9	Motor
5	Filtro de Mergas	10	Estructura de Soporte

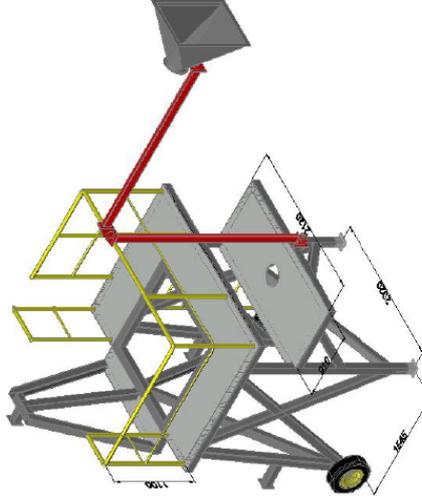
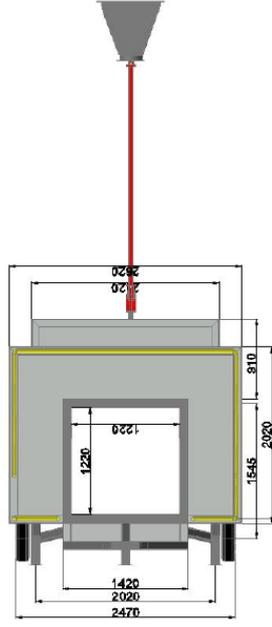
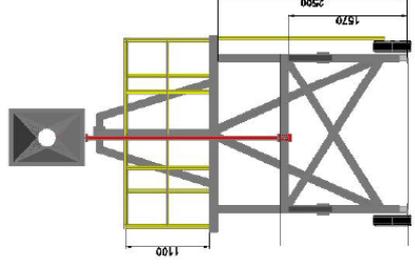
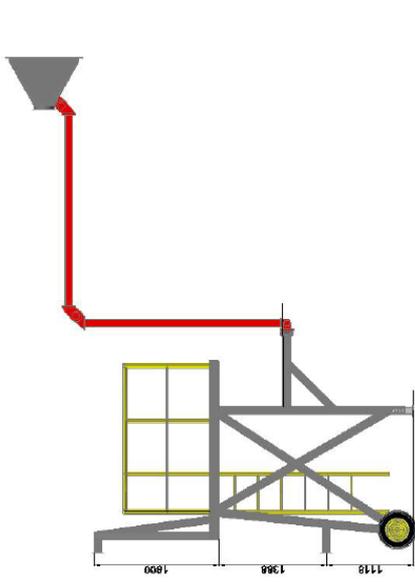


<b>Dibujado por:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Fecha:</b>
Ing. Ernesto Martínez	Sandra Suárez S.	7-Feb-08
<b>Aprobado por:</b>		<b>11-Feb-08</b>

**FIMCP - ESPOL**

**Estructura de soporte**

**No. 9**



**Componentes del Sistema de Extracción**

1	Campesna Extractora	6	Tolva de Filtro de Mergas
2	Ducto Espirto PU	7	Ducto de Ventilación
3	Soporte de Campesna Extractora	8	Ventilador
4	Ciclón	9	Motor
5	Filtro de Mergas	10	Estructura de Soporte



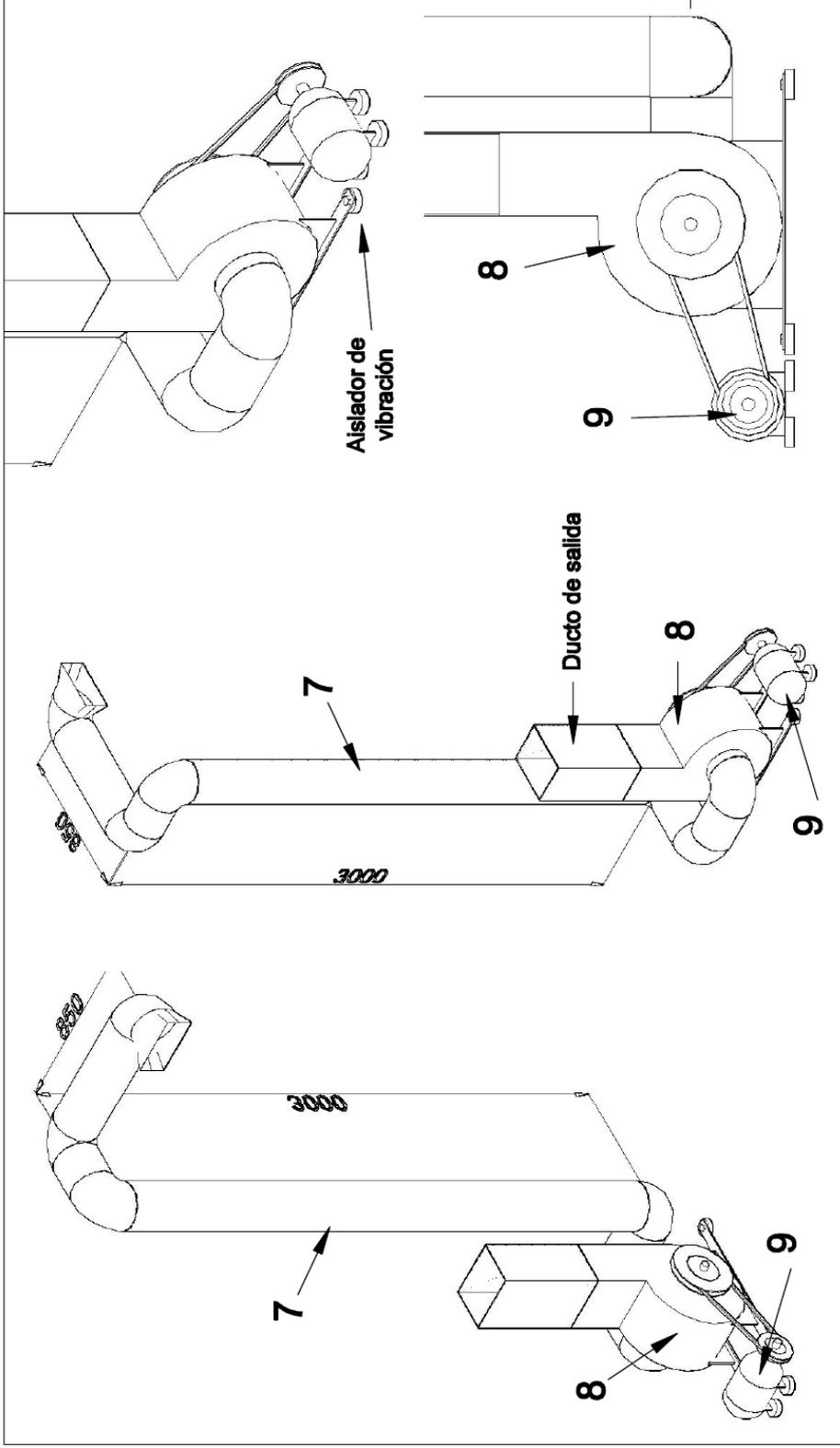
**Escala:**

<b>Dibujado por:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Fecha:</b>
Aprobado por:	Sandra Suárez S.	7-Feb-08
	Ing. Ernesto Martínez	11-Feb-08

**FIMCP - ESPOL**

**Estructura de soporte**

**No. 10**



Componentes del Sistema de Extracción		Escala:	
1	Campesna Extractora	6	Toba de Filtro de Mergas
2	Ducto Espigo PU	7	Ducto de Ventilación
3	Soporte de Campesna Extractora	8	Ventilador
4	Ciclón	9	Motor
5	Filtro de Mergas	10	Estructura de Soporte

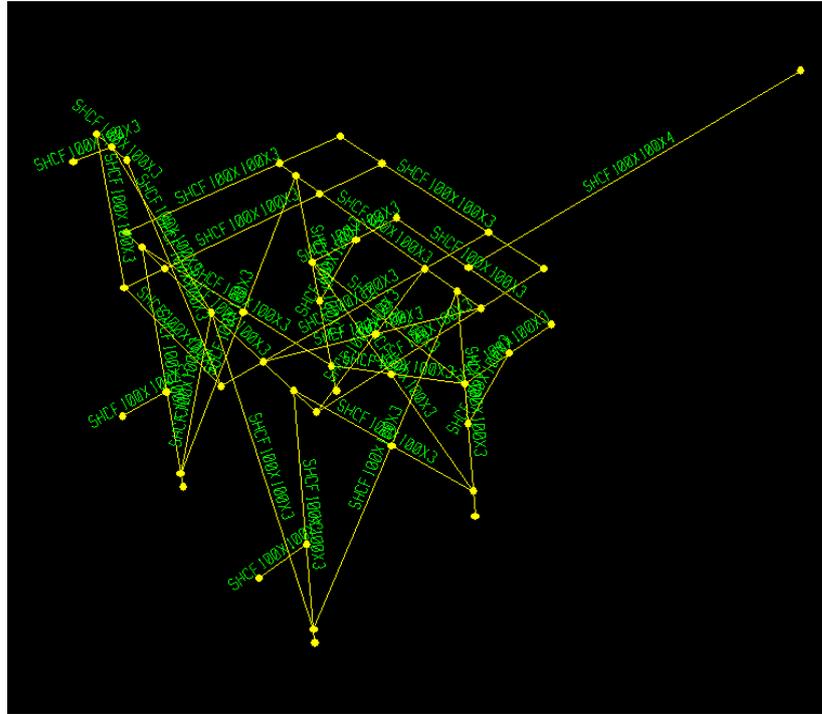
  

Dibujado por:	Nombre:	Fecha:
Aprobado por:	Sandra Suárez S.	7-Feb-08
	Ing. Ernesto Martínez	11-Feb-08

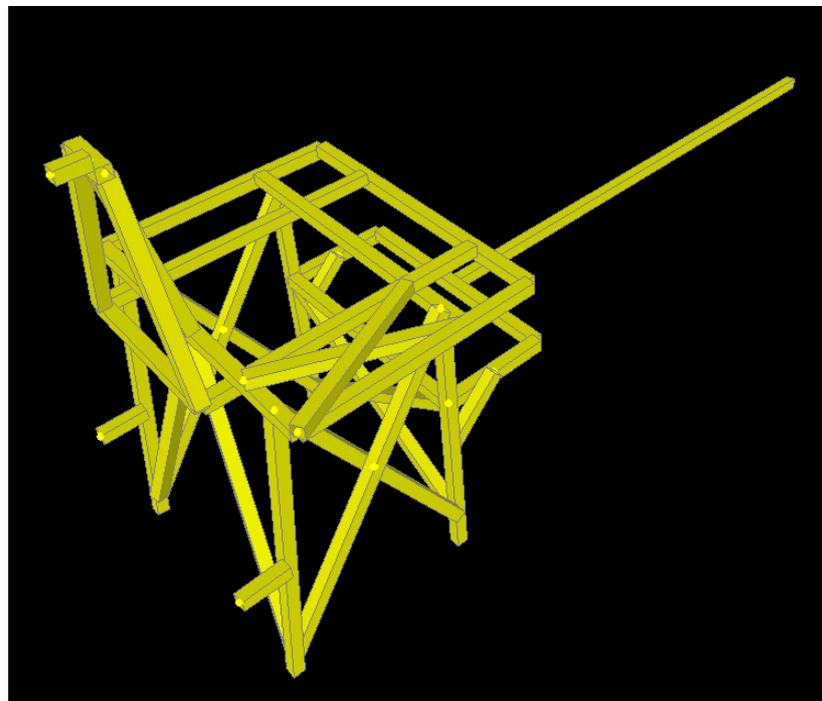
  

<b>FIMCP - ESPOL</b>	
<b>Ventilador</b>	
No.	<b>11</b>

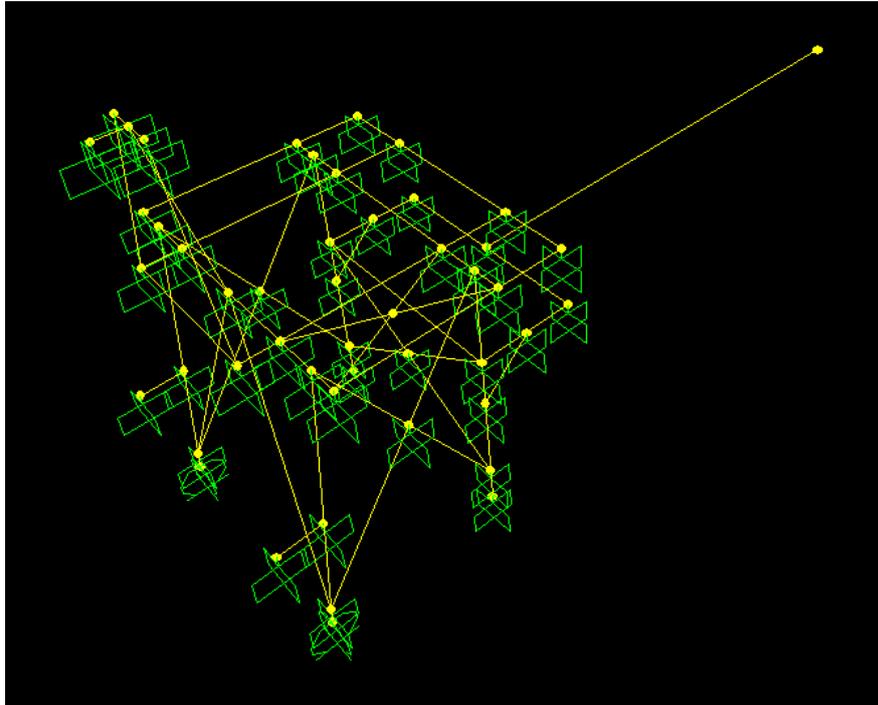
## **APENDICE B: Análisis Estructural de Soporte del Sistema**



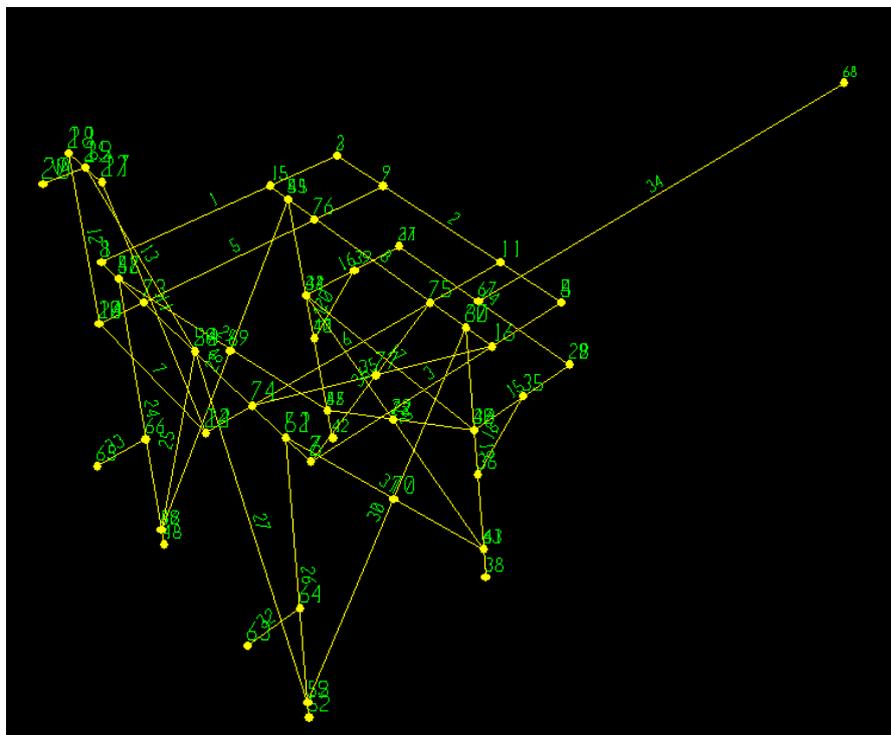
**Descripción de perfiles**



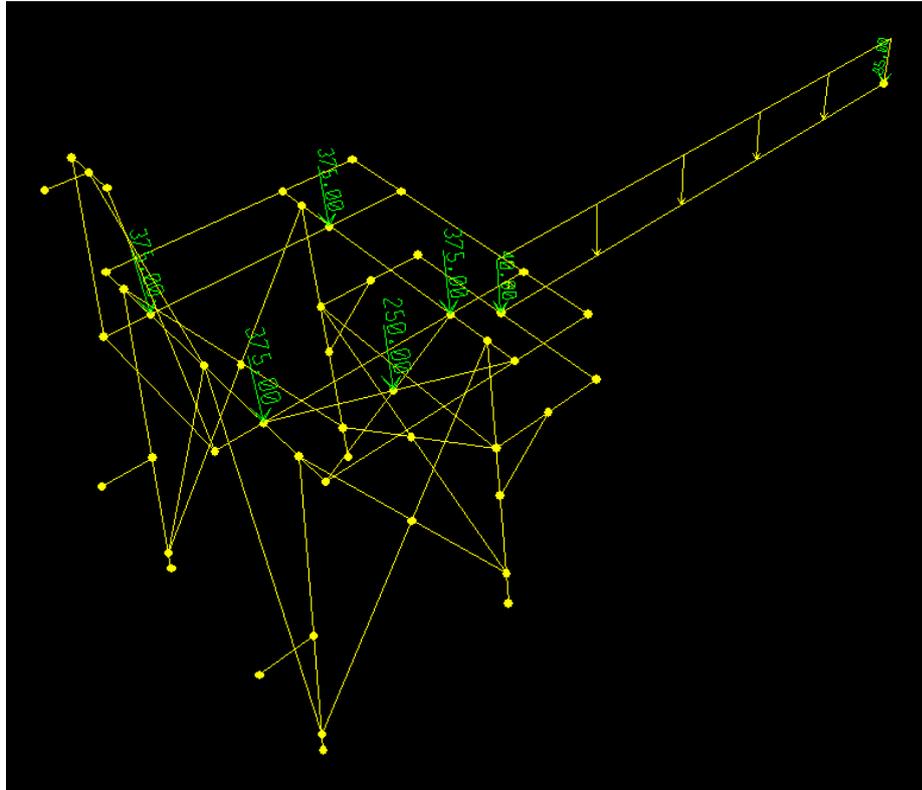
**Vista en 3D de la estructura soporte**



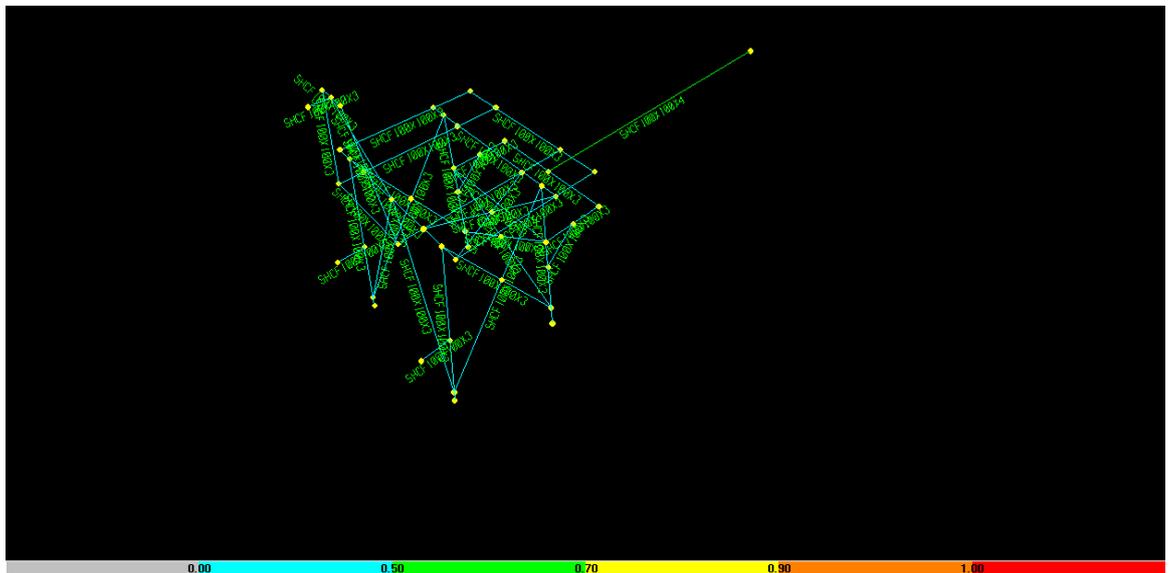
**Designación de las restricciones en nodos**



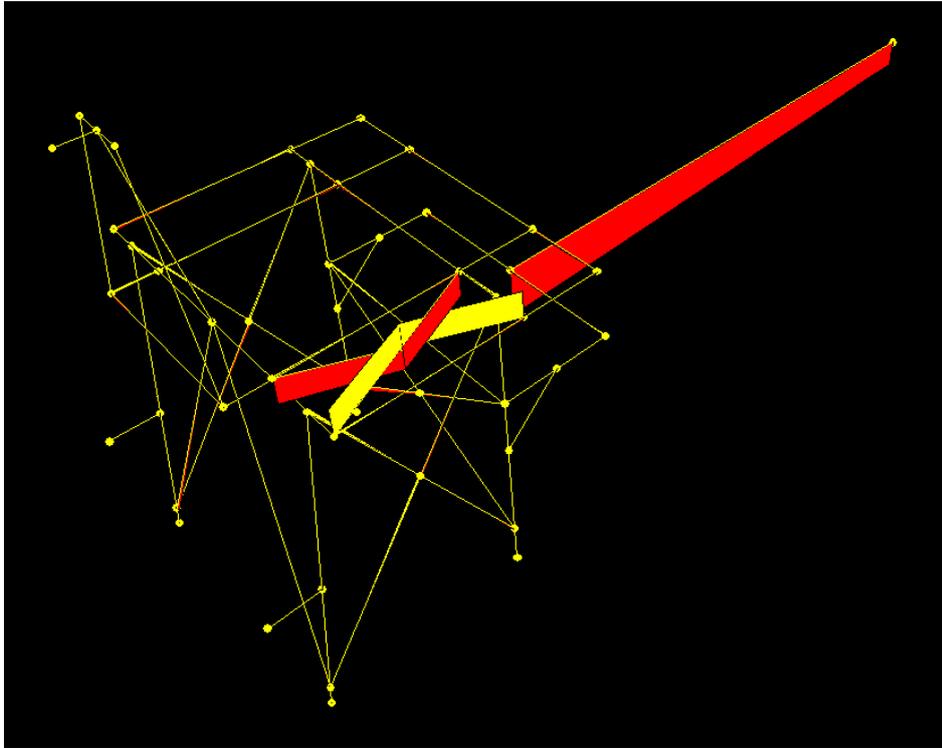
**Cantidad de elementos y nodos**



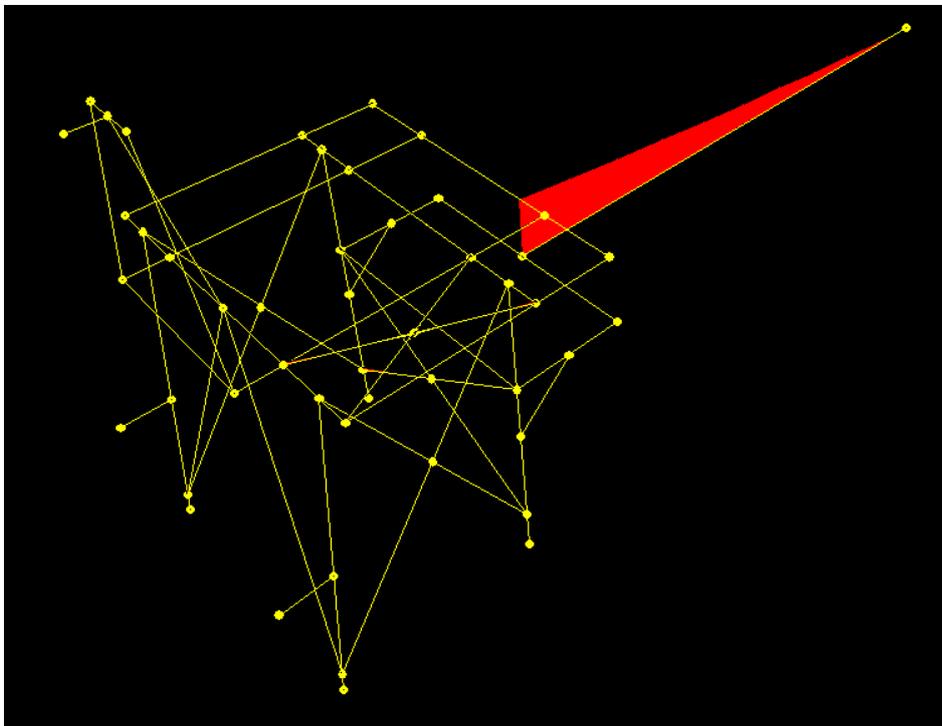
**Designación de cargas sobre la estructura**



**Análisis de acuerdo a norma AISC-LRFD**



**Gráfica de Esfuerzos Cortantes Máximos**



**Gráfica de Momentos Máximos**

**TABLE: Frame Section Assignments**

<b>Frame</b>	<b>SectionType</b>	<b>AutoSelect</b>	<b>DesignSect</b>
<b>Text</b>	<b>Text</b>	<b>Text</b>	<b>Text</b>
1	Box/Tube	N.A.	100X100X3
2	Box/Tube	N.A.	100X100X3
3	Box/Tube	N.A.	100X100X3
4	Box/Tube	N.A.	100X100X3
5	Box/Tube	N.A.	100X100X3
6	Box/Tube	N.A.	100X100X3
7	Box/Tube	N.A.	100X100X3
8	Box/Tube	N.A.	100X100X3
9	Box/Tube	N.A.	100X100X3
10	Box/Tube	N.A.	100X100X3
11	Box/Tube	N.A.	100X100X3
12	Box/Tube	N.A.	100X100X3
13	Box/Tube	N.A.	100X100X3
14	Box/Tube	N.A.	100X100X3
15	Box/Tube	N.A.	100X100X3
16	Box/Tube	N.A.	100X100X3
17	Box/Tube	N.A.	100X100X3
18	Box/Tube	N.A.	100X100X3
19	Box/Tube	N.A.	100X100X3
20	Box/Tube	N.A.	100X100X3
21	Box/Tube	N.A.	100X100X3
22	Box/Tube	N.A.	100X100X3
23	Box/Tube	N.A.	100X100X3
24	Box/Tube	N.A.	100X100X3
25	Box/Tube	N.A.	100X100X3
26	Box/Tube	N.A.	100X100X3
27	Box/Tube	N.A.	100X100X3
28	Box/Tube	N.A.	100X100X3
29	Box/Tube	N.A.	100X100X3
30	Box/Tube	N.A.	100X100X3
31	Box/Tube	N.A.	100X100X3
32	Box/Tube	N.A.	100X100X3
33	Box/Tube	N.A.	100X100X3
34	Box/Tube	N.A.	100X100X4
35	Box/Tube	N.A.	100X100X3
36	Box/Tube	N.A.	100X100X3

**TABLE: Joint Displacements**

Joint	Output Case	Case Type	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	mm	mm	mm	Radians	Radians	Radians
1	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
2	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
3	DEAD	LinStatic	0	0	-4,37E-03	-8,93E-06	0	0
4	DEAD	LinStatic	0	0	-4,37E-03	8,93E-06	0	0
5	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
6	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
7	DEAD	LinStatic	0	5,993E-19	-1,82E-04	6,457E-07	-1,879E-20	0
8	DEAD	LinStatic	0	-2,706E-19	-1,82E-04	-6,45E-07	0	0
9	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
10	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
11	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
12	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
13	DEAD	LinStatic	0	-2,428E+20	1,06E+14	8,07E+10	0	0
14	DEAD	LinStatic	0	-2,428E+20	-3,69E+11	8,07E+10	0	0
15	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
16	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
17	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
18	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
19	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
20	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
21	DEAD	LinStatic	0	9,498E+12	-4,047E+12	1,03E+10	0	0
22	DEAD	LinStatic	0	2,5E+13	-8,83E+12	1,03E+10	0	0
23	DEAD	LinStatic	0	1,001E+14	-1,969E+13	4,36E+10	0	0
24	DEAD	LinStatic	0	1,655E+14	5,046E+11	4,36E+10	0	0
25	DEAD	LinStatic	-3,30E-02	-2,80E-05	-7,05E-03	2,502E-08	-2,90E-05	0
26	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
27	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
28	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
29	DEAD	LinStatic	0	0	-1,53E-03	0	3,89E-06	0
30	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
31	DEAD	LinStatic	0	0	-1,53E-03	0	3,89E-06	0
32	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
33	DEAD	LinStatic	0	0	-1,77E+09	6,282E+12	-5,814E+26	0
34	DEAD	LinStatic	0	0	-1,77E+09	6,282E+12	-5,814E+26	0
35	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
36	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
37	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
38	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
39	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
40	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0

41	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
42	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
43	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
44	DEAD	LinStatic	-4,24E-16	2,95E-02	-4,68E-02	-6,00E-05	-8,648E-19	0
45	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
46	DEAD	LinStatic	-6,644E-15	-4,61E-01	-7,28E-01	4,78E-04	-6,882E-18	0
47	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
48	DEAD	LinStatic	-7,022E-07	0	0	0	9,127E-09	0
49	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
50	DEAD	LinStatic	1,26E-01	-5,08E-01	-2,30E-01	2,83E-04	7,00E-05	-6,48E-19
51	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
52	DEAD	LinStatic	-7,02E-07	0	0	0	9,127E-09	0
53	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
54	DEAD	LinStatic	1,26E-01	5,08E-01	-2,30E-01	-2,83E-04	7,00E-05	1,737E-18
55	DEAD	LinStatic	3,78E-02	-1,97E-16	-2,52E-02	2,43E-19	4,70E-05	0
56	DEAD	LinStatic	9,09E-02	-7,59E-16	-6,03E-02	-7,56E-19	-9,10E-05	0
57	DEAD	LinStatic	2,71E+13	-6,21E+02	-2,26E+09	-2,77E-02	-9,10E-05	-1,08E-01
58	DEAD	LinStatic	2,71E+13	-4,18E+02	-2,26E+09	-2,77E-02	9,20E-05	-1,08E-01
59	DEAD	LinStatic	9,33E-02	7,74E-16	-6,19E-02	7,66E-19	-9,20E-05	0
60	DEAD	LinStatic	3,66E-02	0	-2,44E-02	0	4,60E-05	0
61	DEAD	LinStatic	5,73E+13	2,40E-05	-7,03E-04	-3,79E-02	-5,73E+10	-6,56E-02
62	DEAD	LinStatic	-6,93E+13	1,70E+02	-7,56E+13	-3,79E-02	-5,73E+10	-6,56E-02
63	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
64	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
65	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
66	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
67	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
68	DEAD	LinStatic	0	0	-1,01E+02	0	2,95E-02	0
69	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
70	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
72	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
73	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
74	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
75	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
76	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
77	DEAD	LinStatic	0	0	-6,79E-02	8,35E-07	-3,84E-07	0

**TABLE: Joint Reactions**

Joint	Output Case	Case Type	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-mm	KN-mm	KN-mm
1	DEAD	LinStatic	0	0	0,058	0	-12,74	0
2	DEAD	LinStatic	0	0	0,026	0	2,63	0
5	DEAD	LinStatic	0	0	0,026	0	2,63	0
6	DEAD	LinStatic	0	0	0,734	98,26	-228,3	0
9	DEAD	LinStatic	0	0	0,137	3,05	2,73	0
10	DEAD	LinStatic	0	0	0,071	-8,562E-14	-18,94	0
11	DEAD	LinStatic	0	0	0,137	-3,05	2,69	0
12	DEAD	LinStatic	0	0	0,013	0,003643	-0,66	0
15	DEAD	LinStatic	0	0	0,095	-0,46	10,11	0
16	DEAD	LinStatic	0	0	0,766	97,97	224,7	0
17	DEAD	LinStatic	0	0	0,008636	0,28	0	0
18	DEAD	LinStatic	0	0	0,008636	-0,28	0	0
19	DEAD	LinStatic	0	0	0,027	4,213E-14	0,36	0
20	DEAD	LinStatic	0	0	0,009763	0	-0,36	0
26	DEAD	LinStatic	-9,419E-19	0	0,192	-0,03772	20,13	6,176E-18
27	DEAD	LinStatic	0	0	0,044	-7,46	-8,061E-14	0
28	DEAD	LinStatic	0	0	0,044	7,46	8,061E-14	0
30	DEAD	LinStatic	0	0	0,081	0	-1,51	0
32	DEAD	LinStatic	0	0	0,081	-7,417E-14	-1,51	0
35	DEAD	LinStatic	2,604E-17	0	0,088	0	-5,43	0
36	DEAD	LinStatic	-1,567E-17	0	0,084	4,397E-14	-2,14	0
37	DEAD	LinStatic	0	0	0,14	29,38	0	0
38	DEAD	LinStatic	0	0	0,015	0	0	0
39	DEAD	LinStatic	1,886E-17	0	0,088	0	-5,43	0
40	DEAD	LinStatic	-1,303E-17	0	0,084	0	-2,14	0
41	DEAD	LinStatic	0	0	0,14	-29,38	1,35E-13	0
42	DEAD	LinStatic	0	0	0,015	0	0	0
43	DEAD	LinStatic	0	-7,284E-18	0,103	8,79	1,709E-13	0
45	DEAD	LinStatic	0	-8,855E-17	0,261	-212,01	3,231E-12	0
47	DEAD	LinStatic	4,675E-18	0	0,101	1,83	1,6	0
48	DEAD	LinStatic	0	0	0,007095	0	0	0
49	DEAD	LinStatic	-9,495E-17	-1,035E-16	0,278	-115,39	-29,35	1,702E-13
51	DEAD	LinStatic	1,445E-17	0	0,101	-1,84	1,6	0
52	DEAD	LinStatic	0	0	0,007095	0	0	0
53	DEAD	LinStatic	1,196E-16	-6,835E-16	0,278	115,39	-29,35	-4,764E-13
63	DEAD	LinStatic	0	0	0,016	0	-1,01	0
64	DEAD	LinStatic	-4,111E-18	0	0,122	7,69E-14	0,11	0
65	DEAD	LinStatic	0	0	0,016	0	-1,01	0
66	DEAD	LinStatic	4,227E-18	0	0,122	2,677E-13	0,11	0

67	DEAD	LinStatic	0	0	2,015	-4,086E-14	-5920,16	0
69	DEAD	LinStatic	-1,825E-16	0	0,251	3,033E-13	21,68	0
70	DEAD	LinStatic	-2,976E-16	0	0,251	-5,095E-13	23,08	0
72	DEAD	LinStatic	0	-1,016E-16	0,158	44,5	6,387E-13	0
73	DEAD	LinStatic	0	0	3,722	-2,23	3,491E-14	0
74	DEAD	LinStatic	0	0	4,467	-96,1	-227,04	0
75	DEAD	LinStatic	0	0	4,447	-99,56	227,29	0
76	DEAD	LinStatic	0	0	3,775	8,562E-14	16,21	0

**TABLE: Joint Loads - Force**

Joint	LoadCase	CoordSys	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-mm	KN-mm	KN-mm
67	DEAD	GLOBAL	0	0	-0,392	0	0	0
68	DEAD	GLOBAL	0	0	-0,834	0	0	0
73	DEAD	GLOBAL	0	0	-3,677	0	0	0
74	DEAD	GLOBAL	0	0	-3,677	0	0	0
75	DEAD	GLOBAL	0	0	-3,677	0	0	0
76	DEAD	GLOBAL	0	0	-3,677	0	0	0
77	DEAD	GLOBAL	0	0	-2,452	0	0	0

**TABLE: Material Properties 01 - General**

Material	Type	DesignType	UnitMass	UnitWeight	E	U	A
Text	Text	Text	KN-s2/mm4	KN/mm3	KN/mm2	Unitless	1/C
ALUM	Isotropic	Aluminum	2,7145E-12	2,6602E-08	69,63705	0,33	0,00002358
CLDFRM	Isotropic	ColdFormed	7,849E-12	7,6973E-08	203,39536	0,3	0,0000117
CONC	Isotropic	Concrete	2,4028E-12	2,3563E-08	24,82113	0,2	0,0000099
OTHER	Isotropic	None	2,4007E-12	2,3562E-08	24,82113	0,2	0,0000099
REBAR	Uniaxial	Rebar	7,849E-12	7,6973E-08	199,94798	0	0,0000117
STEEL	Isotropic	Steel	7,849E-12	7,6973E-08	199,94798	0,3	0,0000117

**TABLE: Material Properties- Design Steel**

Material	Fy	Fu
Text	KN/mm2	KN/mm2
STEEL	0,24821	0,3999

**TABLE: Joint Restraint Assignments**

Joint Text	U1 Yes/No	U2 Yes/No	U3 Yes/No	R1 Yes/No	R2 Yes/No	R3 Yes/No
1	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
2	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
5	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
6	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
9	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
10	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
11	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
12	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
15	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
16	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
17	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
18	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
19	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
20	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
26	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
27	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
28	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
30	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
32	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
35	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
36	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
37	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
38	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
39	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
40	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
41	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
42	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
43	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
45	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
47	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
48	No	No	Yes	No	No	No
49	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
51	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
52	No	No	Yes	No	No	No
53	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
63	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
64	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
65	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
66	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
67	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
69	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
70	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
72	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
73	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
74	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
75	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
76	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

**TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC-LRFD93**

Frame	DesignSect	DesignType	Ratio	RatioType	Combo	Location
Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	mm
1	100X100X3	Beam	0,001939	PMM	DSTL1	0
2	100X100X3	Beam	0,002403	PMM	DSTL1	600
3	100X100X3	Beam	0,001939	PMM	DSTL1	600
4	100X100X3	Beam	0,000516	Major Shear	DSTL1	1260
5	100X100X3	Beam	0,002881	PMM	DSTL1	610,71
6	100X100X3	Beam	0,001918	PMM	DSTL1	1920
7	100X100X3	Beam	0,004074	PMM	DSTL1	880
8	100X100X3	Beam	0,00454	PMM	DSTL1	250
9	100X100X3	Beam	0,000154	Major Shear	DSTL1	196,83
10	100X100X3	Beam	0,000174	Major Shear	DSTL1	0
11	100X100X3	Brace	0,001368	PMM	DSTL1	784,9
12	100X100X3	Brace	0,003025	PMM	DSTL1	1569,96
13	100X100X3	Brace	0,003479	PMM	DSTL1	1529,71
14	100X100X3	Beam	0,001135	PMM	DSTL1	2020
15	100X100X3	Beam	0,001382	PMM	DSTL1	455
16	100X100X3	Beam	0,001382	PMM	DSTL1	455
17	100X100X3	Beam	0,036626	PMM	DSTL1	2020
18	100X100X3	Brace	0,000385	PMM	DSTL1	643,47
19	100X100X3	Column	0,000158	PMM	DSTL1	929,34
20	100X100X3	Brace	0,000385	PMM	DSTL1	643,47
21	100X100X3	Column	0,000158	PMM	DSTL1	929,34
22	100X100X3	Brace	0,008307	PMM	DSTL1	1192,94
23	100X100X3	Brace	0,032663	PMM	DSTL1	0
24	100X100X3	Column	0,000472	PMM	DSTL1	1445,3
25	100X100X3	Brace	0,018867	PMM	DSTL1	0
26	100X100X3	Column	0,000472	PMM	DSTL1	1445,3
27	100X100X3	Brace	0,018867	PMM	DSTL1	0
28	100X100X3	Brace	0,00955	PMM	DSTL1	1271,44
29	100X100X3	Brace	0,006072	PMM	DSTL1	1287,45
30	100X100X3	Brace	0,009671	PMM	DSTL1	1596,12
31	100X100X3	Brace	0,007309	PMM	DSTL1	1287,45
32	100X100X3	Beam	0,000291	Major Shear	DSTL1	0
33	100X100X3	Beam	0,000291	Major Shear	DSTL1	0
34	100X100X4	Beam	0,698457	PMM	DSTL1	0
35	100X100X3	Beam	0,035985	PMM	DSTL1	0
36	100X100X3	Beam	0,036378	PMM	DSTL1	0

**TABLE: Steel Design 2 - PMM Details - AISC-LRFD93**

Frame	Design Sect	Design Type	Location	Pu	MuMajor	MuMinor	VuMajor	VuMinor	Tu
Text	Text	Text	mm	KN	KN-mm	KN-mm	KN	KN	KN-mm
1	100X100X3	Beam	0	0	-17,84	0	-0,081	0	0
2	100X100X3	Beam	600	0	-22,11	0	0,074	0	0
3	100X100X3	Beam	600	0	-17,84	0	-0,081	0	0
4	100X100X3	Beam	1260	0	-4,44	0	0,04	0	0
5	100X100X3	Beam	610,71	-3,728E-09	-26,51	0	-0,099	0	0
6	100X100X3	Beam	1920	0	-17,65	0	0,081	0	0
7	100X100X3	Beam	880	-6,812E-09	37,48	0	-0,001268	0	0
8	100X100X3	Beam	250	0	-41,77	0	-0,124	0	0
9	100X100X3	Beam	196,83	0	-0,4	0	-0,012	0	0
10	100X100X3	Beam	222,52	-3,073E-16	-0,51	0	0,014	0	0
11	100X100X3	Brace	784,9	0,127	10,3	0	0,00109	0	0
12	100X100X3	Brace	1569,96	-0,184	24	0	0,013	0	0
13	100X100X3	Brace	1529,71	-0,184	-28,19	-4,092E-17	0,037	2,319E-20	6,39E-20
14	100X100X3	Beam	2020	0	-10,44	0	0,062	0	0
15	100X100X3	Beam	455	0	-12,72	0	0,056	0	0
16	100X100X3	Beam	455	0	-12,72	0	0,056	0	0
17	100X100X3	Beam	2020	0	-337,01	0	0,179	0	0
18	100X100X3	Brace	643,47	-0,028	-3	0	0,028	0	0
19	100X100X3	Column	929,34	-0,057	0	0	0	0	0
20	100X100X3	Brace	643,47	-0,028	-3	0	0,028	0	0
21	100X100X3	Column	929,34	-0,057	2,077E-13	1,038E-13	-1,341E-15	-6,704E-16	0
22	100X100X3	Brace	1192,94	-0,079	-74,6	0	-0,124	0	0
23	100X100X3	Brace	0	-0,157	-296,82	0	-0,248	0	0
24	100X100X3	Column	1445,3	-0,088	-2,24	0	0,00928	0	0
25	100X100X3	Brace	0	-0,293	-166,45	5,815E-13	-0,128	2,206E-16	-3,63E-15
26	100X100X3	Column	1445,3	-0,088	-2,24	0	0,00928	0	0
27	100X100X3	Brace	0	-0,293	-166,45	-1,693E-12	-0,128	-6,441E-16	-7,20E-15
28	100X100X3	Brace	1271,44	0,163	-84,94	0	-0,107	0	0
29	100X100X3	Brace	1287,45	0,136	53,42	1,513E-11	-0,0009511	1,99E-14	1,27E-12
30	100X100X3	Brace	1596,12	0,164	-86,03	0	0,108	0	0
31	100X100X3	Brace	1287,45	-0,564	53,74	-6,403E-12	0,00315	4,974E-15	0
32	100X100X3	Beam	371,44	0	-1,41	0	0,023	0	0
33	100X100X3	Beam	371,44	0	-1,41	0	0,023	0	0
34	100X100X4	Beam	0	0	-8288,23	0	-2,148	0	0
35	100X100X3	Beam	0	0	-331,11	0	-0,944	0	0,38
36	100X100X3	Beam	0	0	-334,73	0	-0,959	0	-0,25

**TABLE: Program Control**

ProgramName	Version	ProgLevel	CurrUnits	SteelCode
Text	Text	Text	Text	Text
SAP2000	10.0.1	Advanced	KN, mm, C	AISC-LRFD93

## **APENDICE C: Fotografías**



**Superficie antes de arenar**



**Superficie durante el arenado**



**Superficie de escalera sin limpieza**



**Superficie de escalera durante limpieza**



**Superficie de escalera después de limpieza**



**Polvo generado en zona abierta al ambiente**



**Polvo generado en zona cerrada al ambiente**

<p><b>Photo 1</b></p>  <p>Covering your face with a cloth such as a bandana or T-shirt <b>WILL NOT</b> protect you.</p>	<p><b>Photo 2</b></p>  <p>These are filtering facepiece respirators.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposable</li> <li>• N-95 Type or higher</li> <li>• Provide minimal protection</li> </ul>	<p><b>Photo 3</b></p>  <p>Model Advantage 200 Photo courtesy of MSA.</p> <p>Half-face mask air-purifying respirator with replaceable N-95 (or higher) filters.</p>	<p><b>Photo 4</b></p>  <p>Model Advantage 1000 Photo courtesy of MSA.</p> <p>Full-face mask air-purifying respirator with replaceable N-95 (or higher) filters.</p>	<p><b>Photo 5</b></p>  <p>Model MM2K Photo courtesy of MSA.</p> <p>Powered air purifying respirator (PAPR) equipped with:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Full facepiece</li> <li>• High efficiency particulate filters</li> </ul> <p>NOTE: Uses battery-powered motor to filter the air.</p>	<p><b>Photo 6</b></p>  <p>Supplied-air respirator (SAR) equipped with:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Full facepiece</li> <li>• Pressure-demand or other positive pressure mode.</li> </ul>	<p><b>Photo 7</b></p>  <p>Type CE abrasive-blasting respirator (SAR), operated in a pressure demand or other positive pressure mode.</p> <p>NOTE: A tight-fitting mask is worn under the blasting hood.</p> <p>This is the only respirator that can be used for abrasive blasting.</p>					
No Protection			Least Protection			More Protection			Most Protection		

## Protección del operador durante el proceso de arenado



**Pulmón saludable**



**Pulmón enfermo**



**Polvo generado en diferentes etapas**



**Preparación superficial de tanques a presión**



**Preparación superficial de planchas de acero**



**Limpieza en interior de tanques de almacenamiento**

## **APENDICE D: Información Técnica**

## ABRASIVOS COMUNES Y SUS APLICACIONES [1]

Type of medium	Sizes normally available	Applications
Glass beads	8 to 10 sizes from 30- to 440-mesh; also many special gradations	Decorative blending; light deburring; peening; general cleaning; texturing; noncontaminating
Aluminum oxide	10 to 12 sizes from 24- to 325-mesh	Fast cutting; matte finishes; descaling and cleaning of coarse and sharp textures
Garnet	6 to 8 sizes (wide-band screening) from 16- to 325-mesh	Noncritical cleaning and cutting; texturing; noncontaminating for brazing steel and stainless steel
Crushed glass	5 sizes (wide-band screening) from 30- to 400-mesh	Fast cutting; low cost; short life; abrasive; noncontaminating
Steel shot	12 or more sizes (close gradation) from 8- to 200-mesh	General-purpose rough cleaning (foundry operation, etc.); peening
Steel grit	12 or more sizes (close gradation) from 10- to 325-mesh	Rough cleaning; coarse textures; foundry welding applications; some texturing
Cut plastic	3 sizes (fine, medium, coarse); definite-size particles	Deflashing of thermoset plastics; cleaning; light deburring
Crushed nutshells	6 sizes (wide-band screening)	Deflashing of plastics; cleaning; very light deburring; fragile parts

**FACTOR DE EMISION DE PARTICULAS PARA CHORREADO CON MEDIOS ABRASIVOS [2]**

EMISSION FACTOR RATING: E

Source	Particle size	Emission factor, lb/1,000 lb abrasive
Sand blasting of mild steel panels <sup>b</sup> (SCC 3-09-002-02)	Total PM	27
	5 mph wind speed	55
	10 mph wind speed	91
	15 mph wind speed	13
	PM-10 <sup>c</sup> PM-2.5 <sup>c</sup>	1.3
Abrasive blasting of unspecified metal parts, controlled with a fabric filter <sup>d</sup> (SCC 3-09-002-04)	Total PM	0.69

<sup>a</sup> One lb/1,000 lb is equal to 1 kg/Mg. Factors represent uncontrolled emissions, unless noted.  
SCC = Source Classification Code.

<sup>b</sup> Reference 10.

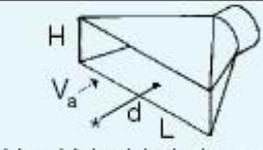
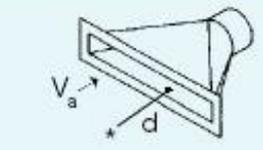
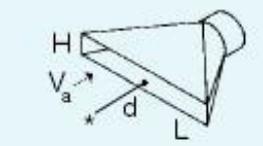
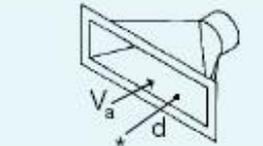
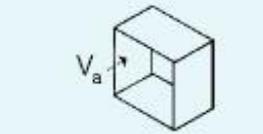
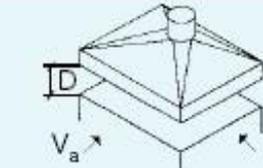
<sup>c</sup> Emissions of PM-10 and PM-2.5 are not significantly wind-speed dependent.

## NORMAS DE AIRE AMBIENTAL BASADAS EN LA SALUD [3]

CONTAMINANTE	NORMA*	
	Estados Unidos	Ecuador
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>		
Promedio para 8 horas	9ppm (10 mg/m <sup>3</sup> )	10000 µg/m <sup>3</sup>
Promedio para 1 hora	35ppm (40 mg/m <sup>3</sup> )	40000 µg/m <sup>3</sup>
<b>Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</b>		
Promedio anual	0.053ppm (100 µg/m <sup>3</sup> )	100 µg/m <sup>3</sup>
Promedio para 24 horas		150 µg/m <sup>3</sup>
<b>Ozono (O<sub>3</sub>)</b>		
Promedio para 8 horas	0.08 ppm (157 µg/m <sup>3</sup> )	120 µg/m <sup>3</sup>
Promedio para 1 hora	0.12 ppm (235 µg/m <sup>3</sup> )	60 µg/m <sup>3</sup>
<b>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</b>		
Promedio anual	0.030 ppm (80 µg/m <sup>3</sup> )	80 µg/m <sup>3</sup>
Promedio para 24 horas	0.14 ppm (365 µg/m <sup>3</sup> )	350 µg/m <sup>3</sup>
<b>Materia particulada de menos de 2.5 micrómetros (PM 2,5)</b>		
Promedio anual	15 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>
Promedio para 24 horas	65 µg/m <sup>3</sup>	65 µg/m <sup>3</sup>
<b>Materia particulada de menos de 10 micrómetros (PM 10)</b>		
Promedio anual	50 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>
Promedio para 24 horas	150 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>
<b>Plomo (Pb)</b>		
Promedio trimestral	1.5 µg/m <sup>3</sup>	

\*Valor en paréntesis es una concentración equivalente aproximada. Las unidades de medidas para las normas son partes por millón (ppm), miligramos por metro cúbico de aire (mg/m<sup>3</sup>) y microgramos por metro cúbico de aire (µg/m<sup>3</sup>).

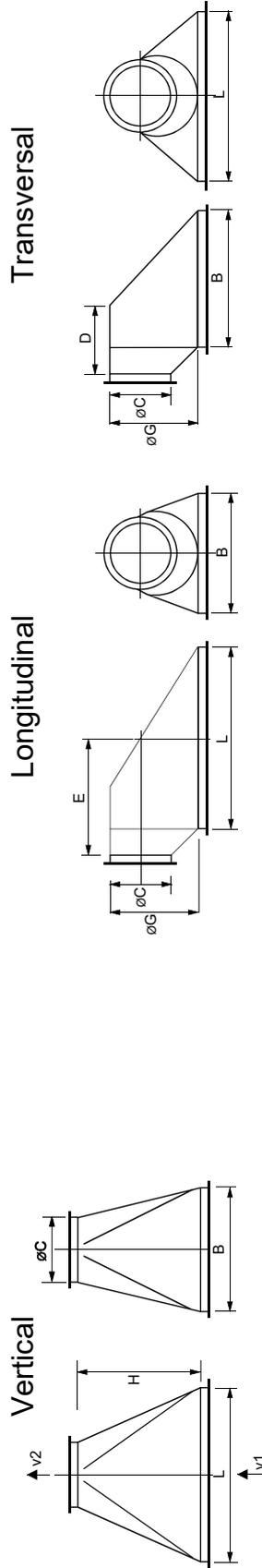
## CAPTACION DE AIRE CONTAMINADO EN CAMPANAS EXTRACTORAS [4]

<b>CAPTACION DE AIRE CONTAMINADO</b>			
TIPO DE BOCA	ABERTURA	DIMENS.	CAUDAL NECESARIO
 <p><math>V_a</math> = Velocidad aire captación</p>	RANURA	$\frac{H}{L} \leq 0,2$	$Q = 13500 V_a Ld$
	RANURA CON BRIDA	$\frac{H}{L} \leq 0,2$	$Q = 10000 V_a Ld$
	A CANTO VIVO	$\frac{H}{L} \geq 0,2$	$Q = 3600 V_a (10 d^2 + S)$ $S = L \times H$
	CANTO CON BRIDA	$\frac{H}{L} \geq 0,2$	$Q = 2750 V_a (10 d^2 + S)$ $S = L \times H$
	CABINA	De acuerdo a la función	$Q = 3600 V_a S$
	CAMPANA	De acuerdo a la función	$Q = 5000 V_a PD$ $P = \text{Perímetro [m]}$

d, H, L [m]; V [m/s]; \* = Punto contaminación; Q [m<sup>3</sup>/h]

Fig. 14

## CATALOGO PARA FABRICACION DE CAMPANAS EXTRACTORAS [5]



Air Quantity m <sup>3</sup> /h	v1 ms-1	v2 ms-1	L mm	B mm	H mm	$\phi C$ mm	$\phi G$ mm	L mm	B mm	E mm	D mm
250	1.40	18.0	260	190	165	70.0 *	97	260	190	157.0	122.0
500	1.40	17.5	370	270	235	100.5 *	143	370	270	227.0	177.5
750	1.40	17.0	450	330	280	125.0 *	178	450	330	278.0	218.0
1000	1.40	17.2	520	380	325	143.5 *	207	520	380	323.5	253.5
1250	20.8	17.7	580	425	365	158.0	233	580	425	365.0	287.5
1500	25.0	17.9	630	460	400	172.0	253	630	460	396.0	311.0
1750	29.2	17.9	680	500	430	186.0	276	680	500	430.0	340.0
2000	33.3	17.9	740	540	470	198.0	299	740	540	471.0	371.0
2500	41.6	18.0	820	600	520	222.0	334	820	600	522.0	412.0
3000	50.0	17.9	900	660	570	244.0	368	900	660	574.0	454.0
3500	58.3	17.8	960	700	610	262.0	391	960	700	609.0	479.0
4000	66.6	18.0	1040	760	660	280.0	426	1040	760	666.0	526.0
4500	75.0	17.9	1100	800	700	298.0	449	1100	800	701.0	557.0
5000	83.3	17.9	1150	850	740	314.0	475	1150	850	739.0	589.0
6000	100.0	17.9	1260	930	800	344.0	524	1260	930	810.0	645.0

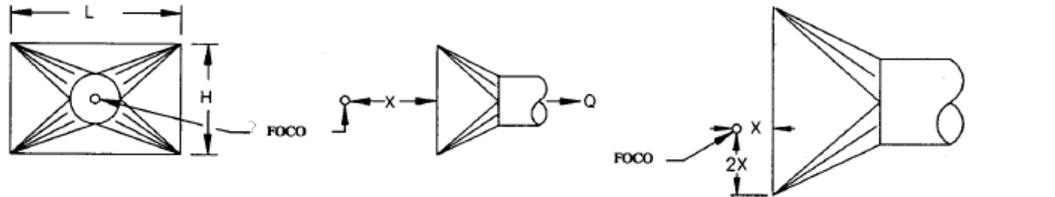
\*Commercial Pipes and Bends

Sheet Thickness for Suction Hoods and Ducts: 3-4mm

Intake Velocity at Hoods according to Above Table:  $V_1 = \sim 1.4m/s$

Air Velocity in Dedusting Duct :  $V_2 = > 18m/s$

## CAUDAL EN CAMPANAS EXTRACTORAS [6]

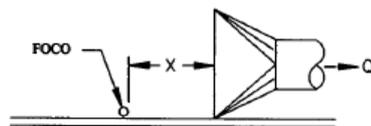


CAMPANA LIBREMENTE SUSPENDIDA

$$Q = V(10X^2 + A)$$

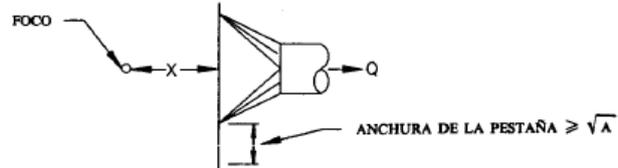
CAMPANA GRANDE

CAMPANA GRANDE, X PEQUEÑO - LA DISTANCIA X, MEDIDA PERPENDICULARMENTE A LA BOCA DE LA CAMPANA, LA DISTANCIA AL BORDE DE LA CAMPANA NO HA DE SER INFERIOR A 2 X



CAMPANA APOYADA SOBRE UNA MESA O EL SUELO

$$Q = V(5X^2 + A)$$



CAMPANA CON PESTAÑA ANCHA

$$Q = V 0.75(10X^2 + A)$$

### CAMPANAS SUSPENDIDAS

(CAMPANAS PEQUEÑAS DE ASPIRACIÓN LATERAL)

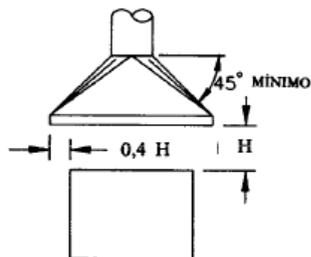
Q = CAUDAL DE ASPIRACIÓN REQUERIDO, m<sup>3</sup>/s.

X = DISTANCIA DESDE LA BOCA DE LA CAMPANA HASTA EL FONDO MÁS ALEJADO DE LIBERACIÓN DEL CONTAMINANTE, m.

A = ÁREA DE LA BOCA DE LA CAMPANA, m<sup>2</sup>.

V = VELOCIDAD DE CAPTURA A DISTANCIA, m/s.

NOTA: EL CAUDAL DE ASPIRACIÓN DEBE INCREMENTARSE PROPORCIONALMENTE AL CUADRADO DE LA DISTANCIA A LA CAMPANA. EL APANTALLAMIENTO MEDIANTE PESTAÑAS O COLOCANDO LA CAMPANA SOBRE UNA MESA, EL SUELO, ETC. TIENE UN EFECTO BENEFICIOSO.



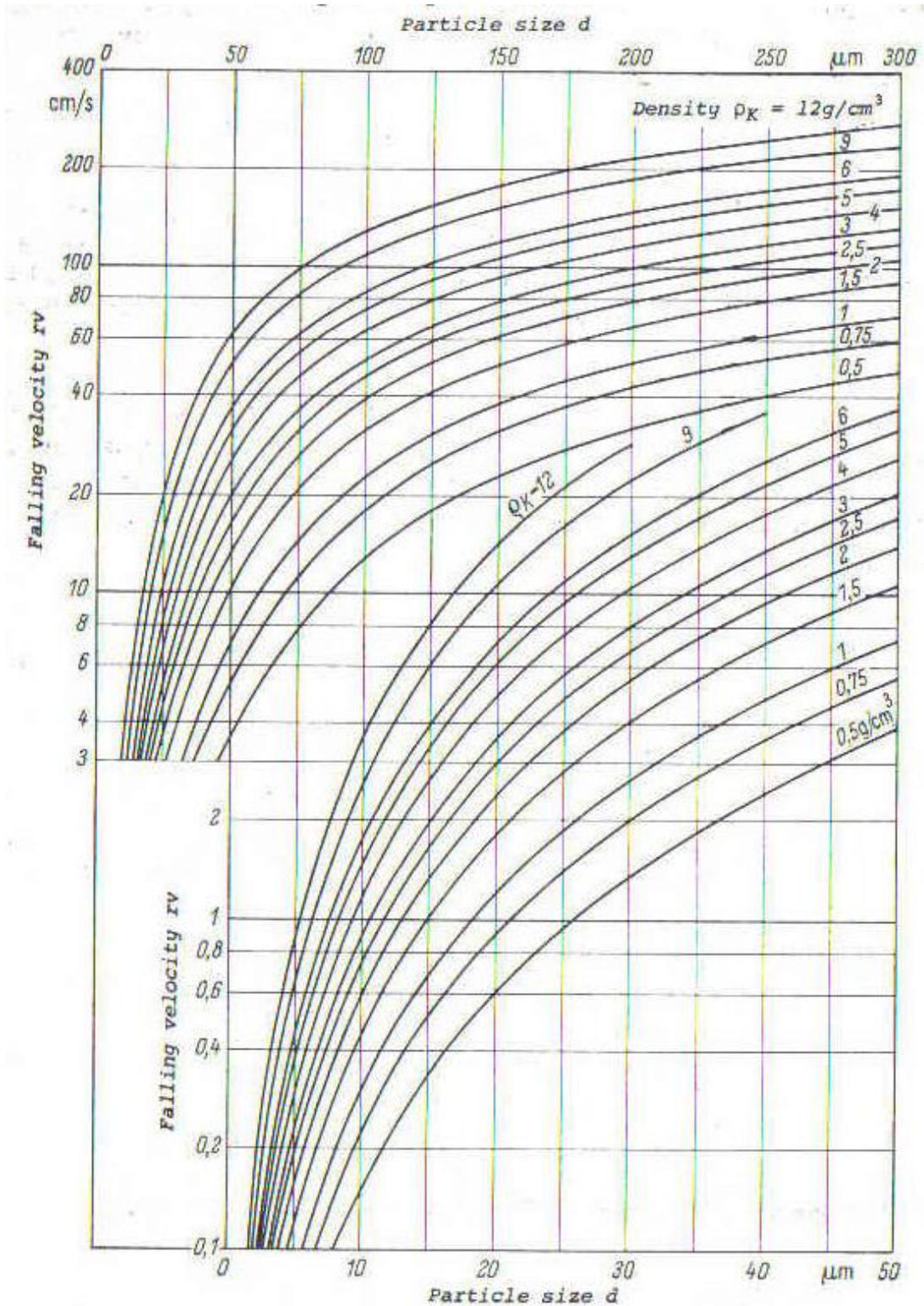
CAMPANA ELEVADA

$$Q = 1,4 PHV \text{ (P = PERÍMETRO DE LA CUBA, m).}$$

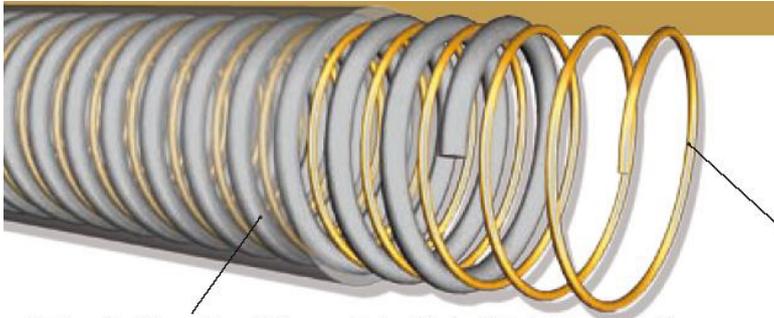
NO RECOMENDADO SI LOS TRABAJADORES DEBEN INCLINARSE SOBRE EL FOCO. V VARÍA ENTRE 0,25 Y 2,5 m/s EN FUNCIÓN DE LAS CORRIENTES DE AIRE TRANSVERSALES.

ES RECOMENDABLE INSTALAR PANTALLAS LATERALES EN DOS O TRES LADOS PARA CREAR UNA CABINA O SEMICABINA

# CAPTACION DE AIRE CONTAMINADO EN CAMPANAS EXTRACTORAS [7]



## TUBERIA ESPIRO P.U. ANTIESTATICO [8]



Refuerzo interior con espiral rígida de PVC antichoque y prácticamente indeformable, que le da gran consistencia  
 Interior reinforcement with practically undeformable & shock-resistant, rigid PVC spiral that gives it great consistency  
 Renfort intérieur avec une spirale rigide en PVC antichoc et pratiquement indéformable qui leur confère une grande consistance

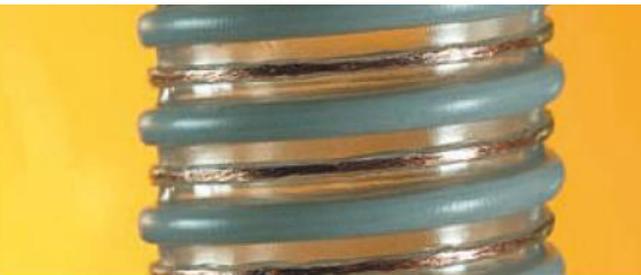
Poliuretano resistente 5 veces más que el PVC y con propiedades antiabrasivas. Dotada de hilo de cobre antiestático  
 Polyurethane that is 5 times more resistant than PVC and has anti-abrasive properties. Equipped with antistatic copper thread  
 Polyuréthane 5 fois plus résistant que le PVC et avec des propriétés anti-abrasives. Dotés de fil de cuivre antistatique

Ø INT. LD. Ø INT mm	ESPESOR PARED WALL THICKNESS ÉPAISSEUR PAROI mm	PESO WEIGHT POIDS g/m	VACÍO VACUUM VIDE mmH <sub>2</sub> O	RADIO CURVATURA BENDING RADIUS RAYON COURBURE mm	LARGO ROLLO ROLL LENGTH LONG ROULEAU m
32	3,0	170	3	32	30
38	3,0	180	3	32	30
40	3,0	200	3	40	30
45	3,0	245	3	45	30
50	3,0	290	3	50	30
60	3,0	425	3	60	30
70	3,5	500	3	70	30
75	3,5	550	3	75	30
80	3,5	590	3	80	30
90	4,5	670	3	90	30
102	4,5	800	3	100	30
110	5,0	900	3	110	30
120	5,0	1000	3	120	30
125	5,0	1100	3	125	30
130	5,0	1200	3	130	30
140	5,0	1300	3	140	30
150	5,5	1500	3	150	30
160	5,5	1700	3	160	30
170	5,5	1900	3	170	20
180	6,0	1950	3	180	20
200	6,0	2200	3	200	20
250	6,0	2600	3	250	20
300	6,0	3425	3	300	10



Tubería fabricada en coextrusión de poliuretano transparente con espiral interna de PVC rígido en el interior, e hilo de cobre, según norma UNE en ISO 3994

• En función de las evoluciones técnicas, las especificaciones pueden ser modificadas sin previo aviso  
 • Otros diámetros, colores y características previa consulta



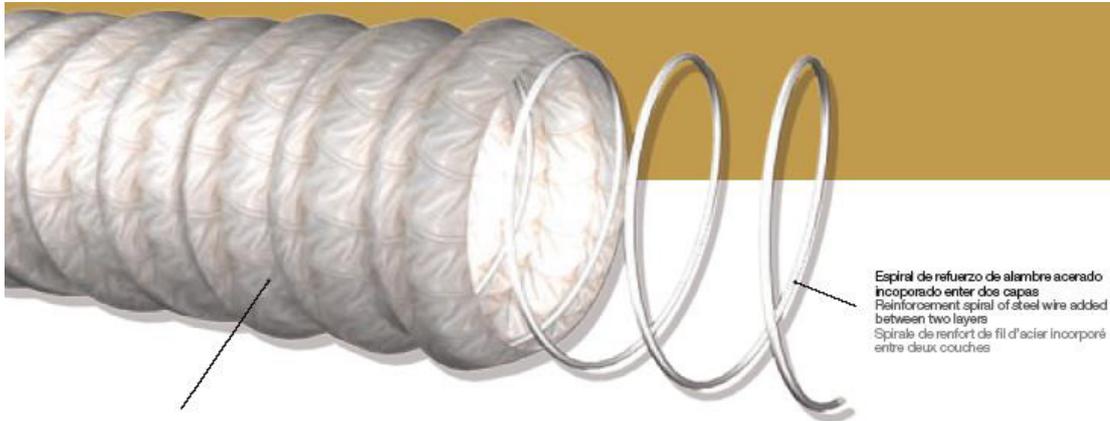
### Características

- Atóxica
- Antiestática
- Tubería muy flexible y ligera reforzada en su interior por una espiral rígida de PVC, antichoque y prácticamente indeformable, que le da gran consistencia e hilo de cobre
- Superficie interior lisa para evitar la formación de sedimentos en las paredes y superficie externa coarugada
- Grandes propiedades antiabrasivas (el PU resiste 5 veces mas que el PVC)
- Resiste a los agentes atmosféricos y a diversos productos químicos
- La temperatura recomendada de empleo esta entre -20°C y 80°C

### Aplicaciones

- Aspiraciones e impulsiones con contenidos abrasivos (como cementos, arenas, grancs, azúcar, cereales, serrín, feralla,...), ventilación y conducción de aire, polvo, gases y humos, cuando se requiera que la instalación sea antiestática

## TUBERIA EXTRAFLEX [9]



Tubería de tejido de PVC autoextinguible  
Self-extinguishable PVC fabric tubes  
Tuyaux en tissu de PVC auto-extinguible

Espirales de refuerzo de alambre acerado  
Incorporado entre dos capas  
Reinforcement spiral of steel wire added  
between two layers  
Spirales de renfort de fil d'acier incorporé  
entre deux couches

Ø INT I.D. Ø INT mm	PESO WEIGHT POIDS g/m	VACÍO VACUUM VIDE m H <sub>2</sub> O	RADIO CURVATURA BENDING RADIUS RUYON COURBURE mm	LARGO ROLLO ROLL LENGTH LONG ROLLEAU m
40	110	2,50	20	10
50	120	2,00	25	10
60	140	1,90	30	10
70	160	1,80	35	10
76	175	1,80	40	10
80	195	1,70	40	10
90	200	1,50	45	10
102	240	1,30	50	10
110	270	1,20	55	10
120	295	1,10	60	10
127	315	1,00	63	10
130	325	0,95	65	10
140	350	0,90	70	10
152	370	0,85	75	10
160	440	0,80	80	10
180	535	0,75	90	10
203	600	0,70	100	10
225	660	0,65	115	10
254	790	0,60	125	10
280	880	0,60	140	10
305	950	0,50	150	10
356	1110	0,40	175	10
406	1280	0,30	200	10
500	1550	0,30	250	10
630	1890	0,20	320	10

construcción  
construcción  
construcción  
uso industrial  
industrial use  
utilisation industrielle

**Tubo flexible realizado con tejido cubierto de PVC autoextinguible y reforzado de una espiral de acero soldado entre 2 capas**

- En función de las evoluciones técnicas, las especificaciones pueden ser modificadas sin previo aviso
- Otros diámetros, colores y características previa consulta

**Características**

- Tubería fabricada con tejido cubierto de PVC autoextinguible con espiral de refuerzo de alambre acerado incorporado entre dos capas. Total flexibilidad lo cual dota a esta tubería de grandes posibilidades mecánicas. Gran ligereza. Resistencia óptima, a los agentes atmosféricos y a una amplia gama de productos químicos. Soporta temperaturas entre -20°C y +100°C (Máx. 120°C)
- Ignífugo clase M2 (NFP92503)
- Clasificación VO (UL-94)

**Aplicaciones**

- Instalaciones de aire acondicionado (Civil y Naval), ventilación, aspiración de humos, vapores, polvo, gas, etc, ...

## TUBERIA DE POLIURETANO FLEX [10]



Tubería fabricada en poliuretano  
Tubing manufactured in polyurethane  
Tuyaux fabriqués en polyuréthane

Reforzada con espiral interna de acero  
Reinforced with an interior steel spiral  
Renforcés avec spirale interne en acier

Ø INT ID. Ø INT mm	ESPESOR PARED WALL THICKNESS ÉPAISSEUR PARDI mm	ESPESOR FLEXIBLE FLEXIBLE THICKNESS ÉPAISSEUR FLEXIBLE mm	PESO WEIGHT POIDS g/m	VACÍO VACUUM VIDE mH <sub>2</sub> O	RADIO CURVATURA BENDING RADIUS RAYON COURBURE mm	LARGO ROLLO ROLL LENGTH LONG ROULEAU m
40	1,8	0,35	200	0,04	35	10
45	1,8	0,35	225	0,04	20	10
51	1,8	0,35	250	0,04	25	10
60	1,8	0,35	300	0,04	30	10
70	1,9	0,35	315	0,04	35	10
76	1,9	0,35	340	0,04	38	10
80	1,9	0,35	360	0,04	40	10
90	2,0	0,40	380	0,04	45	10
102	2,0	0,40	420	0,32	50	10
110	2,2	0,40	520	0,30	55	10
120	2,2	0,40	560	0,25	60	10
127	2,2	0,40	590	0,25	64	10
130	2,2	0,40	600	0,20	65	10
140	2,2	0,40	660	0,20	70	10
152	2,2	0,40	700	0,20	75	10
160	2,7	0,45	880	0,18	80	10
180	2,7	0,45	990	0,12	90	10
203	2,7	0,45	1100	0,10	100	10
254	2,8	0,50	1300	0,10	125	10
305	2,8	0,50	1550	0,08	150	10
356	2,8	0,50	1820	0,08	175	10



Tubería fabricada en poliuretano reforzada con espiral interna de acero

• En función de las evoluciones técnicas, las especificaciones pueden ser modificadas sin previo aviso  
• Otros diámetros, colores y características previa consulta

### Características

- Atóxico
- Tubería reforzada en su interior por un espiral metálico, que le da gran consistencia, a la vez que flexible, dotada así de grandes posibilidades mecánicas
- Antiabrasiva y Antiestética
- Resiste a los agentes atmosféricos y a diversos productos químicos
- La temperatura recomendada de empleo está entre -35°C y 85°C

### Aplicaciones

- Aspiraciones de aire cargado de sustancias abrasivas y muy reactivas, tales como vapores de aceites
- Aspiración y Ventilación de humos, virutas, ...

## MATERIALES DE MANGAS FILTRANTES [11]

	Polypropylene	Polyester	Acrylic	Fiberglass <sup>*</sup>	Aramid	PPS	P84 <sup>***</sup>	PTFE <sup>***</sup>
Max. Continuous Operating Temperature	170°F (77°C)	275°F (135°C)	265°F (130°C)	500°F (260°C)	400°F (204°C)	375°F (190°C)	500°F (260°C)	500°F (260°C)
Abrasion	Excellent	Excellent	Good	Fair	Excellent	Good	Fair	Good
Energy Absorbition	Good	Excellent	Good	Fair <sup>*</sup>	Good	Good	Good <sup>*</sup>	Good
Filtration Properties	Good	Excellent	Good	Fair	Excellent	Good	Excellent	Fair
Moist Heat	Excellent	Poor	Excellent	Excellent	Good	Good	Good	Excellent
Alkalines	Excellent	Fair	Fair	Fair	Good	Excellent	Fair	Excellent
Mineral Acids	Excellent	Fair	Good	Poor <sup>**</sup>	Fair <sup>1</sup>	Excellent	Good	Excellent
Oxygen (15%+)	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Poor <sup>2</sup>	Excellent	Excellent
Relative Cost	\$	\$	\$	\$\$\$	\$\$\$\$	\$\$\$\$	\$\$\$\$\$	\$\$\$\$\$\$\$

\*Sensitive bag-to-cage fit

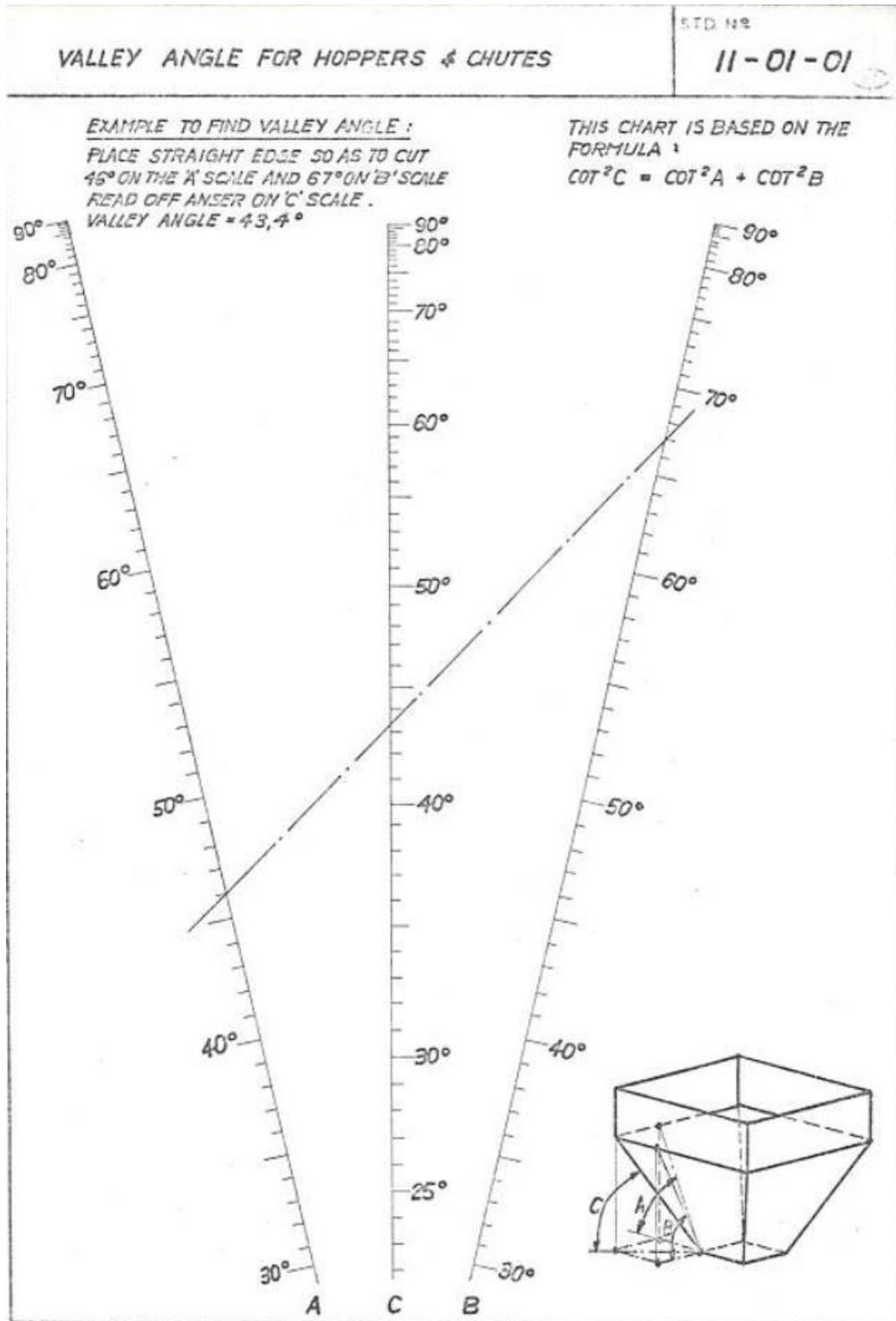
\*\*Fair with chemical or acid resistant finishes

\*\*\*Must oversize bag for shrinkage for temperatures above 450°F (232°C)

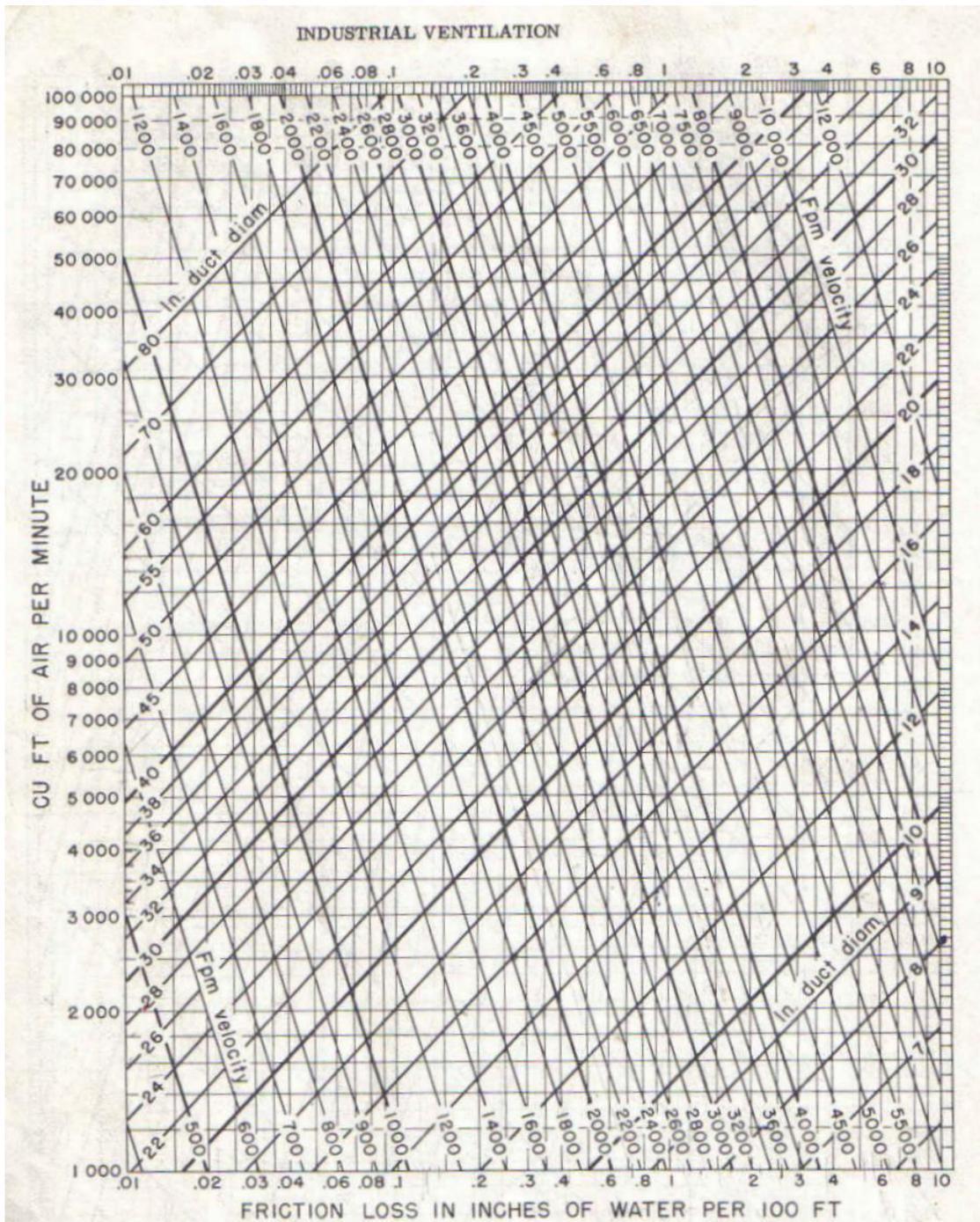
<sup>1</sup>Good below 300°F

<sup>2</sup>Good excellent with acid resistant finish

## ANGULO DE VALLE PARA TOLVAS [12]



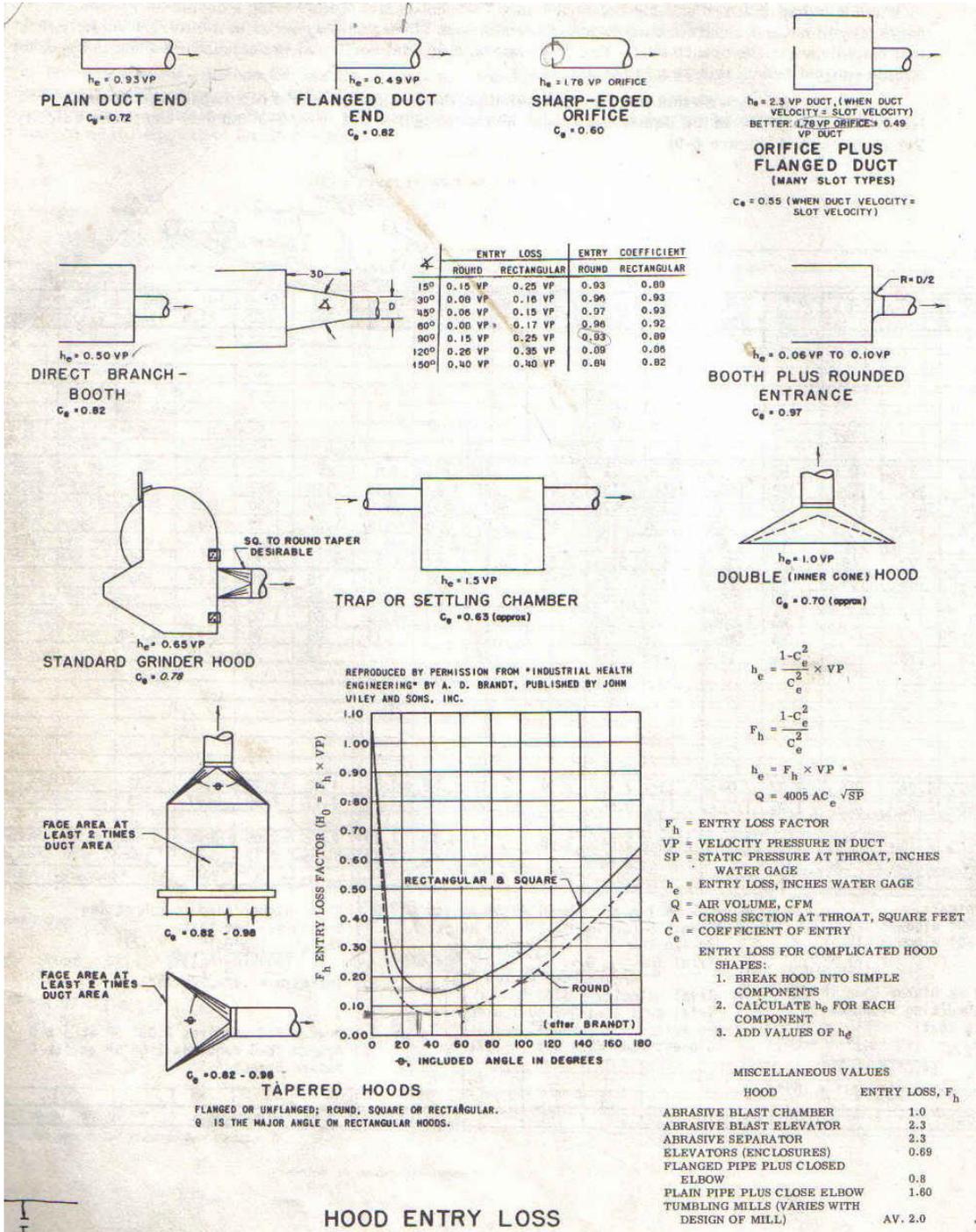
# FACTOR DE PÉRDIDA EN DUCTOS CIRCULARES [13]



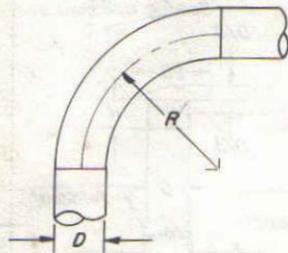
## PRESIÓN DINÁMICA PARA DIFERENTES VELOCIDADES [14]

VELOCITY PRESSURES FOR DIFFERENT VELOCITIES – STANDARD AIR											
FROM: $V = 4005 \sqrt{VP}$						V = VELOCITY FPM VP = VELOCITY PRESSURE, INCHES OF WATER					
VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V
0.01	400	0.52	2888	1.03	4064	1.54	4970	2.05	5734	3.10	7051
0.02	566	0.53	2916	1.04	4084	1.55	4986	2.06	5748	3.20	7164
0.03	694	0.54	2943	1.05	4103	1.56	5002	2.07	5762	3.30	7275
0.04	801	0.55	2970	1.06	4123	1.57	5018	2.08	5776	3.40	7385
0.05	896	0.56	2997	1.07	4142	1.58	5034	2.09	5790	3.50	7492
0.06	981	0.57	3024	1.08	4162	1.59	5050	2.10	5804	3.60	7599
0.07	1060	0.58	3050	1.09	4181	1.60	5066	2.11	5817	3.70	7704
0.08	1133	0.59	3076	1.10	4200	1.61	5082	2.12	5831	3.80	7807
0.09	1201	0.60	3102	1.11	4219	1.62	5098	2.13	5845	3.90	7909
0.10	1266	0.61	3127	1.12	4238	1.63	5114	2.14	5859	4.00	8010
0.11	1328	0.62	3153	1.13	4257	1.64	5129	2.15	5872	4.10	8109
0.12	1387	0.63	3179	1.14	4276	1.65	5144	2.16	5886	4.20	8208
0.13	1444	0.64	3204	1.15	4295	1.66	5160	2.17	5899	4.30	8305
0.14	1498	0.65	3229	1.16	4314	1.67	5175	2.18	5913	4.40	8401
0.15	1551	0.66	3254	1.17	4332	1.68	5191	2.19	5927	4.50	8496
0.16	1602	0.67	3279	1.18	4350	1.69	5206	2.20	5940	4.60	8590
0.17	1651	0.68	3303	1.19	4368	1.70	5222	2.21	5954	4.70	8683
0.18	1699	0.69	3327	1.20	4386	1.71	5237	2.22	5967	4.80	8774
0.19	1746	0.70	3351	1.21	4405	1.72	5253	2.23	5981	4.90	8865
0.20	1791	0.71	3375	1.22	4423	1.73	5268	2.24	5994	5.00	8955
0.21	1835	0.72	3398	1.23	4442	1.74	5283	2.25	6008	5.10	9044
0.22	1879	0.73	3422	1.24	4460	1.75	5298	2.26	6021	5.20	9133
0.23	1921	0.74	3445	1.25	4478	1.76	5313	2.27	6034	5.30	9220
0.24	1962	0.75	3468	1.26	4495	1.77	5328	2.28	6047	5.40	9307
0.25	2003	0.76	3491	1.27	4513	1.78	5343	2.29	6061	5.50	9392
0.26	2042	0.77	3514	1.28	4531	1.79	5359	2.30	6074	5.60	9477
0.27	2081	0.78	3537	1.29	4549	1.80	5374	2.31	6087	5.70	9562
0.28	2119	0.79	3560	1.30	4566	1.81	5388	2.32	6100	5.80	9645
0.29	2157	0.80	3582	1.31	4583	1.82	5403	2.33	6113	5.90	9728
0.30	2193	0.81	3604	1.32	4601	1.83	5418	2.34	6128	6.00	9810
0.31	2230	0.82	3625	1.33	4619	1.84	5433	2.35	6140	6.10	9891
0.32	2260	0.83	3657	1.34	4636	1.85	5447	2.36	6153	6.20	9972
0.33	2301	0.84	3669	1.35	4653	1.86	5462	2.37	6166	6.30	10052
0.34	2335	0.85	3690	1.36	4671	1.87	5477	2.38	6179	6.40	10132
0.35	2369	0.86	3709	1.37	4688	1.88	5491	2.39	6192	6.50	10210
0.36	2403	0.87	3729	1.38	4705	1.89	5506	2.40	6205	6.60	10289
0.37	2436	0.88	3758	1.39	4722	1.90	5521	2.41	6217	6.70	10366
0.38	2469	0.89	3779	1.40	4739	1.91	5535	2.42	6230	6.80	10444
0.39	2501	0.90	3800	1.41	4756	1.92	5550	2.43	6243	6.90	10520
0.40	2533	0.91	3821	1.42	4773	1.93	5564	2.44	6256	7.00	10596
0.41	2563	0.92	3842	1.43	4790	1.94	5579	2.45	6269	7.50	10968
0.42	2595	0.93	3863	1.44	4806	1.95	5593	2.46	6282	8.00	11328
0.43	2626	0.94	3884	1.45	4823	1.96	5608	2.47	6294	8.50	11676
0.44	2656	0.95	3904	1.46	4840	1.97	5623	2.48	6307	9.00	12015
0.45	2687	0.96	3924	1.47	4856	1.98	5637	2.49	6320	9.50	12344
0.46	2716	0.97	3945	1.48	4873	1.99	5651	2.50	6332	10.00	12665
0.47	2746	0.98	3965	1.49	4889	2.00	5664	2.60	6458	11.00	13283
0.48	2775	0.99	3985	1.50	4905	2.01	5678	2.70	6581	12.00	13874
0.49	2804	1.00	4005	1.51	4921	2.02	5692	2.80	6702	13.00	14440
0.50	2832	1.01	4025	1.52	4938	2.03	5706	2.90	6820	13.61	14775
0.51	2860	1.02	4045	1.53	4954	2.04	5720	3.00	6937	14.00	14986

# FACTOR DE PÉRDIDA EN CAMPANAS EXTRACTORAS [15]

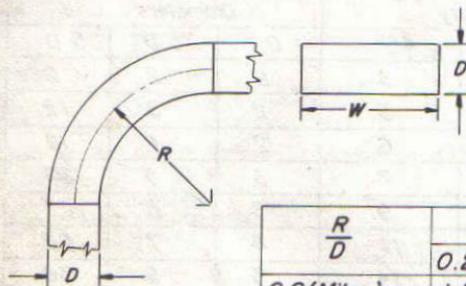


## FACTOR DE PÉRDIDA EN CODOS 90° [16]



<i>R, No. of Diameters</i>	<i>Loss Fraction of VP</i>
2.75 D	0.26
2.50 D	0.22
2.25 D	0.26
2.00 D	0.27
1.75 D	0.32
1.50 D	0.39
1.25 D	0.55

ROUND ELBOWS



*Loss, Fraction of VP*

$\frac{R}{D}$	<i>Aspect Ratio, W/D</i>					
	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
0.0 (Mitre)	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 ELBOWS

ELBOW LOSSES

AMERICAN CONFERENCE OF  
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

DUCTWORK DESIGN DATA

DATE 1-66

Fig. 6-12

# PARAMETROS DE DISEÑO DE FILTROS DE MANGAS [17]

on flow reversal. In the arrangement according to fig. 8.8d, the entire hose is cleaned by pulsating scavenging air.

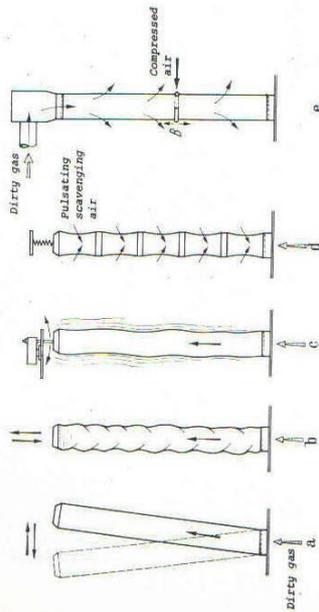


Fig. 8.8. Cleaning procedure.

The nozzle method (fig. 8.8e) does not necessitate a sectional arrangement. Without interruption in operation, local ejection of the dust takes place via the scavenging air leaving the annular nozzles B. The nozzles move in the direction of the hose. Once the dust separation exceeds the limiting burden, the dust falls into the bunker either in or against the direction of flow, depending on the process conditions, the dust left behind undergoing renewed filtration. The problem, which of the above designs to adopt, can only be resolved on the basis of site conditions. Nowadays the sectional hose filter with regeneration by rapping and scavenging air is normally employed.

Regeneration by pulsed scavenging air has been introduced in recent years. Figs. 8.9 and 8.10 illustrate two typical types of filter with different devices for setting-up the pulsating air stream. In the pneumo-filter regeneration is by opening of the switching valve U, the pulsing length is varied by springs. The main advantage of this filter is its high simplicity of design.

The following are guide values for hose filters:

- Contact velocity: 0.5 to 10cm/s averaging say 2.0cm/s
- Capacity: 20 to 360m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> averaging say 70m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>
- Pressure drop: 20 to 150mmWG

Under otherwise identical conditions wool and cotton fall into the upper, chemicals the middle and glass fibre fabric the lower part of the range quoted.

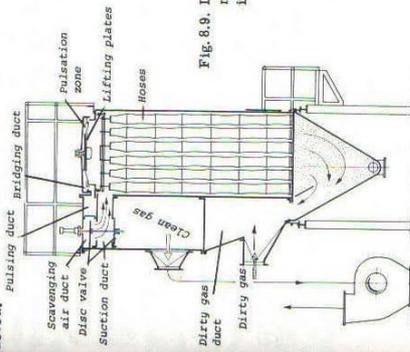


Fig. 8.9. Diagram of lifting-plate filter manufactured by Intensiv-Filterbau, in cleaning position<sup>30)</sup>.

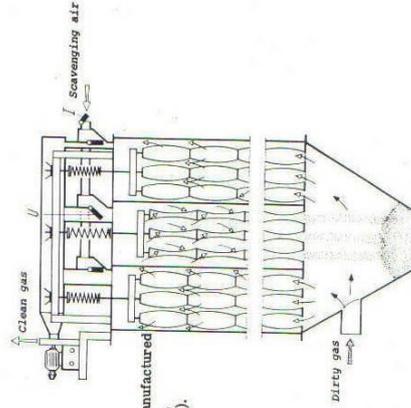


Fig. 8.10. Pneumo-Filter manufactured by J S Fries Sohn, Frankfurt/Main<sup>30)</sup>.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Fabric Dust Collector Systems, HOLCIM-ECUADOR.
2. Avallone Eugene A., Baumeister III Theodore, Marks, Manual del Ingeniero Mecánico, Novena Edición, Tomos I y II, Mc. Graw Hill
3. Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, Norma de Calidad del Aire Ambiente, Libro VI Anexo 4, Ecuador, 2003
4. Manual practico de Ventilación, Catálogo Técnico, Salvador Escoda S.A.
5. Dust Extraction technology, Batel, Wilhelm, Technicopy Limited.
6. Industrial Ventilation, A manual of recommends practice, American Conference of governmental Industrial Hygienists, ACOGIH 14Ed.
7. [www.espiroflex.com](http://www.espiroflex.com)
8. [www.tomadoni.com](http://www.tomadoni.com)
9. [www.cdphe.state.co.us/ap/downloadforms.html](http://www.cdphe.state.co.us/ap/downloadforms.html)
10. J. S. Kinsey, S. Schliesser, P. Murowchick, and C. Cowherd, Development Of Particulate Emission Factors For Uncontrolled Abrasive Blasting Operations, EPA Contract No. 68-D2-0159, Midwest Research Institute, Kansas City, MO, February 1995.

11. Emission Factor Documentation For AP-42 Section 13.2.6, Abrasive Blasting, Final Report, Midwest Research Institute, Cary, NC, September 1997.
12. [www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html](http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html)
13. [www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/](http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/)
14. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)
15. Sources and control of Air Pollution, Robert Jennings Heinsohn, Robert Lynn Kabel, Prentice Hall.
16. [www.osha.gov/SLTC/silicacrystalline/index.html](http://www.osha.gov/SLTC/silicacrystalline/index.html)
17. [www.osha.gov/SLTC/etools/silica/silicosis/silicosis.html](http://www.osha.gov/SLTC/etools/silica/silicosis/silicosis.html)