



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y
RECOLECCIÓN DE PARTÍCULAS DE POLVO, EN UNA EMPRESA DEL SECTOR DE
LA CONSTRUCCIÓN.**

Tutor(es):

Ing. José Velásquez

Lic. Leyda Escalona

Tutor Industrial:

Lic. Nelson Adrián

Elaborado por:

MANRIQUE, Luis

RAFEH, Ruba

Valencia, 19 de Julio del 2010

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se tiene como objetivo general desarrollar una propuesta de un sistema de extracción y recolección de partículas de polvo, en la línea de producción de IMMERC, C.A, empresa dedicada a la manufactura de productos químicos para la construcción. En ella se procesan grandes cantidades de cemento portland y aditivos en forma de polvo seco, los cuales son mezclados con equipos mecánicos como trompillos, esto trae como consecuencia la formación de nubes de polvo, las cuales contaminan el ambiente de trabajo ocasionando daños en la salud de los trabajadores.

En vista de la problemática, se realizaron estudios correspondientes a la determinación de la concentración de partículas de polvo suspendidas en el aire a través de métodos normalizados, así como la medición de la densidad, temperatura de ignición y tamaño de las partículas, con el análisis de estos parámetros físico-químicos, se determinó que la concentración de partículas sobrepasa los niveles establecidos por la norma, por lo que se obtuvo que la solución más acertada al problema es instalar un sistema de extracción y recolección que tenga la capacidad de extraer las partículas de polvo, integrado por: seis (6) campanas de captación en forma de herradura, una campana por cada trompillo y dos (2) campanas para el proceso de llenado de sacos con el uso de bidones; un ciclón para extraer partículas totales suspendidas (PTS), un filtro de mangas con pulsaciones de aire comprimido adecuado para extraer partículas respirables menores a $10\mu m$ (PM10) y un ventilador. Se determinaron los parámetros de diseño más importantes del sistema de extracción y recolección basado en un sistema de extracción localizada y se seleccionó la ductería principal de hierro galvanizado de sección circular para evitar caídas de presión en los tramos y la ductería de la campana tipo Espiro P.U antiestática para mayor flexibilidad. Finalmente se determinó el costo total e implementación del sistema, ajustado al perfil económico de IMMERC C.A., tomando en cuenta que los equipos son de fácil acceso en el mercado.

DEDICATORIA

A Dios creador del mundo,
Él está siempre a nuestro lado

A mis padres Siham Rafeh , Jamal Rafeh

A mis padres Giovannina Martino , Humberto Manrique

Ambos ejemplos de amor y constancia

A nuestros hermanos y amigos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos trabajar juntos para lograr tan importante meta.

A nuestros familiares columna de apoyo.

A la Universidad de Carabobo, forjadora de nuestras profesiones y donde hemos
logrado nuestras metas de estudio

A la Escuela de Ingeniería Química y Mecánica donde nos hemos formado no solo
como persona sino como profesional de esta comunidad con espíritu de lucha y libertad

A nuestros orientadores principales Ing. José Velásquez, Lic. Leyda Escalona,
por su ayuda y dedicación al desarrollo de este proyecto

A nuestro amigo Ing. William Campero por ser motor principal y quien dedicó su tiempo
voluntariamente al desarrollo de este proyecto

A nuestro orientador industrial Lic. Nelson Adrián por su gran apoyo y dedicación para
hacer posible el desarrollo de este proyecto

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

ASTM: American Society of Mechanical Engineers.

CAP: Concentración Ambiental Permisible.

COVENIN: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

LOPCYMAT: Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo.

MESH: Número orificios de una malla por pulgada lineal.

MPS: Materia Particulada Suspendida.

PM10: Material Particulado de $10\ \mu m$.

PTS: Partículas Totales Suspendidas en el Aire.

S.S.O: Ley del Seguro Social Obligatorio.

Ac: Área del conducto de la campana (m^2)

A_{contam}: Superficie de concentración del contaminante (m^2)

A_{ciclón}: Área de la entrada del gas en el ciclón (m^2)

Af: Área de filtrado (m^2)

Ancho: Ancho de la rendija (m)

Ar: Área de la rendija (m^2)

Au: Área de una manga (m^2)

Bc: Ancho de entrada de gas (m)

D_{bt}: Diámetro de la boca del bidón (m)

Dc: Diámetro principal del ciclón (m)

D_{dd}: Diámetro de la ductería de descarga (m)

Ddescarga: Diámetro de la descarga de la chimenea (m)

Do: Diámetro de salida de gas (m)

D2/D1: Relación entre diámetro mayor y diámetro menor de un ensanchamiento (*adim*)

f_{codo}: Fracción de pérdida de carga para el codo (*adim*)

Hc: Altura de entrada de gas (m)

Hchim: Altura de la chimenea respecto al piso (m)

$Hf\emptyset$: Pérdida en presión dinámica por metro de ductería $\left(\frac{mmcda}{m}\right)$

$Hf\emptyset(PDV/m)$: Factor de pérdida de carga en presión dinámica por metro de ductería $\left(\frac{PD}{m}\right)$

$Hplataf$: Altura de la plataforma (m)

Htd : Altura total de descarga de la chimenea (m)

$hcodo - 90^\circ$: Pérdida en un codo de 90° (mmcda)

$hcodo(90^\circ)_{f-g}$: Pérdida por codos de 90° en el tramo $f - g$ (mmcda)

hdc : Pérdida de entrada de la campana (mmcda)

$hdc(PDV)$: Pérdida de la campana en presión dinámica (mmcda)

$hd\emptyset$: Pérdida en la ductería (mmcda)

$h\emptyset(PDV)$: Pérdida en presión dinámica (PDV)

j_c : Diámetro de salida de polvo (m)

L : Longitud de la manga (m)

L_c : Altura del cilindro del ciclón (m)

L_{camp} : Largo de la campana (m)

$Ldescarga$: Longitud de la descarga de la chimenea (m)

$Ld\emptyset$: Longitud de la ductería (m)

L_{j-j^*} : Longitud de la ductería en el tramo $j - j^*$ (m)

$L_{rendija}$: Longitud de la rendija (m)

$N^o mangas$: Número de mangas (adim)

PD_r : Presión dinámica en la rendija (mmcda)

PDV : Presión dinámica (mmcda)

PE_{a-i} : Sumatoria de las pérdidas de carga en la succión del ventilador (mmcda)

PE_{j-j^*} : Sumatoria de las pérdidas de carga en la descarga del ventilador (mmcda)

PEV : Altura de máquina requerida (mmcda)

Q : Caudal de aire en la captura de una campana $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

Q_c : Caudal de aire en el conducto de la campana $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

$Q_{ciclón}$: Caudal de aire en el ciclón $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

Q_f : Caudal de aire que entra al filtro de mangas $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

Q_{f-g} : Caudal de aire total de todas las campanas $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

R/D : Radio de curvatura entre diámetro del conducto (*adim*)

RQ: Relación de caudal $\left(\frac{m^3/s}{m^2}\right)$

S_c : Diferencia entre entrada y salida de gas (*m*)

V_c : Velocidad de aire en el conducto de la campana $\left(\frac{m}{s}\right)$

V_f : Velocidad de filtrado del aire contaminado $\left(\frac{m}{s}\right)$

V_r : Velocidad de aire en la rendija $\left(\frac{m}{s}\right)$

V_t : Velocidad de transporte del aire en el conducto $\left(\frac{m}{s}\right)$

Z_c : Altura del cono del ciclón (*m*)

$\emptyset$: Diámetro de la manga (*m*)

$\emptyset_{a-a'}$: Diámetro del tramo a-a' (*m*)

$\emptyset_c$: Diámetro del conducto de la campana (*m*)

ΔP_c : Pérdidas en el ciclón (*mmcda*)

ρ_{gas} : Densidad del gas $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Introducción.....	1
Capítulo I. El Problema.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.3 Formulación del Problema.....	4
1.3.1 Situación Actual.....	5
1.3.2 Situación Deseada.....	6
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
1.5 Justificación.....	7
1.6 Limitaciones.....	8
1.7 Alcance.....	8
Capítulo II. Marco Teórico Referencial.....	10
2.1 Antecedentes.....	10
2.2 Bases teóricas.....	14
2.2.1 Contaminación del aire.....	14
2.2.2 Calidad del aire.....	14
2.2.3 Concentración ambiental permisible (CAP).....	14
2.2.4 Neumoconiosis.....	15
2.2.5 Salud laboral.....	16
2.2.6 Partículas suspendidas en el aire.....	16
2.2.7 Material particulado.....	16
2.2.7.1 Clasificación del material particulado de acuerdo al área del sistema respiratorio donde se depositan.....	17
2.2.7.2 Mecanismos de control de la contaminación atmosférica.....	18

2.2.8 Equipos para captación de partículas suspendidas en el aire.....	19
2.2.9 Caracterización físico-química de partículas de polvo.....	22
2.2.10 Ventilación.....	22
2.2.10.1 Tipos de ventilación.....	23
2.2.10.2 Ventilación general.....	23
2.2.10.3 Ventilación localizada.....	24
2.2.11 Ventilador.....	25
2.2.11.1 Curvas características de acuerdo al tipo de ventilador	25
2.2.11.2 Clasificación de los ventiladores.....	26
2.2.11.3 Variables de un ventilador.....	32
2.2.12 Campanas de extracción.....	32
2.2.13 Circulación de aire por conductos.....	34
2.2.13.1 Pérdida de carga en tramos rectos.....	34
2.2.13.2 Conductos rectangulares y circulares.....	34
2.2.13.3 Pérdidas por accesorios.....	35
2.2.13.4 Método de presión dinámica.....	36
2.2.14 Depuración del aire.....	36
2.2.14.1 Filtros de aire.....	37
2.2.14.2 Separadores por gravedad.....	42
2.2.14.3 Separadores por fuerza de inercia.....	43
2.2.14.4 Separadores húmedos.....	44
2.2.15.5 Precipitadores electrostáticos.	45
2.2.16 Marco legal.....	46
Capítulo III. Marco Metodológico.....	47
3.1 Tipo de investigación.....	47
3.2 Nivel de la investigación.....	47
3.3 Diseño de la investigación.....	47
3.3.1 Determinación de la concentración de polvo suspendido en el aire del ambiente de trabajo, utilizando métodos normalizados...	48

3.3.1.1 Principio del funcionamiento del muestreador de alto volumen (PM10)	49
3.3.1.2 Principio del funcionamiento del muestreador de alto volumen (PTS).....	49
3.3.2 Caracterización las partículas de polvo de manera físico-química en el ambiente de trabajo.....	52
3.3.2.1 Tamaño de las partículas.....	53
3.3.2.2 Punto de ignición.....	54
3.3.2.2 Densidad relativa.....	55
3.3.3 Generación de propuestas tecnológicas para la solución de la extracción y recolección de polvo.....	55
3.3.4 Diseño del sistema de extracción y recolección de polvo de la propuesta seleccionada.....	56
3.3.5 Estimación del costo de implementación del sistema de extracción y recolección de polvo diseñado.....	57
Capítulo IV. Desarrollo de la Investigación.....	58
4.1 Determinación de la concentración de polvo suspendido en el aire.	58
4.2 Caracterización de las partículas de polvo de manera físico-química.....	59
4.3 Generación de propuestas y selección del sistema de extracción y recolección.....	60
4.4 Diseño del sistema de extracción y recolección de polvo.....	66
4.4.1 Campanas recolectoras de contaminantes.....	66
4.4.2 Ductos.....	72
4.4.3 Diseño del ciclón.....	76
4.4.4 Diseño del filtro de mangas.....	80
4.4.5 Ventilador.....	82
4.4.6 Recolección.....	97
4.5 Tapa para el trompillo y el bidón.....	97
4.6 Costo de implementación del sistema.....	98

Conclusiones.....	102
Recomendaciones.....	104
Referencias bibliográficas.....	105
Apéndice A: Planos.....	109
Apéndice B: Mediciones, equipos y modelos matemáticos experimentales.....	123
Anexos.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Deposito de las partículas según su tamaño.....	17
Figura 2.2 Caseta del muestreador de alto volumen (PTS).....	20
Figura 2.3 Equipo con controlador de flujo másico (PM10).....	21
Figura 2.4 Equipo con controlador de flujo volumétrico (PM10).....	21
Figura 2.5 Trayectoria del flujo de aire en una ventilación localizada....	25
Figura 2.6 Curvas características de los tipos de ventiladores.....	26
Figura 2.7 Rodetes para ventiladores centrífugos.....	27
Figura 2.8 Rodete de un ventilador helicoidal.....	29
Figura 2.9 Corte de un ventilador de baja presión.....	30
Figura 2.10 Elementos de un colector de polvos pulse jet.....	40
Figura 2.11 Esquema de un ciclón.....	44
Figura 4.1 Trompillos 1 y 2 en funcionamiento ubicados en el galpón de IMMERC C.A.....	60
Figura 4.2 Extractor ubicado en la zona de mezclado en seco de IMMERC C.A.....	61
Figura 4.3 Esquema del sistema de extracción propuesto 1.....	62
Figura 4.4 Esquema del sistema de extracción propuesto 2.....	63
Figura 4.5 Esquema del sistema de extracción propuesto 3.....	63
Figura 4.6 Trompillo en funcionamiento en el galpón de IMMERC C.A.	67
Figura 4.7 Bidón de la mezcla en seco para el llenado de sacos.....	68
Figura 4.8 Portón de entrada al galpón N° 9 de IMMERC C.A.....	69
Figura 4.9 Dimensiones del diseño de un ciclón.....	78
Figura 4.10 Vistas frontal y lateral del colector de filtro de mangas para determinar sus dimensiones.....	82
Figura 4.11 Vista lateral de la tapa para los trompillos 1 y 2.....	98
Figura 4.12 Vista superior de la tapa para los trompillos y bidones.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Clasificación de zonas de acuerdo con los intervalos de concentraciones de partículas totales suspendidas (PTS).....	15
Tabla 2.2 Valores de concentración ambiental permisible.....	15
Tabla 2.3 Tamaño de los tamices para medir granulometría.....	22
Tabla 2.4 Velocidad de captación y velocidad en el conducto del aire...	33
Tabla 2.5 Tabla de valores recomendados para espesores de conductos.....	35
Tabla 2.6 Tamaño de partículas.....	37
Tabla 2.7 Polvo de la calle.....	37
Tabla 2.8 Características importantes de los tipos de filtros.....	39
Tabla 4.1 Medidas de la boca de los trompillos y el bidón.....	67
Tabla 4.2 Parámetros obtenidos para la ductería principal.....	73
Tabla 4.3 Características de las ducterías.....	74
Tabla 4.4 Cálculos de pérdidas por tramo en el camino crítico $\alpha' - j'$...	95
Tabla 4.5 Costo de la Campana.....	99
Tabla 4.6 Costo del ciclón.....	99
Tabla 4.7 Costo del filtro de mangas.....	99
Tabla 4.8 Costo de la estructura de soporte del ciclón, colector de mangas y ventilador.....	100
Tabla 4.9 Costo de la ductería.....	100
Tabla 4.10 Costo de accesorios para la ductería.....	100
Tabla 4.11 Costo de mecanismo de deslizamiento unidireccional para la campana.....	101

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se pretende desarrollar una tecnología ajustada al proceso de producción de cemento y aditivos en la empresa IMMERC C.A, caracterizada por un sistema de fácil uso para la extracción y recolección de partículas de cemento que permite limpiar el ambiente de impurezas que puedan ocasionar daños en la salud de los trabajadores.

La contaminación se ha venido incrementando con a la producción de las diferentes mezclas en seco que se elaboran diariamente y de acuerdo a la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT), se tiene un límite máximo permisible de contaminantes en el aire del ambiente de trabajo, por lo que se debe implementar un plan para la solución de este problema y poder ser pioneros al condicionar a otras empresas dedicadas a este tipo de trabajos, que se encuentran incumpliendo las normas actualmente en lo que respecta a material particulado.

Este trabajo está compuesto por cuatro capítulos, el primer capítulo es el problema, donde se especifica el motivo por el cual se realiza este trabajo, demostrando la problemática principal y el análisis de la situación actual respecto a los niveles de polvo en el ambiente de trabajo, el segundo capítulo es el marco teórico, donde se especifican las referencias teóricas que permiten el desarrollo más amplio del tema, el tercer capítulo es el marco metodológico donde se describen los pasos a utilizar para el logro de los objetivos planteados, el cuarto capítulo es el desarrollo de la investigación, donde se realizan esquemáticamente y detalladamente los pasos para cumplir con los objetivos planteados, se determinó el grado de contaminación existente, así como el análisis físico-químico de las partículas de polvo, se seleccionaron cada uno de los equipos que en conjunto conforman el sistema más adecuado para la extracción y recolección del cemento, obteniendo las especificaciones del sistema y posteriormente se obtiene el costo de la fabricación, suministro e instalación del sistema utilizando los parámetros obtenidos en el diseño, abordando una solución inmediata a

las necesidades de la empresa IMMERC C.A., y quedando a su criterio la implementación del mismo. Finalmente se presentan brevemente las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo de la investigación.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

A continuación se presentan todos los aspectos relacionados con el problema a tratar y desarrollar a lo largo de este trabajo de grado.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la industria moderna, actualmente, se muestra con mucho interés la invención de nuevos tipos de productos epóxicos y cementosos. En IMMERC, C.A se implementan estas nuevas tecnologías, lo cual ha tenido como objetivo medir la repercusión de la exposición en el ambiente de trabajo relacionado con la salud ocupacional de los trabajadores, ya que éstos, de forma continua, en la línea de producción mezclan productos y a su vez manipulan sólidos para la imprimación del concreto o nuevo aditivo, los cuales contienen partículas suspendidas en el aire muy pequeñas y que en volúmenes de alta producción, al realizar los procesos de mezclados en seco correspondientes, se empaquetan en sacos, observándose gran cantidad de polvo en el ambiente laboral de los operadores.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

La empresa IMMERC, C.A. Registrada en la circunscripción judicial del Estado Carabobo, está ubicada en la zona industrial de la ciudad de Valencia, 8^{va} Transversal, centro industrial Carabobo, Galpón N° 9.

Es una empresa de capital nacional fundada en 1989, se destaca en la producción, manufactura y comercialización de productos especiales destinados a la construcción, provenientes de resinas epóxicas y cementosas con la utilización de diversos solventes para obtener productos utilizados como; recubrimientos, antiresbalantes, anticorrosivos, aislantes, curadores de concreto, aditivos, anclajes y adhesivos e impermeabilizantes, los cuales tienen una amplia gama de usos en la rama



de la construcción, la industria marítima, la industria petroquímica y la industria alimenticia, de fabricación nacional con calidad de exportación.

Para disminuir el porcentaje de accidentes y enfermedades ocupacionales en el ambiente de trabajo, surge la necesidad de aplicar medidas preventivas y sanciones por parte del Ministerio para el Poder Popular del Trabajo y Seguridad Social (MINTRA), a través de la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT), la cual deben cumplir las empresas venezolanas. La gran concentración de polvo, afecta a los operarios, por consiguiente la contaminación del ambiente de trabajo, surgiendo como necesidad disminuir riesgos a través del control y prevención de enfermedades ocupacionales, a corto y a largo plazo.

En IMMERC, C.A se plantea controlar la cantidad de partículas suspendidas cuya inhalación en el ambiente de trabajo, traen consecuencias perjudiciales para la salud del personal y de las personas que allí se encuentran en contacto con dichas partículas de polvo, en un turno laboral de ocho horas diarias.

La medición de estas partículas sólidas suspendidas, arrojaran resultados según su tamaño, caracterización y método aplicado, los cuales determinan la selección del proceso para que éstas puedan ser recuperadas mediante el diseño de un sistema de extracción, instalado en un galpón de aproximadamente 500 m², por lo que será necesario el desarrollo de una propuesta de extracción y recolección en la línea de producción de la misma.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

La empresa privada en la que se desarrolla la investigación IMMERC, C.A; requiere promover la utilización de medidas preventivas y control de accidentes laborales, que motivan a las empresas privadas y públicas en general, a invertir en la aplicación y respectivo cumplimiento de las normas, esto se desarrolla con la finalidad de evitar la contaminación del medio ambiente y del espacio físico que ocupan los



trabajadores, generando así una inversión a largo plazo, obteniendo como resultado la prevención del deterioro de la salud de sus trabajadores y disminución de sanciones que generan grandes gastos, esto sin contar, en el peor de los casos, con la imposibilidad de seguir operando la empresa.

1.3.1 SITUACIÓN ACTUAL.

Esta empresa (IMMERC, C.A), requiere de un mecanismo o sistema de extracción y control ambiental bajo estrictas medidas en el sitio de trabajo, que genere una mejor condición de permanencia aunada al mayor rendimiento de los trabajadores, con la posibilidad de incorporar nuevas formulaciones de resinas bajo estas medidas de seguridad ambientales y ocupacionales, posibilitando el aumento de la producción, disminuyendo los costos y haciendo más competitivo el producto en el mercado; con el apego de las normas pertinentes, sin tener que incurrir en sanciones, que vayan en detrimento de el beneficio y la estabilidad económica de la misma, dando la debida importancia a la protección de sus trabajadores, contribuyendo notablemente a la disminución de accidentes y enfermedades laborales por falta de prevención e inversión.

Actualmente en IMMERC, C.A, se están implementando las medidas necesarias para que los trabajadores ejerzan sus actividades en un ambiente de trabajo adecuado, y se desarrollan proyectos que se aplicarán inmediatamente con el fin de adecuarse a las leyes y las normas que exige nuestra república.

De acuerdo a lo planteado anteriormente se estudia el ambiente de trabajo actual obteniéndose que, en el interior del galpón se encuentra un equipo de extracción ubicado de forma incorrecta por lo que no cumple su función, en vista de esta situación la empresa acude a la realización de un estudio para el diseño ingenieril de un nuevo sistema que cumpla con las normas planteadas y sea de aplicabilidad inmediata para la empresa.



1.3.2 SITUACIÓN DESEADA.

El plan de factibilidad económica y la viabilidad de la instalación de un sistema de extracción, es una manera de fundamentar la aplicabilidad del sistema para darle más importancia al cumplimiento de normas de seguridad e higiene industrial, con el objeto de disminuir gastos generados por accidentes y enfermedades laborales. IMMERC C.A requiere disponer de un análisis de la situación actual y llevarlo a un estudio que proponga una alternativa para instalar un sistema que se debe incorporar en el galpón de mezclado de polvos en seco. Para el desarrollo de esta alternativa, es necesario determinar el sistema de extracción de polvos suspendidos en el aire más apropiado, según los resultados que se determinen con las caracterizaciones, las mediciones físicas de las partículas y del estudio de los materiales acordes; para que de esta manera se obtenga una mejor eficiencia en base a los requerimientos y disponibilidades de la empresa.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar una propuesta de un sistema de extracción y recolección de partículas de polvo, en la línea de producción de IMMERC, C.A.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Determinar la concentración de polvo suspendido en el ambiente de trabajo, usando métodos normalizados.
2. Caracterizar las partículas de polvo de manera físico-química en el ambiente de trabajo.
3. Generar propuestas tecnológicas para la solución de la extracción y recolección de polvo.
4. Diseñar el sistema de extracción y recolección de polvo de la propuesta seleccionada.



5. Estimar el costo de implementación del sistema de extracción y recolección de polvo diseñado.

1.5 JUSTIFICACIÓN.

La higiene y seguridad industrial se inició en Venezuela, con la formulación de la Ley de Minas en 1909. Para el año 1944, se crea la Ley del Seguro Social Obligatorio (S.S.O), la cual establecía para ese momento, la protección del trabajador asegurado en cuanto a enfermedad, maternidad, accidente laboral, enfermedades profesionales, vejez, invalidez y muerte; posteriormente en el año 1974 se pone en vigencia el decreto número 46 (2195), el cual se conoció como el Reglamento de Prevención de Incendios. Por otra parte, en el mismo período anterior, la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) prosigue su intensa labor de estandarización de normas en materia de seguridad.

A pesar del desarrollo que tuvo la seguridad a nivel nacional no es sino hasta Julio del 2005, cuando se promulga la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT), la cual unifica criterios respecto a las leyes y reglamentos anteriormente nombrados y se aplica en la actualidad, en el orden de las grandes y medianas empresas. La entrada en vigencia de la LOPCYMAT; exige garantizar, promover y proteger a los trabajadores el bienestar físico, mental y social, así como prevenir toda causa que pueda ocasionar un daño a la salud de los trabajadores, ofreciéndoles un ambiente de trabajo digno, adecuado a sus actitudes y sus capacidades.

Actualmente en Venezuela se fomenta el auge de la protección a los trabajadores de las grandes y medianas empresas, ya que trae beneficios a corto y a largo plazo en el desarrollo socio-económico del país.

Los beneficios proporcionados por esta investigación son básicamente tangibles, basados en la salud ocupacional de los trabajadores y creando soluciones inmediatas al



problema planteado, representa significativamente el diseño de un sistema que soluciona problemas de forma inmediata a todas aquellas empresas que utilicen productos a base de resinas y cementos, se hace indispensable y necesario hoy en día cuando las máquinas y mucho más aun, líneas de producción no tienen adaptado un sistema de extracción eficiente y efectivo, ya que es imprescindible para el bienestar y seguridad de los trabajadores, protegiéndoles de afecciones y problemas severos de salud, incrementando la calidad de la seguridad industrial con la instalación y puesta en marcha del mismo, escapando de complicaciones sanitarias colectivas y mejorando el ambiente de trabajo, lo cual beneficia la calidad de vida de los operarios. Metodológicamente, sirve de orientación a futuros investigadores, interesados en el desarrollo de tecnologías en el ámbito técnico-empresarial, también como herramienta útil y complementaria para un mejor sistema de aprovechamiento productivo, utilizando como marco de referencia el cumplimiento riguroso de las normas vigentes en nuestro país.

1.6 LIMITACIONES.

Para esta investigación, se tienen una amplia gama de productos mezclados en seco por lo que los componentes utilizados para la fabricación que deben suministrarse son restringidos por el personal del laboratorio de calidad ya que éstos son de uso confidencial para la tecnología a aplicar en cuanto al producto de fabricación que se vende al consumidor. De esta manera se tiene también la falta de información de estudios en cuanto a caracterizaciones, muestreos y estadísticas; realizados por IMMERC C.A, para obtener aportes precisos y necesarios, en el desarrollo sistemático de los objetivos planteados.

1.7 ALCANCE.

Con este trabajo se pretende desarrollar una propuesta de un sistema de extracción y recolección de partículas de polvo suspendidas en el aire, por el método más apropiado, entre ellos se tienen método de extracción por vía húmeda, mangas de extracción, ciclones, entre otros; esto dependerá de la selección de la



tecnología, la cual se basa en criterios determinantes para su escogencia. Será diseñada en base a los estudios realizados por los laboratorios, respecto a cantidad de partículas de polvo y criterios físico-químicos como tamaño, punto de ignición y densidad de dichas partículas.

Se pretende llegar al diseño detallado de la tecnología seleccionada de manera que IMMERC C.A, pueda dar solución inmediata al problema planteado, para prevenir a largo plazo los riesgos asociados a la inhalación de partículas de polvo de cemento y agregados en el galpón de mezclado en seco.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

A continuación se presentan los antecedentes y el marco teórico referencial para el desarrollo de esta investigación.

2.1 ANTECEDENTES.

La finalidad de esta sección es recopilar antecedentes que permitan instruirse acerca de la extracción de partículas suspendidas y nuevas tecnologías aplicadas para ese fin. Así se pretende dar a conocer, la importancia que tiene desarrollar efectivamente este proyecto.

A continuación se presentan algunos trabajos realizados que guardan relación con el tema a desarrollar:

Tovar, A. y Viera, J. (2008), desarrollaron una investigación basada en la evaluación de las condiciones atmosféricas en el Laboratorio de Pavimentos, Laboratorio de Materiales y Ensayos, y zonas adyacentes a éstos, de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo. En este trabajo se realizó la evaluación de las condiciones atmosféricas en el Laboratorio de Pavimentos, Laboratorio de Materiales y Ensayos, y zonas adyacentes a éstos, de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo, donde se determinaron los niveles de polvo suspendidos y compuestos químicos en el aire, que afectan la salud de las personas que frecuentan en dichas áreas, posteriormente compararon con lo establecido en la norma COVENIN y LOPCYMAT. Como conclusión luego de haber determinado las concentraciones de cada contaminante, evaluado durante una jornada de 8 horas y haber comparado con la norma, se obtuvo que en ninguno de los casos ni siquiera se llega al límite establecido, en ninguno de los casos estos contaminantes constituyen un riesgo para la salud, por lo cual los sitios están acordes para transitar y realizar las prácticas.



Este antecedente es de gran importancia como guía para el manejo de las normas COVENIN y LOPCYMAT; y tiene una similitud en el proceso de medición de partículas suspendidas, a través de un equipo de captación de muestras y su estudio; además se realizan mediciones en varios laboratorios de ambientes cerrados con el personal expuesto a las partículas por 8 horas diarias. Como diferencia básica se tiene que en este antecedente no se plantea diseñar un sistema para la extracción de partículas suspendidas ya que no lo amerita.

Arcas, J. y Ortiz, Z. (2005), desarrollaron una investigación basada en un diseño de un sistema de extracción y transporte de viruta de aluminio en los procesos de laminación y corte; donde plantean diseñar un sistema de extracción y transporte de virutas que se van generando durante el proceso de laminación y corte, tomando en cuenta el tipo de producto a extraer, dimensión y tipo de ventilador. Como resultado final se obtuvo que los caudales de virutas de aluminio en el área de laminación y corte son muy bajos en relación con los valores que se manejan en los transportes evaluados.

Este antecedente presenta una similitud con esta investigación, ya que en el proceso de análisis de las partículas suspendidas en el aire, se debe ajustar a la concentración y el tamaño de las partículas de polvo. La diferencia básica es que este trabajo no persigue como objetivo el transporte de dichas partículas, si no únicamente su extracción y recolección.

Palmerola, N. (2002), realizó una valorización de cenizas volátiles para síntesis de zeolitas mediante extracción de sílice y conversión directa. Aplicaciones ambientales. En este trabajo se tiene como objetivo general valorizar las cenizas volátiles para síntesis de zeolitas mediante extracción de sílice y conversión directa. Como resultado final se obtuvo que hay un elevado contenido de sílice en las cenizas volantes, las cuales fueron utilizadas para la síntesis de zeolita y también utilizada para productos como cementos.



La similitud que tiene este antecedente se refiere a la utilización de la norma ASTM C618-92a, la cual permite distinguir el porcentaje regulado de carbono y metales presentes en los volátiles, además la caracterización física de los volátiles para determinar el análisis de humedad, pérdida por calcinación, densidad, porosidad y tamaño del grano. Una diferencia, es que se analizan partículas suspendidas en el aire con altos porcentajes de carbono, lo cual es desproporcional con los porcentajes de carbono que poseen las partículas de polvo de cemento portland y aditivos de mezcla seca a extraer.

Seba, J. D. y Urquía, R. (2002), desarrollaron el diseño de un sistema de extracción y recolección de partículas de polvos en suspensión en la zona de prensa y secado en una industria de cerámica. En este trabajo se pretende diseñar un sistema de extracción y recolección de partículas de polvos en suspensión en la zona de prensa y secado en una industria de cerámica, donde se obtuvo como resultado la selección de un equipo recolector de partículas de tipo mangas, ya que este cumple a cabalidad con el tipo de material manejado y tamaño de la partícula, además permite la redistribución del material recolectado para luego devolverlo al sistema, y así producir un ahorro de material a diferencia del colector húmedo que produciría una pasta que no puede ser reutilizada.

En similitud con esta investigación, se tiene como referencia el sistema de recolección por mangas, se analiza que con el uso de colectores húmedos se pueden formar pastas, lo cual no favorece la extracción y recolección de las partículas suspendidas en el aire. Una diferencia de gran importancia es que este antecedente es aplicado a materiales cerámicos, los cuales poseen propiedades físicas y químicas diferentes a las del cemento y sus agregados.

Gamboa, N. y García, M. (2001), realizaron la evaluación de la concentración de partículas menores o iguales a diez micrones (PM_{10}), suspendidas en el aire y su contenido de hierro y plomo en dos zonas de la ciudad de Valencia, que tiene como finalidad evaluar la calidad del aire respecto a la concentración de partículas

suspendidas menores o iguales a diez micrones (PM10) y su contenido de hierro y plomo en dos zonas de la ciudad de Valencia, durante las dos épocas meteorológicas del año. En relación a las partículas suspendidas en el aire menor o iguales a 10 μm (PM10), para la época de sequía se obtuvo la media geométrica más alta en la zona Carmen Sur y la más baja en La Candelaria, para la época de lluvia la media geométrica más alta correspondió a La Candelaria y la más baja se obtuvo en la zona Carmen Sur. Con relación al contenido de los metales hierro y plomo, para la época de sequía, la zona Carmen Sur presentó la media geométrica más elevada. En la época de lluvia la zona La Candelaria presentó la media geométrica más alta para plomo y hierro.

La similitud es que esta investigación utiliza el mismo equipo de monitoreo para la medición de la concentración de las partículas suspendidas en el aire menor o igual a PM10, de acuerdo a su tamaño. La diferencia básica es que en este antecedente la medición de partículas se hace en diferentes zonas atmosféricas al aire libre y en este trabajo se deben realizar las mediciones en una misma condición atmosférica en un galpón parcialmente cerrado.

Sánchez, L. y Zamora, V. (1999), realizaron el diseño de un sistema de extracción, recolección, compactación y empaque de fibras sintéticas. El objetivo primordial del trabajo fue diseñar un sistema que permita mejorar los niveles de producción haciendo el proceso continuo y disminuyendo los niveles de contaminación en el ambiente de trabajo. Como resultado se obtuvo que se seleccionó como sistema de recolección, una unidad de filtro de mangas, debido a la baja densidad de la fibra, para garantizar una eficiencia de recolección de alrededor de un 99%.

La similitud respecto al análisis de ambos trabajos es que, se busca disminuir el riesgo de la salud de los trabajadores, para minimizar los costos por enfermedades laborales y por ende cumplir con las normativas. La diferencia es que en este antecedente el producto recolectado se compacta por su condición física llevándolo a un 60% menos en su volumen y en esta investigación no se propone el proceso de



compactación de las partículas suspendidas por las condiciones y disponibilidad de la empresa.

2.2 BASES TEÓRICAS.

2.2.1 Contaminación del aire.

Según la legislación venezolana en el decreto N° 638 (1995) sobre la calidad del aire y control de la contaminación atmosférica, la contaminación del aire se define como: “Cualquier sustancia presente en el aire que por su naturaleza, es capaz de modificar los constituyentes naturales de la atmósfera, pudiendo alterar sus propiedades físicas o químicas y cuya concentración y periodo de permanencia en la atmósfera pueda originar efectos nocivos sobre la salud y el ambiente en general”.

2.2.2 Calidad del aire.

Según Yassi A. y colaboradores (2002), se define como el valor representativo de los niveles de contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud, dentro de una región o ambiente determinado. El grado de contaminación en el ambiente, ya sea abierto o cerrado (de acuerdo al ambiente de trabajo), es el responsable de múltiples problemas de variada naturaleza, que pueden ir desde una simple fatiga o incomodidad, hasta síntomas adversos como alergias, dificultades respiratorias, infecciones, cáncer, entre otras.

2.2.3 Concentración ambiental permisible (CAP).

Es la concentración promedio ponderada en el tiempo, de sustancias químicas a las que se cree que pueden estar expuestos los trabajadores, repetidamente durante 8 horas diarias y 40 horas semanales, sin sufrir daños adversos a su salud.

El aire según el grado de limpieza que posee, se puede dividir de acuerdo a la concentración de partículas totales suspendidas (PTS) así como se observa en la tabla

2.1 y para el caso de los contaminantes evaluados en este estudio, la CAP está especificada en la Norma Venezolana COVENIN 2253-2001 (ver tabla 2.2).

Tabla 2.1 Clasificación de zonas de acuerdo con los intervalos de concentraciones de partículas totales suspendidas (PTS) (Decreto 638 Art. 5, 1995).

Partículas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Zona
<75	Aire limpio
75-200	Aire moderadamente contaminado
201-300	Aire altamente contaminado
>300	Aire muy contaminado

Tabla 2.2 Valores de concentración ambiental permisible (COVENIN, 2253:2001).

Sustancias	CAP (mg/m^3)
Cemento Portland	10 (1)
Estearatos	10 (A4)
Partículas insolubles inhalables	10 (1) (3)
Partículas insolubles respirables	3 (1) (4)

(1) El valor es particulado inhalable (total) tomando en cuenta que no contiene asbesto y posee menos del 1% de sílice cristalina.

(3) Fracción inhalable.

(4) Este valor es para fracción respirable.

(A4) No clasificado como cancerígeno en seres humanos.

2.2.4 Neumoconiosis.

Según Yassi A. y colaboradores (2002), es una enfermedad pulmonar causada por inhalación de polvo y su reacción correspondiente, la cual varía según el contaminante que la origina. La inhalación constante de partículas con diámetros menores a 10 micras, como el caso del polvo de cemento o de agregado fino para concreto, pueden desencadenar esta enfermedad en el organismo.

2.2.5 Salud laboral.

En el ámbito de la prevención de riesgos laborales, se entiende por salud laboral a aquella que está estrechamente relacionada a las condiciones ambientales, físicas y psicológicas de los lugares de trabajo y el estado de salud corporal y mental de los trabajadores que laboran en los mismos, estando los entes patronales en la obligación de garantizar la adecuada implementación de las normas, que a este fin se dictan en las anteriormente nombradas y los reglamentos de seguridad laboral. En Venezuela, la LOPCYMAT es referencia obligada a la hora de evaluar el ambiente de trabajo y su adecuada condición para albergar a los trabajadores u otros individuos que, por actividad laboral y/o académica, deban frecuentar determinados sitios.

2.2.6 Partículas suspendidas en el aire.

Uno de los principales agentes determinantes de la calidad del aire son las partículas sólidas suspendidas, comúnmente denominadas PTS. Dentro de las PTS se encuentran las partículas menores o iguales a $10\ \mu m$ (PM10) y las menores a $2,5\ \mu m$ (PM2,5). La atención sobre PTS, se ha concentrado principalmente en las partículas PM10 que pueden ser inhaladas y penetrar con facilidad al sistema respiratorio humano, causando efectos adversos a la salud de las personas. Es así como, la Norma Venezolana de calidad del aire para partículas totales suspendidas (PTS) y para partículas respirables menores a PM10, establece un límite máximo de material particulado de cemento portland y estearato de calcio; (ver tabla 2.2), valores establecidos como concentración ambiental permisible (CAP) promedio de acuerdo a las horas de trabajo. (Artículo SESMA, 1999 y COVENIN 2253:2001).

2.2.7 Material particulado.

Yassi, A. y colaboradores (2002), definen el material particulado (PM) como un término genérico empleado para designar a un amplio espectro de sustancias químicas en el aire, que existen como aerosoles o partículas discretas (gotas líquidas o sólidas), en una gran variedad de tamaños.

2.2.7.1 Clasificación del material particulado de acuerdo al área del sistema respiratorio donde se depositan.

Previamente se deben conocer las áreas del sistema respiratorio donde se puede depositar el material particulado. El sistema respiratorio se puede dividir en dos sistemas: las vías aéreas superiores y las vías aéreas inferiores. Las vías superiores incluyen la nariz, pasajes nasales, boca y faringe hasta las cuerdas vocales en la laringe (caja de voz o “manzana de Adán”). La vía inferior empieza en las cuerdas vocales, se extiende hasta la tráquea y continúa hacia abajo hasta los pequeños sacos de aire, (alvéolos) al final de cada rama del árbol bronquial. El árbol bronquial incluye la tráquea, el bronco (ramas de la tráquea que van a cada lóbulo del pulmón), y los bronquiolos (ramas de los bronquios). (Ver figura 2.1)

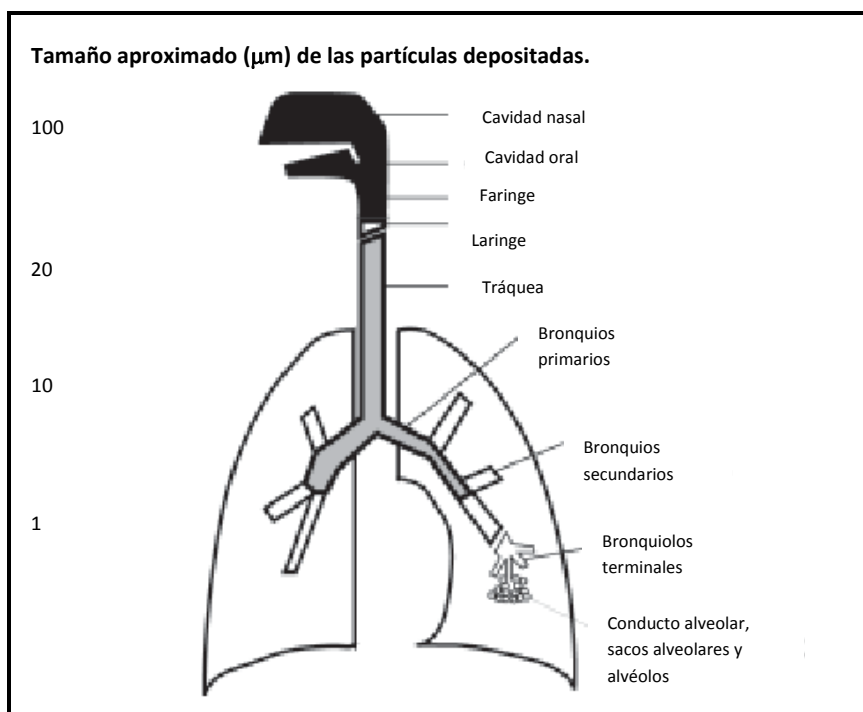


Figura 2.1. Depósito de las partículas según su tamaño (Yassi, 2002).

El organismo humano retiene mayor tiempo las partículas más largas y finas, que las partículas de forma más redondeada. Las fibras son removidas de los pulmones con mayor dificultad por medio de los mecanismos naturales de protección (Yassi, 2002).



El material particulado de acuerdo al área del sistema respiratorio donde se deposita se clasifica de la siguiente manera:

- **Material particulado inhalable:** es para la mayoría de los materiales que son peligrosos cuando se depositan en cualquier parte del tracto respiratorio. Incluyen las partículas menores de $50\ \mu m$ de diámetro.
- **Material particulado torácico:** se asigna a materiales que son peligrosos cuando se depositan en cualquier parte dentro de los pasos de aire del pulmón y la región de intercambio de gas (vías aéreas más bajas). Incluyen aquellas partículas de diámetro inferior a $20\ \mu m$.
- **Material particulado respirable:** es para los materiales particulados que son suficientemente pequeños para alcanzar la región de intercambio de gas y son peligrosos únicamente si se depositan en esa región. En la práctica, la mayor penetración y retención de partículas ocurre en el rango de 10 a $0,1\ \mu m$ de diámetro. (Wark, 1998).

2.2.7.2 Mecanismos de control de la contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica no puede ser eliminada totalmente, ya que casi todas las actividades que realiza el hombre, producen algo de contaminación. Por tanto, lo que sí se puede hacer, es reducir los niveles de contaminación a un nivel aceptable. Por esto hay que controlarla a través de las fuentes que la producen, ya que una vez que los contaminantes han pasado al ambiente, resulta casi imposible controlar su efecto. Entre las diferentes formas de control de emisión de contaminantes, se tienen:

- Control de las fuentes antropogénicas mediante algún mecanismo para lograr que las emisiones no vayan cargadas de contaminantes. Se debe exigir equipos y dispositivos especiales que eviten la salida de contaminantes a la atmósfera, y por ello se debe evaluar continuamente el grado de contaminación en ciertas áreas.

- Plantear estrategias para lograr que los individuos acepten responsabilidades de proteger el ambiente, dando a conocer como las actividades humanas afectan al medio y el costo de recuperar los daños producidos. Las externalidades se definen como el daño que puede causar un usuario de los recursos naturales a otro que no tiene formas de obtener compensación, o inclusive ni siquiera es consciente que está siendo perjudicado.
- Establecer límites de descargas de contaminantes a la atmósfera, de acuerdo a las actividades de un área determinada. Luego hay que establecer multas de violación de las normas y los mecanismos para hacerlas efectivas y cobrarlas. Estos aspectos son los componentes típicos de una política para el control de la contaminación. Tales sistemas de autocontrol son posibles sólo si las víctimas de la contaminación constituyen la mayoría en el grupo de productores-consumidores (contaminadores) y estos sean afectados directamente por las decisiones de la población total (Solow, 1987).

2.2.8 Equipos para captación de partículas suspendidas en el aire.

Entre los equipos de captación más comunes estandarizados a los lineamientos establecidos por la norma COVENIN, se tienen los siguientes:

➤ **Muestreador de alto volumen (High Volumen Sampler, HVS).**

Este muestreador se utiliza para la determinación de la concentración de partículas totales suspendidas (PTS), este método es aplicable para determinar la concentración de partículas suspendidas con diámetros aerodinámicos menores que $60 \mu m$ cuando el muestreador opera a un rango de flujo comprendido entre 1,1 y $1,7 m^3/min$ a $1 atm$ y $25 ^\circ C$. Consta básicamente de un motor-aspirador, un marco sujetador del filtro, un medidor de flujo y un controlador de tiempo. Todo esto se halla cubierto con un techo de protección, tal y como se muestra en la figura 2.2, adicionalmente a esto, el muestreador posee un regulador de voltaje, el cual trabaja en un rango que garantiza que el flujo de aire succionado se encuentre dentro de lo preestablecido.

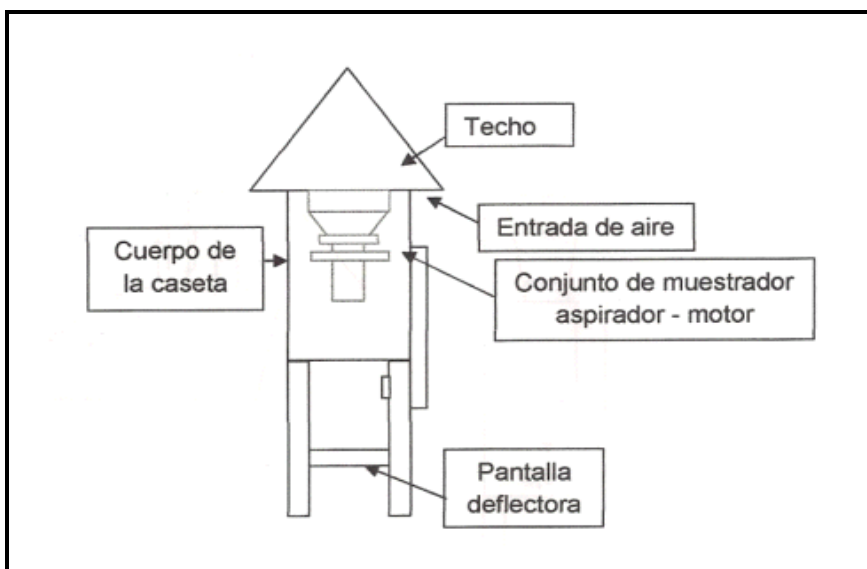


Figura 2.2 Caseta del muestreador de alto volumen (PTS).

➤ **Muestreador de alto volumen PM10.**

Este muestreador se utiliza para la determinación de la materia particulada suspendida en la atmósfera (MPS) con diámetros aerodinámicos menores o iguales a $10 \mu m$ (PM10), sobre un período de muestreo de 24 horas y un volumen de aire muestreado corregido a 1 atm y 25 °C. Las partes de este equipo están comprendidas por una cámara de impactación, un dispositivo de control de flujo másico o volumétrico, medio filtrante, indicador de tiempo, un aspirador de aire y un controlador de voltaje. En la figura 2.3, se muestran las partes del equipo de captación de control de flujo másico, además de la dirección y sentido del flujo de aire con material particulado que se absorbe en el sistema.

En la figura 2.4, se muestra un equipo de captación con las mismas partes de la figura 2.3, con la única diferencia de que además, tiene un controlador de flujo volumétrico en forma de tubo pitot, el cual permite mantener el flujo volumétrico constante. Este último equipo que incluye el dispositivo controlador de flujo volumétrico, tiene como desventaja el límite del caudal de entrada según las especificaciones que prevea el fabricante, es decir, no soporta cambios bruscos de caudal, ya que se puede obstruir el paso del flujo de aire por el material particulado.

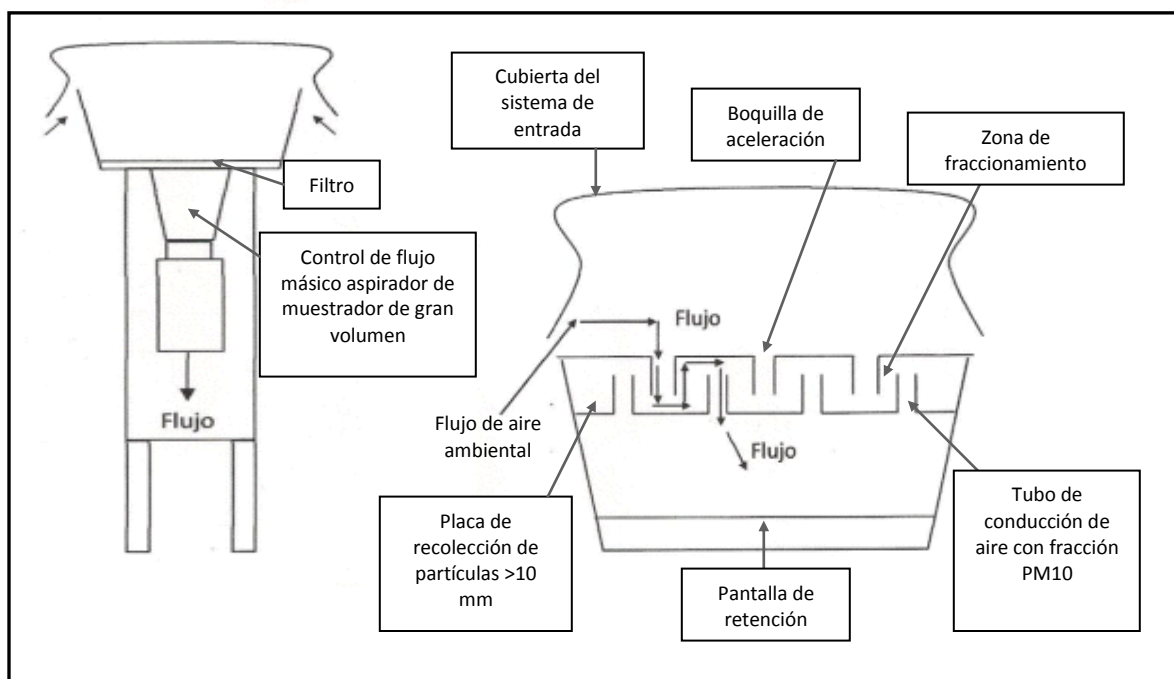


Figura 2.3 Equipo con controlador de flujo másico (PM10).

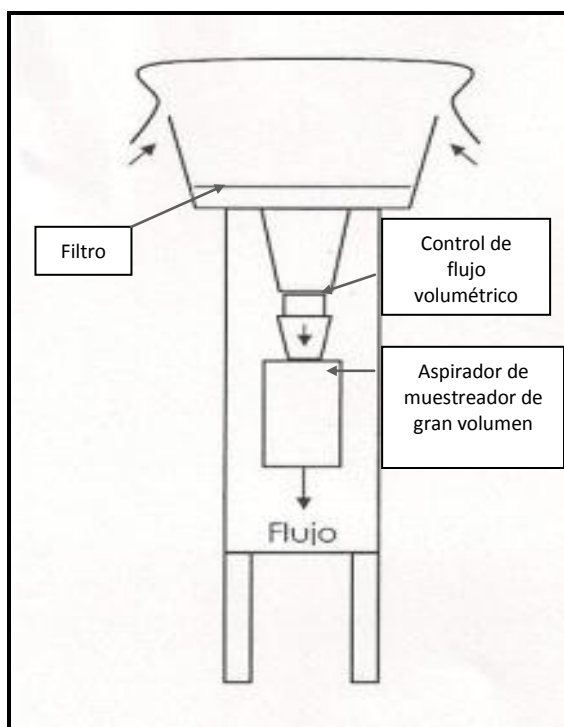


Figura 2.4 Equipo con controlador de flujo volumétrico (PM10).

2.2.9 Caracterización físico-química de partículas de polvo.

✓ Granulometría o tamaño de grano.

Un factor que se debe tomar en cuenta al momento de diseñar una mezcla de concreto o cuando se desea investigar la calidad de los agregados, es el conocimiento de la distribución granulométrica o granulometría de los agregados.

La distribución granulométrica se determina mediante un análisis mecánico, utilizando cedazos (tamices), que consisten en un marco metálico, rectangular o cilíndrico con una malla de aberturas cuadradas en el fondo. Cada cedazo o tamiz viene identificado por un número indicativo de las dimensiones de las aberturas de la malla. En la tabla 2.3 se dan los tamaños más comunes de los tamices que se utilizan, para determinar la granulometría de los agregados. Para separar los agregados de distintos tamaños, se ensambla un juego de cedazos en orden de tamaños de aberturas decrecientes (Font, 2004).

Tabla 2.3 Tamaño de los tamices para medir granulometría (Font J. ,2004).

Tamiz	3"	1 1/2"	3/4"	3/8"	4"	8"	16"	30"	50"	100"
Abertura Nominal (mm)	76,1	38,1	19,0	9,51	4,76	2,38	1,19	0,595	0,207	0,149

✓ Punto de ignición.

Según Font J. (2004) el punto de ignición es la temperatura más baja a la que se inicia y continua, la combustión de una sustancia cuando se calienta al aire.

2.2.10 Ventilación.

Puede definirse la Ventilación como aquella técnica que permite sustituir el aire ambiente interior de un local, considerado inconveniente por su falta de pureza, temperatura inadecuada o humedad excesiva, por otro exterior de mejores características (Escoda, 2007).

2.2.10.1 Tipos de ventilación.

- ✓ *Ventilación por sobrepresión*, que se obtiene insuflando aire a un local, poniéndole en sobrepresión interior respecto a la presión atmosférica. El aire fluye entonces hacia el exterior por las aberturas dispuestas para ello. A su paso el aire barre los contaminantes interiores y deja el local lleno del aire puro exterior.
- ✓ *Ventilación por depresión*, se logra colocando el ventilador extrayendo el aire del local, lo que provoca que éste quede en depresión respecto de la presión atmosférica. El aire penetra desde fuera por la abertura adecuada, efectuando una ventilación de iguales efectos que la anterior.
- ✓ *Ventilación ambiental o general*, el aire que entra en el local se difunde por todo el espacio interior antes de alcanzar la salida. Este tipo de ventilación tiene el inconveniente de que, de existir un foco contaminante concreto, como es el caso de cubas industriales con desprendimientos de gases y vapores molestos o tóxicos, el aire de una ventilación general esparce el contaminante por todo el local antes de ser captado hacia la salida.
- ✓ *Ventilación localizada*, en esta forma de ventilación el aire contaminado es captado en el mismo lugar que se produce evitando su difusión por todo el local. Se logra a base de una campana que abraza lo más estrechamente posible el foco de polución y que conduzca directamente al exterior el aire captado.
- ✓ *Ventilación mecánica controlada*, conocida por sus siglas V.M.C. es un sistema que se utiliza para controlar el ambiente de toda una vivienda, local comercial e incluso un edificio de pisos, permitiendo introducir recursos para el ahorro de energía.

2.2.10.2 Ventilación general.

Para ventilar un local por el sistema de ventilación general o ambiental, lo



primero que debe considerarse es el tipo de actividad de los ocupantes del mismo. No es lo mismo una oficina moderna, espaciosa, con bajo índice de ocupación, que una cafetería, una sala de fiestas, un taller de confección o de pintura. La razón de ventilar los habitáculos humanos es el de proporcionar un ambiente higiénico y confortable a los ocupantes ya que se estima que pasan encerrados en locales un noventa por ciento de su tiempo. Hay que diluir el olor corporal, controlar la humedad, el calor, el humo de tabaco y la polución que desprenden los muebles, moquetas, suelos y paredes de los edificios, además de los resultantes de las eventuales actividades industriales (Escoda, 2007).

2.2.10.3 Ventilación localizada.

Se aplica cuando se puede identificar claramente el foco de contaminación, es el sistema más efectivo, y económico para captar localmente la emisión nociva. Ver el ejemplo en la figura 2.5; debe procederse así:

- Identificar los puntos de producción del contaminante.
- Encerrarlo bajo una campana.
- Establecer una succión capaz de captar, arrastrar y trasladar el aire, posiblemente cargado de partículas.

Los elementos básicos de una instalación así, son:

- ✓ La captación o campana.
- ✓ El conducto o canalización.
- ✓ El separador o filtro.
- ✓ El extractor de aire.

Su misión es la de poder atraer el aire con los contaminantes que contenga para trasladarlo al lugar de descarga.

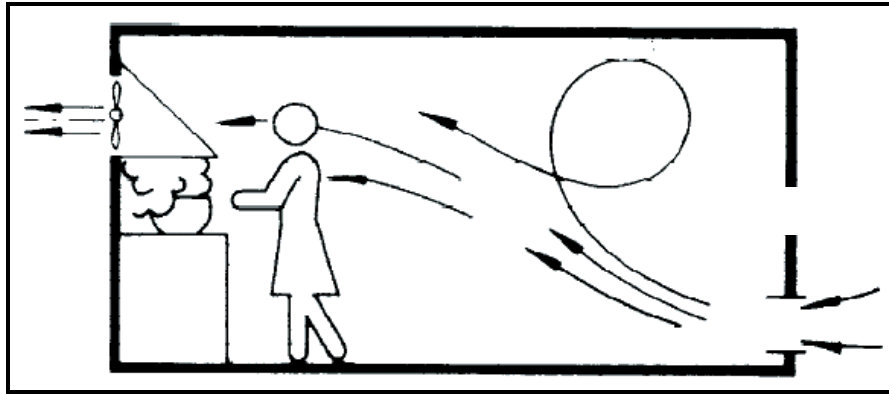


Figura 2.5 Trayectoria del flujo de aire en una ventilación localizada
(Escoda, 2007).

Los principios de diseño son:

- El caudal de captación varía aproximadamente con el cuadrado de la distancia, o sea que si la campana está a una distancia L del foco, necesitando un caudal Q para captarlo, se puede decir que, si se tiene una distancia $2L$ el caudal necesario será $4Q$.
- Cuando se trate de gases nocivos, la campana debe colocarse de modo que se evacúe fuera del espacio de respiración de los operarios.
- La campana, que envuelva una máquina debe diseñarse para que las partículas a captar incidan dentro de su boca (Escoda, 2007).

2.2.11 Ventilador.

Un ventilador es una máquina rotativa que pone el aire, o un gas, en movimiento. Se puede definir como una turbomáquina que transmite energía para generar la presión necesaria con la que mantener un flujo continuo de aire (Escoda, 2007).

2.2.11.1 Curvas características de acuerdo al tipo de ventilador.

En la figura 2.6 se representan las curvas características de los tipos fundamentales de ventiladores, para poder comprender mejor su comportamiento. Los

tres ventiladores que se comparan tienen el mismo diámetro de rodete.

Tomando en cuenta que, a igualdad de caudal impulsado, los ventiladores centrífugos dan más presión que los helicocentrífugos, y éstos a su vez más que los helicoidales. También se observa que, los centrífugos mueven caudales menores que los helicocentrífugos, y éstos menos que los helicoidales. Por tanto, puede aceptarse que los ventiladores más adecuados cuando los caudales sean grandes y las presiones que deban vencer sean pequeñas son los helicoidales. Este tipo de ventilador tiene además la ventaja de la facilidad de instalación.

Los ventiladores indicados para mover caudales pequeños pero a elevada presión son los centrífugos; finalmente, un caso intermedio es el de los ventiladores helicocentrífugos (Escoda, 2007).

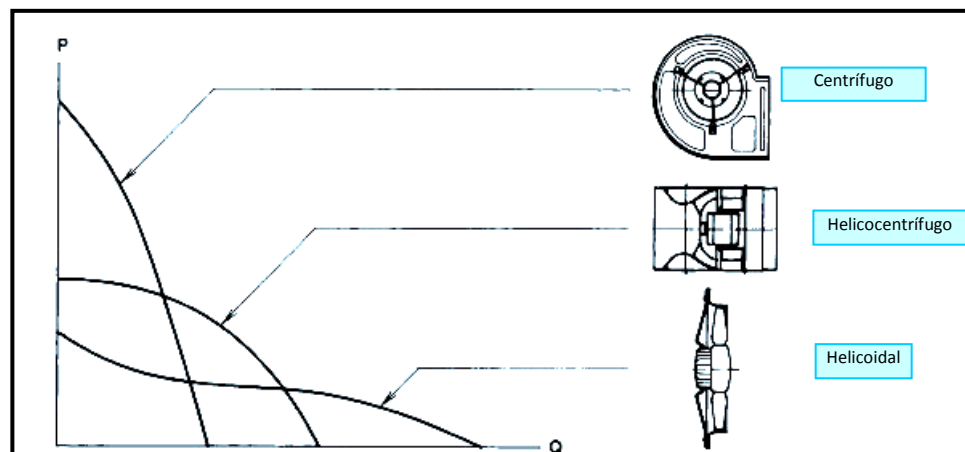


Figura 2.6 Curvas características de los tipos de ventiladores (Escoda, 2007).

2.2.11.2 Clasificación de los ventiladores.

Los ventiladores han venido clasificándose de muy diferentes maneras y no es extraño que un mismo aparato pueda aceptar dos, tres o más denominaciones. Es bastante común adoptar la designación atendiendo a alguna de sus características adaptadas al caso que se está tratando. Se tienen los siguientes:

✓ **Atendiendo a la trayectoria del aire.**

➤ **Ventiladores centrífugos.**

En estos aparatos la trayectoria del aire sigue una dirección axial a la entrada y paralela a un plano radial a la salida así como se muestra en la figura 2.7.

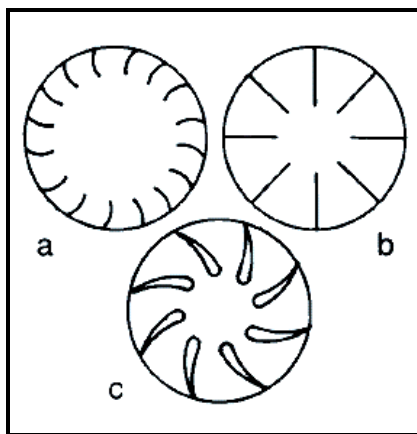


Figura 2.7 Rodetes para ventiladores centrífugos (Escoda, 2007).

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. Los caudales son algo menores que un ventilador helicoidal sin embargo la presión es mucho mayor. El rodete de este ventilador está compuesto de álabes que pueden ser curvados hacia adelante (figura 2.7a), radiales o rectos (figura 2.7b) o curvados hacia atrás (figura 2.7c).

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 desequilibrado del rodete.

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.

➤ **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 tres tipos básicos de estos ventiladores que son: helicoidales, tubulares y turboaxiales.

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 el caudal manejado. Al levantar poca presión, 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. (Ver figura 2.8).

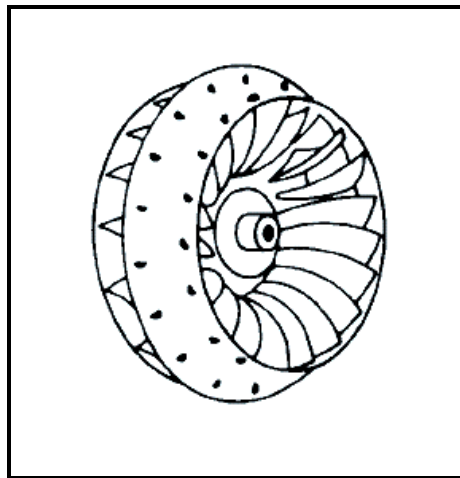


Figura 2.8 Rodete de un ventilador helicoidal (Escoda, 2007).

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 25 mmcda). Sus pérdidas están muy influenciadas por la resistencia al flujo del aire y un pequeño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal. El caudal de aire que transportan los ventiladores helicoidales es grande en relación a su tamaño, hélices de diámetro de 800 mm puede dar hasta $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (Goberna, 1992).

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 50 *mmcda*). 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 600 *mmcda*). 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 o removibles (Goberna, 1992).

✓ **Atendiendo a la presión.**

➤ **Ventiladores de baja presión.**

Se llaman así a los que no alcanzan los 70 Pascales. Suelen ser centrífugos y por antonomasia se designan así los utilizados en climatizadores (ver figura 2.9).

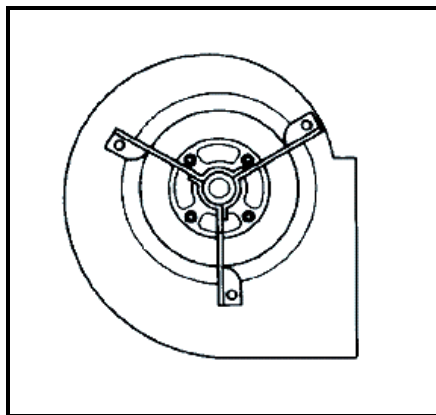


Figura 2.9 Corte de un ventilador de baja presión (Escoda, 2007).



➤ **Mediana presión.**

La presión está entre los 70 y 3.000 Pascales. Pueden ser centrífugos o axiales.

➤ **Alta presión.**

Cuando la presión está por encima de los 3.000 Pascales. Suelen ser centrífugos con rodetes estrechos y de gran diámetro.

✓ **Atendiendo a las condiciones de funcionamiento.**

➤ **Ventiladores estándar.**

Son los aparatos que circulan aire sin cargas importantes de contaminantes, humedad, polvo, partículas agresivas y temperaturas máximas de 40 °C si el motor está en la corriente de aire.

➤ **Ventiladores especiales.**

Son los diseñados para tratar el aire caliente, corrosivo, húmedo y otras condiciones, o bien para ser instalados en el tejado o dedicados al transporte neumático.

✓ **Atendiendo al sistema de accionamiento.**

➤ **Accionamiento Directo.**

Cuando el motor eléctrico tiene el eje común, o por prolongación, con el del rodete o hélice del ventilador.

➤ **Accionamiento por Transmisión.**

Como es el caso de transmisión por correas y poleas para separar el motor de la corriente del aire (por caliente, explosivo, entre otros).



2.2.11.3 Variables de un ventilador.

Las variables que comprenden a un ventilador son la velocidad de rotación, el diámetro de la hélice o rodete, las presiones total, estática y dinámica, el caudal, la densidad del gas, la potencia absorbida, el rendimiento y el nivel sonoro (Goberna, 1992).

2.2.12 Campanas de extracción.

Cuando se habla de ventilación localizada se justifica el uso de la misma cuando es posible identificar en un punto concreto, es decir, el foco contaminante del aire. Entonces, se dice, que es el sistema más racional y económico, así como el único eficaz si se pretende controlar emanaciones tóxicas, polvorientas o de humos. Consistía en capturar la contaminación a medida que se produce y en el mismo lugar de origen, para impedir su difusión por todo el ambiente. La campana de captación es el elemento esencial en este caso, consistiendo en una caja cerrada con una cara abierta a la emisión nociva y la que parte de un conducto de evacuación activado por un extractor mecánico (Escoda, 2007).

- **Forma de la campana:** el diseño geométrico de la campana debe tratar siempre de encerrar al máximo el proceso, teniendo siempre presente las necesidades de acceso y mantenimiento al proceso productivo.
- **Localización de las campanas:** para ello hay que considerar los siguientes aspectos:
 - ✓ Colocar la campana de tal forma que se aproveche el movimiento del contaminante generado por el proceso (donde esto ocurra).
 - ✓ Colocarla de forma tal que el contaminante se aleje de la zona respiratoria del trabajador.
 - ✓ La campana se debe ubicar tan acoplada a la fuente como sea posible. Debe colocarse sin estorbar apreciablemente al trabajador (Goberna, 1992).



En la tabla 2.4 se dan algunos valores de velocidades de captación o arrastre de las partículas y velocidades del flujo de aire dentro del conducto, de acuerdo al tipo de polvo contaminante, este valor se puede tomar como referencia para realizar el diseño de la campana.

Tabla 2.4 Velocidad de captación y velocidad del aire en el conducto (Goberna, 1992).

Condiciones de dispersión del contaminante	Ejemplos	Va (m/s)
Liberado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación desde depósitos, desengrases, etc.	0,25 a 0,5
Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pintura, llenado intermitente de recipientes; transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad; soldadura; recubrimientos superficiales; pasivado.	0,5 a 1
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire.	Cabinas de pinturas poco profundas; llenado de barriles; carga de cintas transportadoras; machacadoras.	1 a 2,5
Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido de aire.	Desbarbado; chorreado abrasivo; desmoldeo en fundiciones.	2,5 a 10
Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Vc (m/s)
Todos los vapores, gases y humos de combustión.	Todos los vapores, gases y humos.	Velocidad optima entre 5 y 10 m/s
Humos de soldadura	Soldadura.	10 a 12,5
Polvos muy finos y ligeros.	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco.	12,5 a 15
Polvos secos.	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas ligeras, polvos de detergentes, raspaduras de cuero.	15 a 20
Polvos ordinarios.	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute, (residuos de sacudidor), polvos de grano de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado, y pesado de amianto en las industrias textiles.	17,5 a 20
Polvos pesados.	Polvo de aserrado (pesado y húmedo, viruta metálica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvos de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo.	20 a 22,5
Polvo pesado húmedo.	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir pegajosos.	>22



2.2.13 Circulación de aire por conductos.

Para ventilar un espacio, un recinto o una máquina, ya sea impulsando aire o bien extrayéndole, es muy corriente tener que conectar el ventilador-extractor por medio de un conducto, una tubería, de mayor o menor longitud y de una u otra forma o sección. Al fluir el aire por tal conducto, absorbe la energía necesaria para vencer las resistencias debido al roce con las paredes, los cambios de dirección o los obstáculos que se hallan a su paso. La rentabilidad de una instalación exige que se minimice esta parte de energía consumida (Escoda, 2007).

2.2.13.1 Pérdida de carga en tramos rectos.

A la presión del aire necesaria para vencer la fricción en un conducto, que es la que determina el gasto de energía del ventilador, se llama pérdida de carga. Se calcula por la fórmula de Darcy que contempla la longitud de la conducción, el llamado diámetro hidráulico, la velocidad y densidad del aire y el coeficiente de frotamiento que, éste, a su vez, depende del número de Reynolds, de rugosidad de las paredes, de las dimensiones y la disposición del mismo. Calcular la pérdida de carga con estas fórmulas resulta engorroso y, con todo, sólo lleva a resultados aproximados ya que tanto la viscosidad, como la densidad y la rugosidad pueden variar entre márgenes muy amplios. De ahí que la forma práctica de hacerlo es recurriendo a nomogramas confeccionados, a base de todo el bagaje técnico expuesto y son válidos para conducciones con la rugosidad corriente en materiales habitualmente usados (Goberna, 1992).

2.2.13.2 Conductos rectangulares y circulares.

Generalmente la sección del conducto es circular, ya que presenta menores pérdidas en el tramo además de menores espesores y refuerzos. Hay casos frecuentes en instalaciones de ventilación en donde se presentan formas rectangulares o cuadradas, donde es necesario determinar antes la sección circular equivalente, esto es, aquella que presenta la misma pérdida de carga que la rectangular considerada. En la tabla 2.5 se presentan los espesores recomendados de acuerdo al diámetro de los



tramos rectos.

Tabla 2.5 Tabla de valores recomendados para espesores de conductos (Goberna, 1992).

Diámetros de los tramos rectos (mm)	Espesores recomendados* (mm)			
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
100 hasta 200	0,8-1	0,8-1,5	1,5	2
Más de 200 hasta 450	0,8-3	0,8-3	1,5-3	2-3
Más de 450 hasta 750	1-5	1,5-5	1,5-5	2-5
Más de 1750	2-7	2-7	3-7	3-7

*Los espesores varían con la clasificación, presión, refuerzos y distancia entre soportes.

NOTA: los espesores menores a 1,5 mm no pueden soldarse.

Clase 1. Prestaciones bajas: incluye aplicaciones no abrasivas por ejemplo, aire de reposición, ventilación general, control de emisiones gaseosas.

Clase 2. Prestaciones medias: incluye aplicaciones moderadamente abrasivas a bajas concentraciones, por ejemplo, pulido y abrillantado, trabajo de la madera, polvo de cereales.

Clase 3. Prestaciones elevadas: incluye aplicaciones con partículas altamente abrasivas a bajas concentraciones, por ejemplo, operaciones de limpieza por abrasión, secaderos y hornos, humos de caldera, manipulación de arena.

Clase 4. Prestaciones muy elevadas: incluye aplicaciones con partículas altamente abrasivas a concentraciones elevadas, por ejemplo: transporte de materiales con alto contenido en partículas en todas las situaciones citadas en la clase 3 (usualmente usadas en la industria pesada como acerías, fundiciones y minería).

2.2.13.3 Pérdidas por accesorios.

Las canalizaciones de aire no siempre se componen de tramos rectilíneos sino que a menudo se presentan accidentes en su trayectoria que obligan al uso de codos, desviaciones, entradas, salidas, obstáculos, etc. Todos los cuales ofrecen resistencia al



paso del aire provocando pérdidas de carga. Para conocer la resistencia total de un sistema de conductos, será necesario calcular las pérdidas de cada uno de tales accesorios y sumarlas a las de los tramos rectos. Existen diversos métodos para calcular la pérdida de carga debida a los accesorios de una ductería, siendo el más usado en los manuales especializados, con muchos datos experimentales que permiten, con unas sencillas operaciones, determinar su valor (Escoda, 2007).

2.2.13.4 Método de presión dinámica.

Este método se basa en calcular la pérdida de carga, en unidades de presión total (Pt), de un elemento del conducto en función de la presión dinámica (PDV) del aire que circula y de unos coeficientes de proporcionalidad, determinados experimentalmente, para cada uno según su forma y dimensiones. De esta forma se calculan uno a uno las pérdidas por accesorios en los conductos que, se suman a los de los tramos rectos y se tendrá la pérdida de carga total del sistema de ductería.

2.2.14 Depuración del aire.

El aire que se respira contiene partículas en suspensión, se llama polvo en general, que pueden aumentar considerablemente debido a los procesos industriales como triturado, taladrado, pulido, entre otros. Mantener la cantidad de estas partículas dentro de unos límites razonables es una de las operaciones a las que debe someterse el aire, tanto para prevenir posibles enfermedades como evitar inconvenientes en tales procesos y averías en útiles o máquinas. Disminuir el contenido de polvo y partículas en suspensión presentes en el aire es la acción que se denomina depuración del aire.

Los principales parámetros que definen el proceso son:

- ✓ Tamaño de las partículas en suspensión.
- ✓ Concentración de polvo en el aire.

La tabla 2.6 muestra distintos tipos de polvo y el tamaño de partículas que pueden encontrarse en suspensión en el aire, expresado en μm (micras). Se muestran los intervalos según sea el ambiente considerado la concentración de polvo del mismo. No obstante, en los datos de la tabla 2.7 se presentan intervalos de la granulometría, es decir, tamaño de partículas lo que representa un espectro amplio, y el porcentaje para el polvo de la calle.

Los dispositivos utilizados para depurar el aire se dividen en dos grupos principales:

- ✓ Filtros de aire.
- ✓ Separadores de polvo.

Tabla 2.6 Tamaño de partículas (Escoda, 2007).

Tipo de polvo	μm
Polvo de la calle	0,5
Polvo de voladuras	1,4
Polvo de fundición	1 ÷ 200
Corte de granito	1,4
Neblina	1 ÷ 40
Cenizas volantes	3 ÷ 70
Carbón pulverizado	10 ÷ 400

Tabla 2.7 Polvo de la calle (Escoda, 2007).

Tamaño partículas (μm)	Porcentaje (%)
0-5	39
5-10	18
10-20	16
20-40	18
40-80	9

2.2.14.1 Filtros de aire.

Son dispositivos diseñados para disminuir la concentración de las partículas que se encuentran en suspensión en el aire. El tipo de filtro a emplear dependerá del tamaño de las partículas a separar tal como se muestra en el diagrama para la



determinación del tipo de filtro según el diámetro de las partículas suspendidas en el aire (ver anexo 1), así:

- Para la separación de virus y partículas de tamaño molecular se utilizan filtros de carbón activo.
- Para separar hollín y el humo de tabaco deben utilizarse filtros electrostáticos.
- Para separar polen y polvo deben utilizarse filtros húmedos o secos.

Otra característica a tener en cuenta cuando quieran emplearse filtros es que la concentración de partículas en el aire no debe ser demasiado elevada, pues de otro modo el filtro quedará colapsado rápidamente con lo que el mantenimiento de la instalación sería muy gravoso. El límite superior de concentración de polvo en el aire para poder emplear filtros es de 35 mg/m^3 . A continuación se tratarán algunos tipos de filtros:

- **Filtros Húmedos.**

Llamados también viscosos, consisten en un entramado filtrante de material metálico o fibra que está impregnado de una materia viscosa como aceite o grasa. Si se observa un filtro de este tipo, se verá que en el lado de entrada del aire, el material es mucho menos tupido que en el lado de salida, con esta disposición se consigue aumentar la vida del filtro ya que las partículas que quedan primeramente retenidas son las de mayor granulometría y el aire que llega a las sucesivas capas es cada vez más puro. En la tabla 2.8 pueden verse las principales características de este tipo de filtros.

- **Filtros Secos (Filtros de mangas).**

Están formados por un material fibroso o por un lecho de fibras finas a través del cual se hace pasar el aire. El rendimiento aumenta a medida que la porosidad del material es menor. Permiten una velocidad de paso del aire más reducida que los filtros húmedos al mismo tiempo que su duración es menor, así como se observa en la tabla 2.8. Por el contrario el precio unitario es más económico. A fin de aumentar la superficie de paso del aire, suelen disponerse en forma de V. En la tabla de comportamiento de

un filtro seco (ver anexo 2), pueden verse las principales características de este tipo de filtros. El material de las fibras que forman el filtro deberá escogerse según sea el ambiente que debe purificarse, la temperatura del mismo y las solicitaciones físicas a que estará sometido. En esta tabla se resumen las particularidades que se pueden esperar de distintos materiales utilizados para la construcción de filtros. Otras características a tener en cuenta al seleccionar un filtro serán: la pérdida de carga del mismo, el rendimiento, así como el incremento que experimenta la pérdida a medida que aumenta el contenido de polvo del mismo.

Tabla 2.8 Características importantes de los tipos de filtros (Escoda, 2007).

Tipo de filtro	Material	Velocidad de aire (m/s)	Pérdida de carga (mm c.d.a/m ²)	Rendimiento (%)
FILTRO HÚMEDO { Paneles Continuos	Tamiz, tela de Alambre y metal estampado.	1,5-2,5	2/15	65-80
		2,5	3/17	80-90
FILTRO SECO { Paneles Continuos	Celulosa, material sintético, papel y fieltro de vidrio.	0,1-1	2,5/25	50-95
		0,25	3/18	
FILTROS ABSOLUTOS	Material sintético y papel	0,1-2,5	25/60	99,97

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, entre otros. 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 (ver figura 2.10).

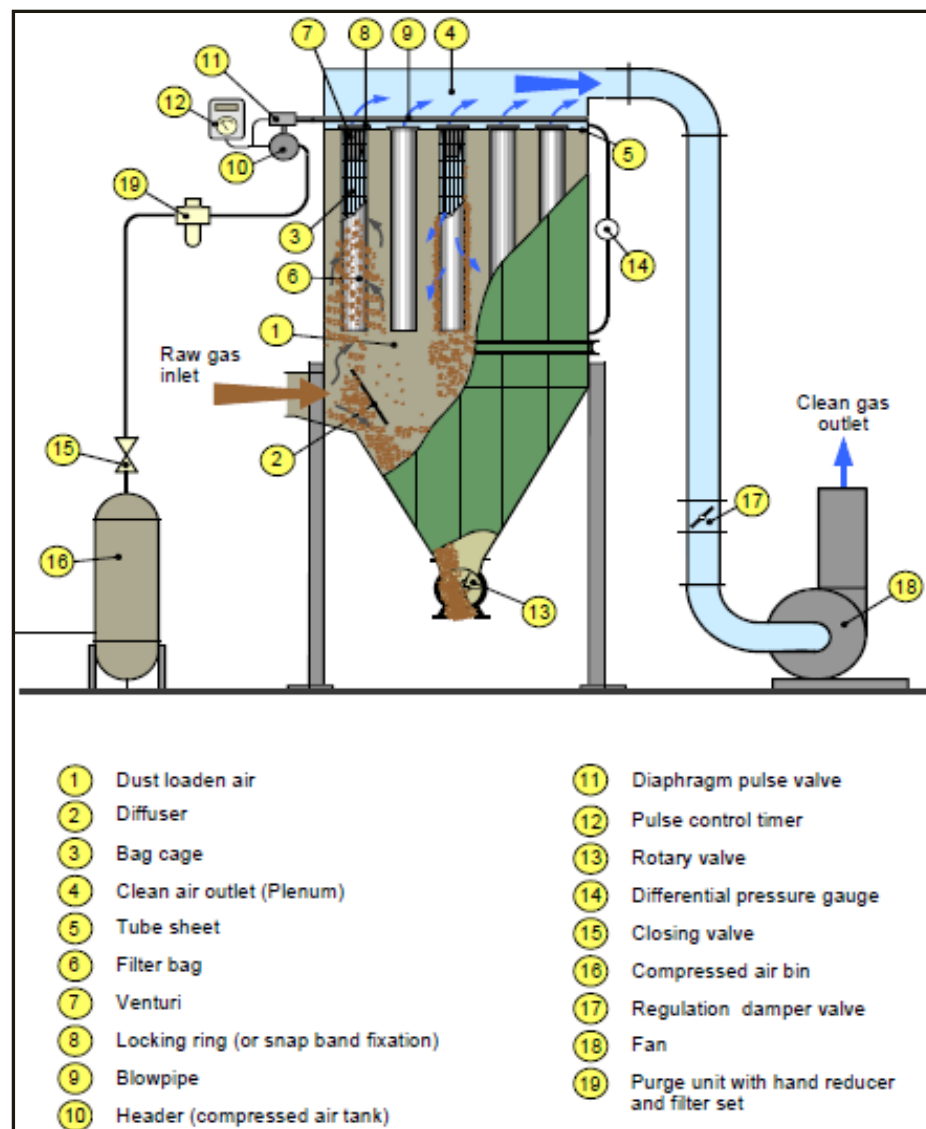


Figura 2.10 Elementos de un colector de polvos pulse jet (SESMA, 1999).

El filtro de manga 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 le lleva por una serie de conductos hacia la chimenea de escape.

El tamaño de las partículas a separar por los filtros de mangas será entre 2 y 30 μm . 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 (Goberna, 1992).

➤ **Pérdida de carga de acuerdo al filtro.**

El filtro opone una resistencia al paso del aire originado una pérdida de carga, expresada en Pascales o *mmcda*, que deberá vencer la presión del ventilador que impulse aire a través del mismo. Esta pérdida de carga es inicial, con el filtro limpio, o bien final recomendada, que es cuando el filtro debe limpiarse o reponerse por otro nuevo. Para mantener el caudal de aire uniforme debe preverse el aumento de pérdida de carga a medida que se colmata el filtro, a través de una regulación de la velocidad del ventilador o bien por compuertas graduables. Un sistema u otro de filtraje supone una mayor o menor pérdida de carga y por ende un mayor o menor costo de mantenimiento. Los filtros de alta eficiencia lógicamente son los que mayor pérdida de carga provocan, por lo que debe escogerse en el proyecto la eficiencia justa y no más (Goberna, 1992).

Se presentan los siguientes tipos de filtros:

- ✓ **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.



- ✓ **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.

- ✓ **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 (Goberna, 1992).

2.2.14.2 Separadores por gravedad.

- ✓ **Cámaras de Sedimentación.**

Estos equipos son los más utilizados por su sencillez. Su empleo se limita a la extracción de polvo relativamente grueso, del orden de las 200 μm y como paso previo de una depuración más fina.

El aire cargado de polvo entra en la cámara de sedimentación disminuyendo así su velocidad, con lo que una parte de las partículas abandonan la corriente de aire debido a la fuerza gravitatoria.

El rendimiento de este tipo de separadores es relativamente bajo, menor del



50%. En la tabla de selección de separadores y filtros (ver anexo 3), pueden verse un conjunto de parámetros referentes a este tipo de separador (Goberna, 1992).

2.2.14.3 Separadores por fuerza de inercia.

✓ Cámaras de Choque.

El separador por inercia más sencillo es la cámara de choque, sensiblemente igual a una cámara de sedimentación en la que se han intercalado unas pantallas contra las que choca el aire cargado de partículas. El tamaño de las partículas que es capaz de separar este tipo de separador se encuentran comprendidas entre 50 y 150 μm , pudiéndose ver en la en la tabla de selección de separadores y filtros (ver anexo 3), los demás parámetros que lo definen (Goberna, 1992).

✓ Ciclones.

Cuando es necesario separar partículas de diámetro superior a 5 μm , suele emplearse el dispositivo denominado ciclón. Es de gran sencillez, compacto, de fácil mantenimiento y elevada eficacia. El funcionamiento de este tipo de aparatos se puede ver en la figura 2.11. El aire cargado de polvo entra tangencialmente por la parte superior cilíndrica. La corriente de aire sigue una trayectoria en espiral que primero se dirige hacia el fondo del tronco del cono, ascendiendo después por el centro del mismo. El aire, una vez depurado, abandona el ciclón por la parte superior. Las partículas separadas se descargan por el fondo del ciclón. El rendimiento de un ciclón depende del diámetro del mismo y del tamaño de las partículas a separar.

Otro elemento fundamental para un óptimo rendimiento de este tipo de separador de polvo es el correcto dimensionado del mismo. Los parámetros referentes a los separadores tipo ciclón pueden verse en la tabla de selección de separadores y filtros (ver anexo 3).

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.

Las principales familias de ciclones de entrada tangencial son:

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

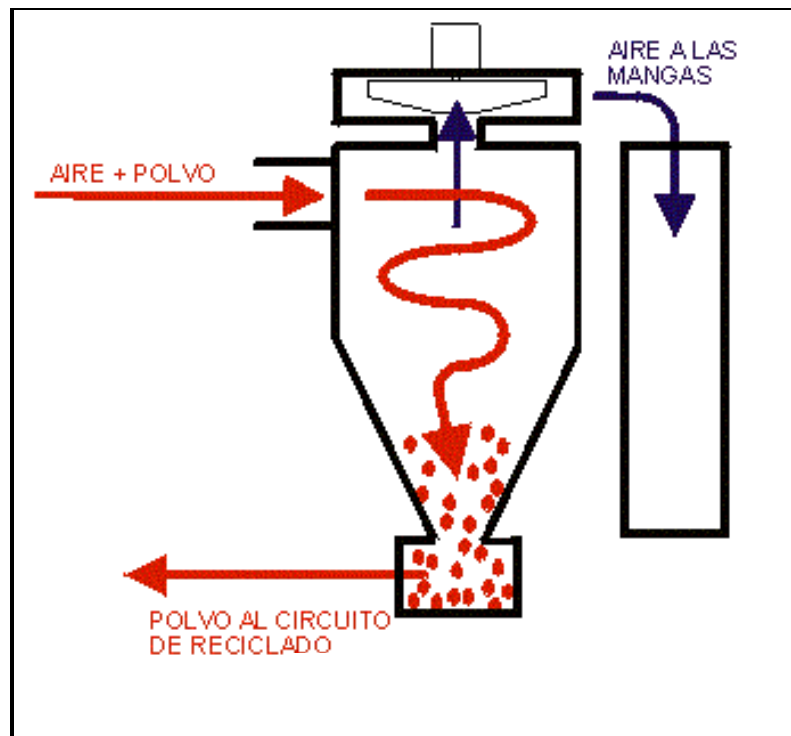


Figura 2.11 Esquema de un ciclón (Turner, 1998).

2.2.14.4 Separadores húmedos.

Cuando las partículas a separar son inferiores a $5 \mu m$ se emplean separadores húmedos en los que el líquido utilizado suele ser agua. El rendimiento así como la capacidad de purificación depende de manera muy importante de la energía empleada



para vehicular el gas. Así, en el caso de separadores de tobera sumergida, el tamaño de las partículas separadas es función de la velocidad del aire. La selección del tipo de separador húmedo dependerá de:

- ✓ El tamaño de las partículas a separar.
- ✓ La pérdida de carga permitida para el rendimiento deseado.

Otra ventaja a considerar en este tipo de separadores es la disminución en gran medida del riesgo de explosión o ignición, que siempre está presente en otros tipos de procesos de separación de polvos. Otra característica del aire que sale de estos separadores es el alto grado de humedad que llevan, cercano a la saturación, con que puede aprovecharse como fuente de refrigeración.

Todas estas características pueden presentar aspectos positivos pero también negativos, por lo que hay que considerarlos detenidamente a la hora de tomar una decisión. Entre los separadores húmedos se pueden destacar:

- ✓ Torres de pulverización.
- ✓ Separadores húmedos de choque.
- ✓ Separadores de chorro.
- ✓ Separadores de tobera sumergida.

2.2.14.5 Precipitadores electrostáticos.

Se basan en la mutua atracción entre las partículas con una carga eléctrica y un electrodo colector de polaridad opuesta. Entre sus ventajas están: una capacidad para manipular grandes volúmenes de gas, altas eficiencias colectoras aún para partículas del tamaño de los submicrones, bajo consumo de energía y bajas pérdidas de tiro, y capacidad para operar con gases a temperaturas relativamente altas (Wark y Warner, 1998).



2.2.16 Marco legal.

La calidad del aire en ambientes laborales está legalmente sustentada en la legislación laboral vigente en Venezuela, así como en las normas indicadas para garantizar un ambiente de trabajo adecuado, de acuerdo a la actividad desempeñada y la clase de sustancias a las que los trabajadores pudiesen estar expuestos en un momento determinado, siendo de especial importancia mencionar:

LOPCYMAT (Ley orgánica de prevención, condiciones y Medio Ambiente de Trabajo); norma COVENIN 2253-2001: Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en ambientes de trabajo e índices biológicos de exposición y norma COVENIN 2252-2001: Polvos. Determinación de la concentración en ambientes de trabajo.

En el anexo 4 se encuentran los artículos de mayor importancia, referentes a las normas y la ley nombradas anteriormente, referentes a la salud ocupacional y medio ambiente de trabajo, los cuales son la base legal fundamental, para obtener un beneficio hacia los trabajadores y las micro o macro empresas que se desarrollan en el país.



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se establecerán un conjunto de estrategias que van a permitir obtener, clasificar, comprender y organizar la información para el logro de cada uno de los objetivos planteados.

3.1 Tipo de investigación.

Según Balestrini, A. (2000), conforme al problema y en función de los objetivos planteados, se incorporó el tipo de investigación denominado proyecto exploratorio, ya que consiste en el desarrollo de una propuesta de un sistema de extracción y recolección de polvos, para prevenir un problema de salud ocupacional, utilizando herramientas de investigación de tipo experimentales. La investigación se desarrolla en dos fases; una fase de diagnóstico en el cual se realizan pruebas de medición para determinar los niveles y características de las partículas y, una segunda fase para la propuesta del diseño del sistema de extracción y recolección de partículas suspendidas para dar respuesta a los objetivos planteados.

3.2 Nivel de la investigación.

De acuerdo a lo planteado por Pérez, C. y Torres, L. (2005), el nivel de la investigación es de tipo factible, estará orientada hacia el desarrollo de una propuesta de un sistema de extracción y recolección de polvos que, por decisión de la empresa, se diseña en base a datos experimentales y valorativos, requeridos para obtener las especificaciones técnicas que podrán ser utilizadas en trabajos posteriores necesarios para la mejora del ambiente de trabajo de los operarios.

3.3 Diseño de la investigación.

Según Pérez, C. y Torres, L. (2005), considerando los objetivos planteados al inicio del estudio, la estrategia que se adoptó es de tipo experimental, ya que a lo largo del proyecto se manipularon variables de operación y análisis de las mismas para la

mejora de las condiciones del ambiente de trabajo de los operarios; además se realiza un procedimiento metodológico de actividades, definiendo los recursos necesarios para ejecución; análisis y conclusiones sobre la factibilidad e instalación del sistema de extracción y recolección.

Se siguió el siguiente desarrollo sistemático, para el logro de los objetivos planteados.

3.3.1 Determinación de la concentración de polvo suspendido en el aire del ambiente de trabajo, usando métodos normalizados.

Para la medición de la concentración de partículas suspendidas, se inicia haciendo referencia a las normas COVENIN, donde se establecen los niveles de concentración permisibles para mantener el ambiente de trabajo adecuado para los trabajadores. Para ello se determinan los niveles de concentración de partículas de PM10 y PTS en el ambiente. Se utilizan dos equipos, instalados por el Laboratorio de Ambiente de la Universidad de Carabobo para la medición de los niveles de polvo, de acuerdo a las especificaciones pautadas en las normas 3643:2000 y 2060:2005.

Entre los parámetros más importantes para el proceso de medición se toman en cuenta el tipo de filtro a utilizar y el ambiente más apropiado para su manipulación, el lugar más adecuado para la medición, el número de mediciones, el tiempo de medición, la humedad en el ambiente y la calibración de los equipos.

Se utilizan dos equipos, dispuestos frente a la fuente de generación de polvos (mezcla en seco de polvos de cemento), en el galpón N°9 de IMMERC C.A, para medir PTS y PM10, la única diferencia entre ambos equipos es el techo o cubierta (ver figuras 2.2 y 2.3) lo que hace que la impactación de las partículas tengan distinta dirección y sentido.

3.3.1.1 Principio del funcionamiento del muestreador de alto volumen (PM10).

A medida que el aire del ambiente es inducido hacia la entrada, es evacuado desde la cámara de amortiguación, a través de nueve boquillas de aceleración, a la cámara de impactación donde las partículas mayores a $10\ \mu m$ son impactadas en una rejilla de recolección engrasada (ver figura 2.3). El aire que contiene la fracción de partículas PM10 es entonces canalizado a través de dieciséis (16) tubos de salida y filtrado con un filtro especial. Las boquillas de aceleración tienen diámetros críticos calculados y eficiencia comprobada de tal manera que proveen la velocidad necesaria para obtener el fraccionamiento de las partículas dentro de la cámara de impactación esperado. El flujo de aire adecuado para este equipo es de $1,13\ m^3/min$ ($\pm 10\ %$).

El aire arrastrado a través del filtro es aspirado por el motor y luego sale hacia la atmósfera. La rata de flujo másico de aire muestreado es controlada con un sensor de flujo colocado en la garganta del portafiltros del equipo. La señal eléctrica del sensor de flujo es usada como una señal de ajuste de la velocidad del motor. Así como las condiciones de ambiente y el peso del filtro varían, el controlador incrementa o disminuye la potencia eléctrica del motor de tal manera que la velocidad de flujo másico se mantiene dentro de los parámetros especificados. El temporizador una vez instalado es capaz de iniciar y detener el muestreo, para realizar la captación de la muestra en un período de $(24 \pm 5)\ min$ (COVENIN 3643-2000).

3.3.1.2 Principio del funcionamiento del muestreador de alto volumen (PTS).

El aire contaminado entra a través del área de captura, pasa por la cubierta triangular, impacta con el techo interno del equipo (ver figura 2.2) y finalmente las partículas son capturadas por los filtros, de esta manera se describe la dirección del flujo de aire contaminado, el cual depende de la velocidad de absorción establecida. Este proceso de captura de partículas descrito en la caseta del equipo, ocurre de la misma manera que para el funcionamiento del muestreador de alto volumen (PM10).

La norma 2060:2005 es aplicable para determinar la concentración de partículas suspendidas con diámetros aerodinámicos menores o iguales a $60 \mu m$ operando en un rango de flujo de 1,1 a $1,7 m^3/min$.

El proceso de recolección de material particulado, se realiza simultáneamente instalando ambos equipos (Muestreadores de alto volumen PM10 y PTS) con una separación de 3 m aproximadamente, con la finalidad de tener una verdadera comparación del material recogido. Cabe destacar que el proceso de recolección de muestras se debe desarrollar con toda normalidad y sin ninguna eventualidad que pudiese afectar el proceso de medición.

Con el uso del Decreto 638 “Normas sobre la calidad del aire y control de la contaminación atmosférica”, se debe realizar una clasificación de la zona (ver tabla 2.1) de acuerdo con los intervalos medidos de concentraciones de partículas totales suspendidas (PTS), y se determina el nivel de limpieza de la zona. Posteriormente con el uso de la Norma COVENIN 2253-2001 se comparan los niveles establecidos para partículas de PM10 y PTS.

A continuación se presenta el procedimiento y los materiales a utilizar para determinar la concentración de partículas totales suspendidas (PTS) y partículas menores a 10 micrones (PM10).

➤ Materiales y equipos a utilizar:

- Un equipo muestreador de alto volumen para PTS marca Thermo Andersen 10 μ Inlet.
- Un equipo muestreador de alto volumen para PM10 marca Andersen.
- Equipo de calibración:
 - Tubo de metal con diámetro interno de 7,5 y 15,9 cm de longitud.

- Placa adaptadora de la unidad de calibración.
 - Barómetro.
 - Termómetro de ± 1 °C.
 - Manómetro diferencial de “U”.
 - Filtro de fibra de vidrio.
 - Programador automático y contador de tiempo (timer).
 - Controlador de flujo.
 - Desecador.
 - Balanza analítica de un platillo marca Mettler, apreciación $1 \cdot 10^{-5}$ g.
- Procedimiento experimental:
- ✓ Se selecciona el filtro apropiado para medir partículas menores o iguales a PM10, y partículas totales suspendidas (PTS).
 - ✓ Se pesan los filtros de la siguiente forma:
 - a) Se verifica la calibración de la balanza.
 - b) Se pesan los filtros estables uno a la vez (se colocan sin doblar) cuidadosamente, de manera que el filtro no sufra ninguna deformación previa al proceso de pesado.
 - c) También se toma en cuenta que se pesan enseguida de haberlos retirado del desecador, para evitar que absorba la humedad del ambiente.
 - ✓ Se mantiene cerrada la carcasa del equipo colector, a temperatura y humedad estable mientras está el equipo apagado, para evitar que se introduzcan partículas de polvos, insectos y otros factores, que interfieran en el proceso de medición.
 - ✓ Se instalan los filtros tanto del equipo de medición de partículas totales suspendidas (PTS) de alto volumen (High Volumen Sampler) como del equipo de

medición de partículas de alto volumen menores a PM₁₀ (High Volumen Sampler PM₁₀).

- ✓ Se realiza la programación de los controladores del equipo y se comienza el muestreo de las partículas durante el tiempo estipulado.
- ✓ Se realiza la parada del equipo y se retiran los filtros expuestos cuidadosamente, se transportan al desecador tan pronto como sea posible para evitar la pérdida de algún tipo de partícula y se pliegan horizontalmente.
- ✓ Se pesan los filtros acondicionados uno a la vez, de manera tal que se impida que se desprendan las partículas captadas, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente que debe ser enseguida de retirarlos del desecador.
- ✓ Se mantienen cada uno de los filtros en la balanza hasta lograr obtener un valor constante, es decir, se pesan hasta que la variación en la cifra centesimal no sea grande.
- ✓ Se realizan los cálculos necesarios para obtener los resultados.

3.3.2 Caracterización de las partículas de polvo de manera físico-química en el ambiente de trabajo.

Para la determinación de las características físico-químicas de las partículas suspendidas en el aire, se estudiarán las variables necesarias, a través de las normas COVENIN y ASTM, para proceder a generar propuestas para el diseño del sistema de extracción y recolección. Para ello se determina el tamaño, densidad y punto de ignición de las partículas, las cuales, son variables necesarias para poder especificar el tipo de sistema de extracción. Para el caso del cemento portland tipo CPCA-1, se realizarán las tres pruebas nombradas anteriormente. Para el estearato de calcio, se determinará sólo el punto de ignición ya que este agregado se encuentra en menor cantidad comparado aproximadamente en una proporción de 100:2 con respecto al cemento portland.

A continuación se presentarán los procedimientos a desarrollar en la fase experimental de la presente investigación, detallando los materiales y equipos a utilizar:

3.3.2.1 Tamaño de las partículas.

- Materiales y equipos a utilizar:
 - Equipo de granulometría.
 - Mallas de tamices de 325, 230, 80 y 60 MESH.
 - Recipiente o bandeja de igual tamaño de los tamices, para el fondo.
 - 100 g de cemento Portland tipo CPCA-1, marca Holcim.
- Procedimiento experimental:
 - ✓ Se verifica que el equipo se encuentre limpio, se le pasa una brocha seca para eliminar partículas sólidas adheridas a la superficie de los tamices de las diferentes mallas metálicas.
 - ✓ Se pesan 100 g del cemento portland.
 - ✓ Se colocan como base, en el plato de fondo, el cual debe estar debidamente estandarizado.
 - ✓ Se colocan cada uno de los tamices de acuerdo al tamaño, ubicándose de abajo hacia arriba, desde el tamiz de menor tamaño hasta el de mayor tamaño (60-325) MESH.
 - ✓ Se ajustan los controladores, para fijar la amplitud, el tiempo de tamizado y la continuidad de las vibraciones.
 - ✓ Se coloca la muestra de cemento portland en el primer tamiz, y se enciende el equipo pulsando el botón “on”.
 - ✓ Al terminar el tiempo estipulado de tres minutos, se procede a desmontar el equipo y a pesar la cantidad de partículas atrapadas en cada malla del tamiz.
 - ✓ Este procedimiento se realizará tres veces.



- ✓ Al tener los valores de las masas se procederá al cálculo de las composiciones másicas.

3.3.2.2 Punto de ignición.

➤ Materiales y equipos a utilizar:

- Equipo tipo Cleveland (copa abierta), marca KHOELER.
- Termómetro de temperatura máxima de 400 °C con un error de ± 2 °C.
- Alimentación disponible de corriente eléctrica de 120 V.
- Piloto de gas.
- Cemento portland tipo CPCA-1, marca Holcim a la medida de la copa del equipo de medición.
- Estearato de Calcio a la medida de la copa del equipo de medición.

➤ Procedimiento experimental:

- ✓ Inicialmente se verifican que los controladores del equipo de copa abierta, tipo Cleveland estén apagados.
- ✓ Se coloca la muestra en la copa, de acuerdo al límite que se indica en ella.
- ✓ Se ajusta la corriente a 120 Voltios, para que se caliente la muestra, y se coloca el piloto a gas, el cual se ubica a cierta distancia de la copa abierta que contiene la muestra.
- ✓ Se verifica el control de la temperatura, con un brazo que posee el termómetro que se introduce en el lugar de la combustión.
- ✓ Se observa el momento de destello e inmediatamente se saca el brazo con el termómetro para verificar la temperatura de ignición.

- ✓ Este procedimiento se realizará tres veces para el cemento portland y luego para el estearato de calcio, y finalmente se calculan las temperaturas de ignición para cada material.

3.3.2.3 Densidad relativa.

- Materiales y equipos a utilizar:
 - Dos cilindros graduados de 100 mL.
 - Balanza analítica de $\pm 0,001$ g.
 - Termómetro de mercurio con un error de ± 2 °C.
 - 100 ml de agua destilada.
 - 100 ml de cemento portland tipo CPCA-1, marca Holcim.
- Procedimiento experimental:
 - ✓ Se toman dos cilindros graduados limpios y secos, se mide una muestra en volumen del cemento portland y otra muestra en volumen de agua.
 - ✓ Se pesan ambas muestras en la balanza analítica.
 - ✓ Se mide la temperatura del agua.
 - ✓ Posteriormente se realiza el cálculo de la gravedad específica aparente con la densidad del cemento y de la sustancia referencia que en este caso es el agua, para obtener la densidad del cemento portland referente al agua.

3.3.3 Generación de propuestas tecnológicas para la solución de la extracción y recolección de polvo.

Inicialmente de acuerdo a lo expuesto en los puntos anteriores, se generan tres propuestas y se procede a seleccionar la que mejor se adapte a las condiciones de operación y del ambiente de trabajo, tomando en cuenta como criterios principales, equipos, ergonomía laboral y costos. Se procede a determinar las características

básicas de los equipos y materiales que conforman el sistema de extracción y recolección de las partículas de polvo, por lo tanto se utilizan herramientas bibliográficas, que estudian detalladamente lo esencial de los diferentes sistemas. Para efectos de determinar una propuesta factible de acuerdo a las condiciones de la empresa IMMERC C.A se realiza la comparación y el análisis de las características, equipos y materiales, de un sistema de extracción y del proceso de recolección, acorde a las condiciones y medio ambiente del galpón. Para ello se realiza la inspección visual y la medición del galpón tomando en cuenta su área, la ventilación natural existente y la distribución de la fuente de contaminación, factores determinantes para el diseño del sistema de extracción y recolección.

3.3.4 Diseño del sistema de extracción y recolección de polvo de la propuesta seleccionada.

De acuerdo a la inspección y medición realizada en la etapa anterior, se obtienen valores y condiciones necesarias para poder determinar las especificaciones de los equipos de acuerdo a los estándares ya existentes, en las bibliografías consultadas. Inicialmente de acuerdo al estudio realizado del tipo de contaminante, se obtiene la velocidad de captura, la cual se selecciona de acuerdo a los valores de la tabla 2.4 y luego fija la velocidad de transporte. Se debe tomar en cuenta que ambas velocidades dependen del tipo de contaminante y tamaño de partícula.

Para determinar las especificaciones de diseño de la ductería se toma como valor referencial la velocidad de transporte de las partículas, especificando el área de la sección transversal, por lo tanto es necesario determinar la geometría de la sección de la ductería, la cual puede ser rectangular o circular, además la rugosidad interna de la misma.

Los equipos para la depuración del aire como ciclón, filtro de manga, precipitador electrostático y otros a seleccionar, dependen de la velocidad de entrada al equipo, y



con el uso de las bibliografías consultadas se deben seleccionar los equipos con las condiciones adecuadas para capturar la mayor cantidad de partículas de polvo.

Para determinar el tipo de ventilador, se calcula la pérdida de carga en la succión asociada a cada componente del sistema, que se integra por la longitud de la ductería y accesorios, al equipo de depuración del aire y a la chimenea.

3.3.5 Estimación del costo de implementación del sistema de extracción y recolección de polvo diseñado.

En esta etapa se determinan los costos de los equipos que conforman el sistema. Para ello se cotizarán de acuerdo a las especificaciones de diseño determinadas en la etapa anterior, y se realiza una aproximación del suministro, costo e implementación de sistema, ajustándose a las condiciones operativas y económicas de IMMERC C.A.



CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se desarrollan detalladamente los pasos para cumplir con los objetivos planteados, obteniendo las especificaciones del sistema de extracción y recolección propuesto.

4.1 Determinación de la concentración de polvo suspendido en el aire.

De acuerdo a las normas COVENIN se determinó la concentración de polvo suspendido en el aire. El Período de evaluación fue del 14/07/09 al 20/07/09, exceptuando dos días no laborales 18/07/2009 y 19/07/09, se colectaron muestras durante aproximadamente 8 horas de trabajo continuamente, los cuales son de 7:30 a.m a 4 p.m.

Los pasos descritos en el capítulo III, para las mediciones de la concentración de polvo, realizadas según la norma 3643:2000 de “Calidad del aire, la determinación de la materia particulada suspendida (MPS) en la atmosfera con diámetros iguales a $10\ \mu m$ mediante un muestrador de alto volumen (PM10)” y la norma 2060:2005 de “Calidad del aire, y la determinación de la concentración de partículas totales suspendidas en la atmosfera (PTS)” se cumplieron a cabalidad, obteniéndose valores que fueron comparados con la normativa antes nombrada. Finalmente se utilizaron los modelos matemáticos descritos en las normas anteriores para determinar el valor de la concentración (ver apéndice B.1).

Los resultados de los análisis (ver apéndice B.1) indican que se tiene una concentración experimental promedio de $6,44\ mg/m^3$ de partículas totales suspendidas (PTS) en el galpón de mezclados en seco, según lo establecido por la norma 2253:2001 de “Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en ambientes de trabajo”, la concentración experimental se encuentra por debajo de concentración ambiental permisible (CAP) de $10\ mg/m^3$, por lo tanto la cantidad no es suficientemente alta como para contaminar el ambiente de trabajo y afectar la salud de los trabajadores;

sin embargo, las partículas respirables menores a $10\ \mu\text{m}$ (PM10) se encuentran a una concentración experimental promedio de $3,41\text{mg}/\text{m}^3$, lo cual indica que se supera la concentración de partículas respirables ($3\ \text{mg}/\text{m}^3$) de acuerdo a la norma 2253:2001.

Finalmente considerado el análisis realizado, se puede decir que se superó la concentración de partículas inhalables o respirables capaces de llegar a los alveolos pulmonares, lo cual indica que es necesario purificar el ambiente para obtener una mejor calidad del aire.

4.2 Caracterización de las partículas de polvo de manera físico-química.

De acuerdo a la metodología desarrollada en el capítulo anterior y con las pruebas realizadas por el Laboratorio de Química Orgánica (ver apéndice B.2), se pudo determinar que las partículas suspendidas poseen características físico-químicas de gran importancia para la determinación de los parámetros de diseño del sistema de extracción y recolección, con la determinación de la densidad relativa se tiene la masa del material particulado, antes de ser enviado al proceso de mezclado, lo que da una idea de la cantidad de material que se va extraer, posteriormente se obtiene la densidad del cemento que tiene un valor de $1.397\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Con la determinación de la temperatura de ignición del material particulado se condiciona al sistema para que resista temperaturas menores a la del punto de ignición del material particulado, para no provocar chispas y posibles incendios, se obtuvo que para el cemento, el punto de ignición ocurre a temperaturas mayores a $350\ ^\circ\text{C}$ y para el estearato de calcio mayores a $300\ ^\circ\text{C}$.

Finalmente se midió la granulometría del material particulado, prueba que permite constatar la presencia de partículas menores a 45 micrones en un porcentaje másico de 89,6%, lo cual indica el requerimiento inmediato de un sistema que extraiga partículas totales suspendidas e inhalables que ocasionan las irregularidades observadas en el ambiente de trabajo de los operarios.

4.3 Generación de propuestas y selección del sistema de extracción y recolección.

- **Áreas de aplicación.**

Se refiere a la ubicación del sistema de extracción, se tomó en cuenta que en el galpón N° 9 de IMMERC C.A hay cuatro (4) trompillos, los cuales se ubican en forma lineal (ver figura 4.1), el área de generación del contaminante es alta de acuerdo a los estudios realizados en las etapas anteriores, por lo que es necesario ubicar seis (6) campanas de extracción dispuestas en fila, de manera que se purifique el área contaminada que se genera en la boca de los trompillos, colocando cuatro (4) campanas y para el área donde se generan contaminantes por el llenado de sacos, se colocan dos (2) campanas.



Figura 4.1 Trompillos 1 y 2 en funcionamiento ubicados en el galpón de IMMERC C.A.

La ductería central que une el caudal extraído por todas las campanas se debe instalar dentro del galpón, sin embargo esta ductería se prolonga hacia las afueras del galpón ubicando los equipos de depuración en el área externa.

En el extremo superior del galpón, por encima de los trompo mezcladores, se encuentra un equipo extractor que se debe eliminar para poder hacer pasar la ductería hacia la parte externa del galpón (ver figura 4.2).



Figura 4.2 Extractor ubicado en la zona de mezclado en seco de IMMERC C.A.

Para la generación de las propuestas de extracción basadas en el área de aplicación, se plantean tres esquemas, para una ventilación localizada, cuya misión es la de poder atraer el aire con los contaminantes que contenga para trasladarlo al lugar de descarga, tomando en cuenta como elementos básicos:

- ✓ La captación o campana.
- ✓ El conducto o canalización.

- ✓ El separador o depurador de aire.
- ✓ El extractor de aire.

Se debe tomar en cuenta que son cuatro (4) trompillos y dos (2) bidones para el área de llenado de sacos.

Propuesta N° 1.

Está comprendida por una campana rectangular apoyada horizontalmente para cada trompo mezclador, y dos (2) campanas del mismo tipo para el proceso de llenado de sacos, ubicados en los extremos de la fila de los trompo mezcladores, ductería rígida de sección rectangular de pared interna lisa, ciclón y ventilador extractor (ver figura 4.3).

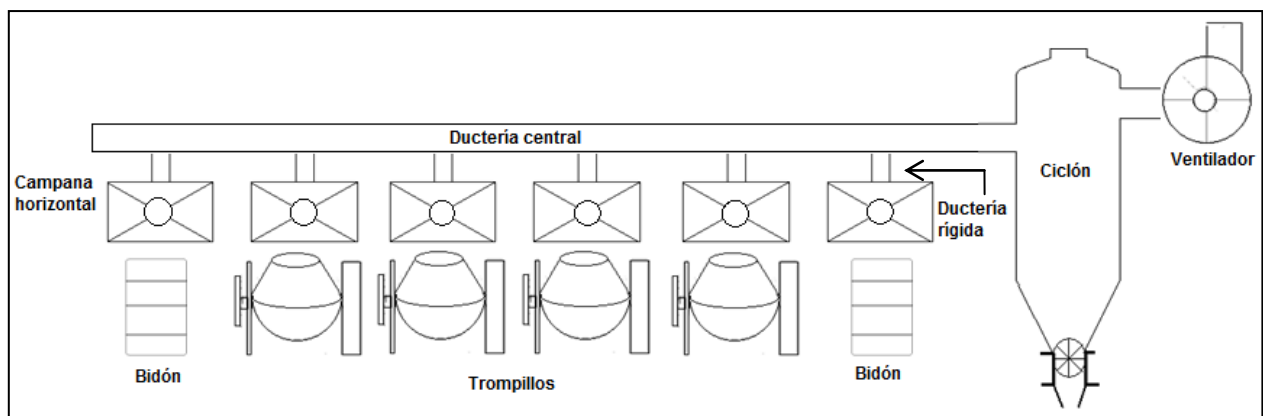


Figura 4.3 Esquema del sistema de extracción propuesto 1.

Propuesta N° 2.

Está comprendida por una cabina para cada trompo mezclador y una campana rectangular libremente suspendida para el área de llenado de sacos, ductería rígida de sección circular de pared interna lisa, colector de manga filtrante, y ventilador extractor (ver figura 4.4).

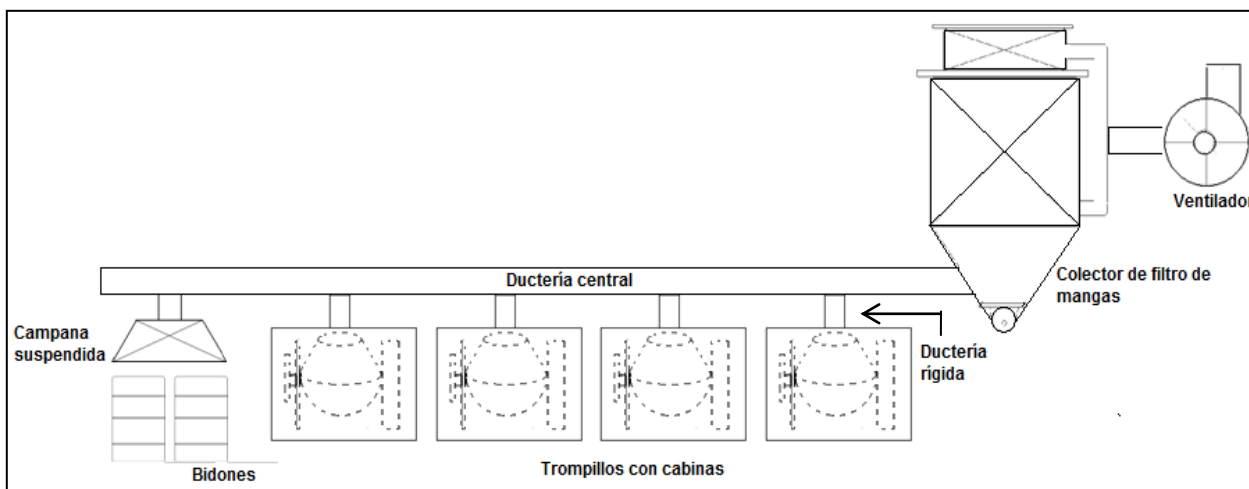


Figura 4.4 Esquema del sistema de extracción propuesto 2.

Propuesta N° 3.

Está comprendida por seis (6) campanas en forma de herradura, una para cada trompillo y dos (2) ubicadas en los extremos de la fila de los trompos mezcladores para el área de llenado de sacos, ductería rígida de sección circular para el tramo central del sistema y ductería flexible circular de pared interna lisa para la captación, ciclón, filtro de manga, y ventilador extractor (ver figura 4.5).

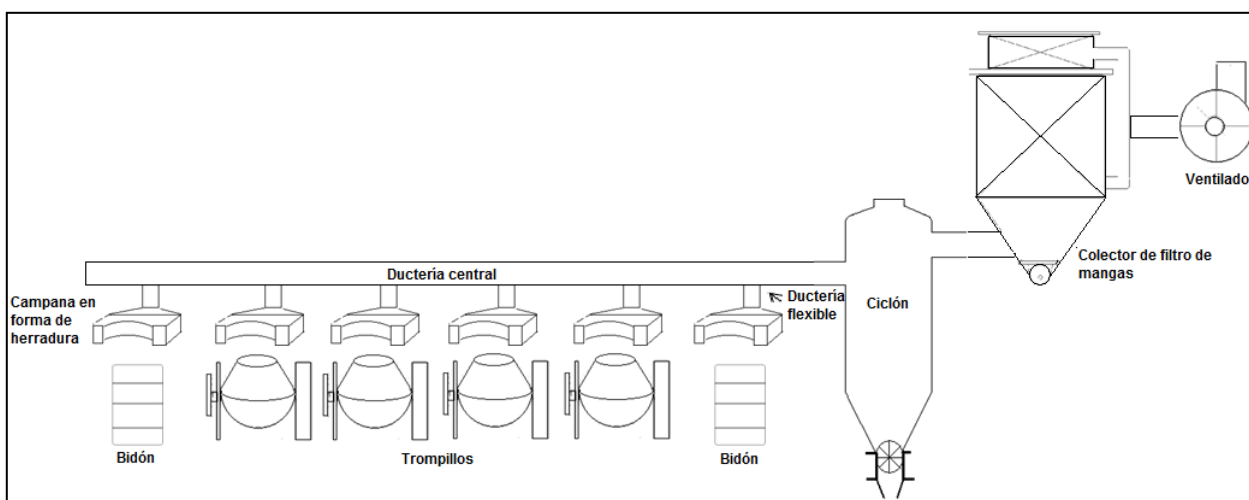


Figura 4.5 Esquema del sistema de extracción propuesto 3.

En las propuestas 1 y 2 se tienen campanas rectangulares abiertas, la diferencia entre ellas es que las campanas libremente suspendidas requieren mayor caudal para el proceso de captación que las apoyadas horizontalmente debido a la resistencia que ofrece la fuerza de gravedad ejercida en las partículas. En la propuesta 2, para los cuatro (4) trompillos, se tienen cabinas que permiten confinar por completo el foco de contaminación, sin embargo la cantidad de material para construir la cabina, incrementa el costo, las campanas rectangulares libremente suspendidas o apoyadas horizontalmente no contribuyen a la ergonomía del trabajador, ya que estas cabinas están sujetas a la concentración del contaminante por lo cual se estandarizan las mismas, teniendo como consecuencia la interferencia con la operación manual del trabajador, ya sea para carga o descarga del producto. En la propuesta 3 se tiene una campana tipo herradura, la cual se ajusta a la boca del trompillo, permitiendo la fácil manipulación del trompillo para la carga de material a mezclar y descarga del producto mezclado, además se ajusta a la boca del bidón lo que permite adecuarse a la ergonomía del trabajador para el llenado de los sacos.

En la propuesta 1 se tiene ductería rectangular rígida de pared interna lisa lo que genera mayores pérdidas de carga en el conducto, produce considerablemente sedimentación del contaminante en los vértices debido a la geometría de la superficie, trae como consecuencia la reducción de la velocidad de transporte, aumentando la fricción en la pared de la ductería y generan contracción de la presión estática en los accesorios que se ajustan al conducto. Las propuestas 2 y 3 se integran por ducterías de sección circular rígida de pared interna lisa, generando pérdidas de carga menores a la propuesta 1, ya que la distribución de la velocidad de transporte es más homogénea, evitando la disposición del contaminante en altos volúmenes en la ductería, soporta valores elevados de presión estática, el roce en estos tipos de conductos es menor teniendo en cuenta que la humedad del flujo de aire en la ductería debe ser baja.

En la propuesta 3 se tiene ductería flexible de pared lisa en el proceso de captación ya que evita la utilización de accesorios que generan pérdidas de carga,

además es de fácil manipulación para los operarios y es medianamente pesada respecto a la ductería convencional.

En la propuesta 1 se tiene un ciclón, este equipo permite la separación de partículas mayores a $5\ \mu m$, es de gran sencillez, compacto y su eficiencia depende de su tamaño físico y del tamaño de las partículas, sin embargo si la velocidad de entrada al ciclón es muy alta puede ocasionar la suspensión del material particulado, a diferencia de la propuesta 2 donde se tiene un colector de mangas, éste se integra por varias mangas filtrantes que al llenarse forman una torta de material y que al ser sacudida cae en la tolva, colectando partículas menores a $10\ \mu m$, estas partículas son las que producen riesgo en la salud de los trabajadores. Los filtros de tela recolectan partículas de tamaños que van desde las submicras hasta varios cientos de micras de diámetro, con eficiencias generalmente muy altas. La capa de polvo o torta recolectada sobre la tela es la razón principal de esta alta eficiencia. En la propuesta 3 se tienen ambos equipos, un ciclón y un colector de mangas, por lo que trae una gran ventaja para la recolección de una mayor cantidad de partículas.

Se selecciona la propuesta 3 ya que es el sistema más completo, posee los equipos necesarios para realizar la mayor extracción de contaminantes del área de operaciones laborales, ajustado convencionalmente a un proceso que separa partículas de mayor tamaño al descrito ($10\ \mu m$) y las de menor o igual tamaño colectarlas en su totalidad, pudiendo reutilizarse y reinsertarse en el proceso nuevamente, tomando en cuenta también que el diseño obedece firmemente a facilitar la ergonomía del trabajador. No interfiere en el proceso de mezclado y descarga, tiene la disposición de una ductería flexible que se adapta con un mecanismo de deslizamiento unidireccional que facilita la ubicación y disposición de la campana para la extracción del material particulado, el resto de la ductería es de hierro de calibre moderadamente liviano, abaratando el costo por equipo y extracción.

Para la generación de las dos propuestas de recolección se plantean los siguientes casos:

Caso 1: En cuanto a la recolección se plantea adecuar un sistema manual, para el colector de mangas se propone la acumulación de sedimentos en una tolva, los cuales se descargan a través del procedimiento de sacudido electro neumático y para el ciclón se propone de igual manera la acumulación de sedimentos que caen por efecto de la gravedad, en ambos casos cada vez que se acumule una cantidad considerable de material, se acciona cada cierto tiempo una válvula rotativa que descarga el cumulo de material hacia los sacos especiales (big-bags), cuyos tamaños están ajustados a la cantidad de material colectado, finalmente el material particulado es llevado de nuevo al sistema manual de carga.

Caso 2: Se plantea el proceso de recolección por medio de la inserción de una cinta transportadora del material particulado recolectado, la cinta transportadora sólo sería estrictamente necesaria en casos donde la cantidad de contaminante sea en grandes volúmenes a la salida del colector filtrante.

Se selecciona el caso 1, referido a la recolección de tipo manual con el uso de sacos (big-bags), ya que es de bajo costo, el galpón no posee suficiente espacio físico para insertar bandas transportadoras y se puede reutilizar fácilmente el producto colectado ajustándose a las condiciones operativas de IMMERC C.A.

4.4 Diseño del sistema de extracción y recolección de polvo.

Luego de que se generaron las propuestas para la extracción y recolección de polvo y se seleccionó la más adecuada, se procedió a la determinación de las partes que conforman al sistema de extracción y recolección de partículas de polvo (ver apéndice A.1).

4.4.1 Campanas recolectoras de contaminantes.

De acuerdo al análisis realizado, se procedió a calcular las dimensiones de la campana, se obtuvo como mejor opción una campana tipo herradura (ver anexo 5), ajustada a la boca del trompillo (ver figura 4.6), obteniéndose como datos

experimentales el perímetro de la boca de los trompillos y del bidón de mezclado (ver tabla 4.1), se determinó el diámetro de la boca del bidón (ver figura 4.7), a cuyo diámetro se le incrementa 0,3 m para indicar la expansión del radio de contaminación (ver anexo 5), el cual se tomó como valor crítico para el cálculo de la superficie donde se concentra la mayor cantidad de contaminante.

Tabla 4.1. Medidas de la boca de los trompillos y el bidón.

Medidas	Perímetro de la boca (m)	Diámetro de la boca (m)	Área de la boca (m ²)
Trompillo 1 y 2	1,300	0,413	0,134
Trompillo 3 y 4	1,500	0,477	0,179
Bidón	1,700	0,541	0,229



Figura 4.6 Trompillo en funcionamiento en el galpón de IMMERC C.A.



Figura 4.7 Bidón de la mezcla en seco para el llenado de sacos.

El caudal que entra en la campana, se determinó con la siguiente relación de caudal (Goberna, 1992), ver anexo 5:

$$RQ=0,51\frac{m^3/s}{m^2}$$

Trabajando con el diámetro del bidón por ser el mayor, se tiene que el caudal para una sólo campana es (ver ecuación 4.1):

$$Q = RQ \times A_{contam} \quad 4.1$$

Donde:

Q : Caudal de aire en la captura de una campana $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

A_{contam} : Superficie de concentración del contaminante (m^2)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene que:

$$Q = 0,51 \frac{m^3}{s} \times \left[\pi \times \frac{(0,541 m + 0,3 m)^2}{4} \right]$$

$$Q = 0,283 \frac{m^3}{s}$$

El galpón tiene una entrada de aire, en uno de sus lados, lo cual permite el movimiento leve de las partículas de polvo (ver figura 4.8), con esta información y con la condición de dispersión del contaminante observado en el galpón, se puede definir una velocidad de captación referenciada por la tabla 2.4.



Figura 4.8 Portón de entrada al galpón N° 9 de IMMERC C.A.

En cada una de las condiciones citadas en la tabla 2.4, se indica un intervalo para los valores de la velocidad de captura. La selección de los valores dados depende de los siguientes factores:

- La presencia de grandes masas de aire.
- El hecho de que el contaminante permanezca bajo la influencia de la campana durante un tiempo mayor.
- Tipo de contaminante.

Se debe destacar que el ancho de la campana es de $0,1\text{ m}$, posee una rendija en la boca de captura de $0,025\text{ m}$ de ancho (ver apéndice A.2) y un largo que se calcula con la ecuación 4.2, (Goberna, 1992):

$$L_{camp} = 0,3\text{ m} + D_{bt} \quad 4.2$$

Donde:

L_{camp} : Largo de la campana (m)

D_{bt} : Diámetro de la boca del bidón (m)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene que:

$$L_{camp} = 0,300\text{ m} + 0,541\text{ m}$$

$$L_{camp} = 0,841\text{ m}$$

Pero además la velocidad de captura se puede calcular de la siguiente manera (ver ecuaciones 4.3 y 4.4). El largo de la rendija es la mitad del perímetro del bidón y además se le incrementa $0,3\text{ m}$ para que se ajuste al largo total de la campana y cubra la superficie del área contaminada (ver anexo 5).



$$Ar = Ancho \times L_{rendija}$$

4.3

Donde

Ancho: Ancho de la rendija (*m*)

Ar: Área de la rendija (*m*²)

L_{rendija}: Longitud de la rendija (*m*)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene que:

$$Ar = 0,025 \text{ m} \times \left(\frac{1,7 \text{ m}}{2} + 0,3 \text{ m} \right)$$

$$Ar = 0,029 \text{ m}^2$$

Posteriormente se tiene la ecuación 4.4:

$$Vr = \frac{Q}{Ar}$$

4.4

Donde

Vr: Velocidad de aire en la rendija ($\frac{m}{s}$)

Entonces, sustituyendo los valores en la ecuación 4.4, se tiene que:

$$Vr = \frac{0,283 \frac{m^3}{s}}{0,029 \text{ m}^2}$$

$$Vr = 9,759 \frac{m}{s}$$

Esta velocidad en la rendija $9,759 \frac{m}{s}$ es la misma velocidad de captura, la cual se compara con la establecida en la tabla 2.4, tomando en cuenta que existe una alta masa de aire y la entrada de la campana es de bajo espesor, este valor se encuentra dentro del intervalo $(2,5-10) \frac{m}{s}$, de partículas con alta velocidad inicial.

De acuerdo a la tabla 2.4 y a las características de campana (ver anexo 5) la velocidad de transporte del aire en el conducto es (Goberna, 1992):

$$Vt = 18 \frac{m}{s}$$

4.4.2 Ductos.

En la mayor parte de las aplicaciones de ventilación industrial para la captación de polvo es recomendable el uso de conductos de sección circular (ver apéndice A.1). En comparación con los conductos no circulares presentan una menor pérdida de carga y una mayor resistencia estructural que permite el empleo de menores espesores de chapa y menos refuerzos. Inicialmente se puede tomar como referencia el caudal extraído por la campana, pero además, se conserva la velocidad de transporte de $18 \frac{m}{s}$. Empleando la ecuación 4.5, se obtiene el caudal a extraer en una sola campana. Por lo tanto:

$$Qc = Vc \times \frac{\pi \times \phi c^2}{4} \quad 4.5$$

Donde:

Qc : Caudal de aire en el conducto de la campana $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

ϕc : Diámetro del conducto de la campana (m)

Vc : Velocidad de aire en el conducto de la campana $\left(\frac{m}{s}\right)$

Despejando el diámetro del conducto de la campana de la ecuación 4.6, se obtiene que:

$$\phi_c = \sqrt{\frac{4 \times Q_c}{V_c \times \pi}} \quad 4.6$$

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene que:

$$\phi_c = \sqrt{\frac{4 \times 0,283 \frac{m^3}{s}}{18 \frac{m}{s} \times 3,1416}}$$

$$\phi_c = 0,142 \text{ m}$$

Este cálculo es para una sola campana, posteriormente se obtienen todos los parámetros para las ducterías de diferentes caudales haciendo uso de las ecuaciones 4.5 y 4.6. Ver apéndice A.1 para observar la disposición de la ductería, aunado a los parámetros obtenidos en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Parámetros obtenidos para la ductería principal.

Parámetros de los conductos	Caudal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$	Área (m^2)	Diámetro (m)
$Q(b'-c')=Q(a-b')+Q(b-b')$	0,567	0,031	0,200
$Q(c'-d')=Q(b'-c')+Q(c-c')$	0,850	0,047	0,245
$Q(d'-e')=Q(c'-d')+Q(d-d')$	1,134	0,063	0,283
$Q(e'-f')=Q(d'-e')+Q(e-e')$	1,417	0,079	0,317
$Q(f'-g)=Q(e'-f')+Q(f-f')$	1,700	0,094	0,347

El caudal $Q_{f'-g}$ es el total obtenido de la suma de los caudales que entran a través de las campanas, y que posteriormente entra al sistema de depuración. El

sistema de ducterías está conformado por dos tipos de materiales, la ductería flexible para las campanas y la ductería principal rígida.

Para la selección de la ductería de la campana (ver tabla 4.3), se determinó que el tipo de material más adecuado es de tipo espiro P.U antiestático (ver anexo 6), para evitar que se depositen las partículas de polvo de cemento en la superficie de la ductería de la campana, ya que posee una pared interior lisa, la cual provocará una caída de presión menor que si fuese corrugada y se le puede dar la forma que se desee con una mayor flexibilidad al momento de trabajar, además con una resistencia a la abrasión moderada ya que los polvos a extraer son provenientes del cemento utilizado en el proceso conjuntamente con impurezas. Con el diámetro de la ductería de la campana ($\phi_c = 0,142 \text{ m}$) se obtiene el espesor de la ductería flexible que es 5 mm , y un radio de curvatura de 140 mm (ver anexo 6).

Tabla 4.3. Características de las ducterías.

TIPO DE DUCTERÍA	PARED INTERIOR LISA	ANTIESTÁTICO	PESO	RESISTENTE A LA ABRASIÓN
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

Para la ductería flexible adaptada a la campana, se tiene un mecanismo de deslizamiento (ver apéndice A.3), capaz de soportar el peso de la campana (30 kg), que está integrado por una viga riel (corredera) de hierro colado, unida a una estructura unidireccional seguidora (garrucha), la cual se puede observar en el apéndice A.4, dispone de un sistema de sujeción por un cable trenzado de acero que se conecta a la estructura sostén (viga IPN), todo esto unido a la campana de extracción a través de un soporte soldado a la misma, siendo un elemento de periodos móviles, que el operador utilizará según la producción. La campana posee dos mangos soldados, el operario al aplicar una leve fuerza produce el arrastre necesario para agregar tensión en el cable

trenzado de acero (ver apéndice A.3 y A.5) y de esa manera impulsar necesariamente el mecanismo seguidor (garrucha) en un desplazamiento de forma unidireccional en el sentido de la viga eje carril (corredera) dispuesta para el transporte mecánico (ver apéndice A.5), agregando de esa forma ergonomía al movimiento de la campana haciendo el proceso mucho más dinámico, rápido y sencillo de operar, ya que la corredera tomará la misma dirección y sentido producido por el operador para la succión del foco de contaminación.

Para la ductería principal rígida, de acuerdo a la tabla 2.5, el sistema de extracción localizada es clase 4 para concentraciones elevadas de partículas de polvo, entre 0,200 y 0,450 *m* de diámetro de los tramos rectos, tomando en cuenta que el diámetro de la ductería está entre (0,200-0,347) *m* (ver tabla 4.2), por lo tanto se selecciona ductería de chapa galvanizada de espesor 2 *mm* aproximadamente (calibre 16), ya que el valor del intervalo de diámetro de la ductería diseñada se encuentra dentro del intervalo de diámetros dados en la tabla 2.5.

Los cambios de sección de los conductos principales y subprincipales son progresivos. Todas las ramas que se incorporan al conducto principal en el centro de la zona de transición no exceden los 45°. El valor más adecuado es un ángulo de 30°. Esto se hace para minimizar las turbulencias y evitar la deposición de partículas, las uniones se diseñaron para ser colocadas lateralmente, evitando que dos ramas se unan al conducto principal en un mismo punto. Como este tipo de partículas a extraer tienden a depositarse en los conductos, se disponen seis (6) compuertas de limpieza en los tramos horizontales en las proximidades de un codo y de las uniones, así como se observa en el apéndice A.1 (Goberna, 1992).

Las compuertas se ubican aproximadamente a 1,5 *m* una de otra. Se diseñaron tapas de 15 *cm* de diámetro aproximadamente de uso práctico, en todos los extremos ciegos del conducto. Los conductos están ubicados a una separación de 0,4 *m* de la pared, para efectos de una mejor instalación y mantenimiento.

La ductería rígida debe sostenerse firmemente a la estructura de la pared del galpón con una viga de soporte de acero ASTM A36 (ver apéndice A.6), material que es utilizado de manera frecuente para el sostén de estructuras para ducterías de ventilación, tiene como características importantes, ser un acero liviano, reforzado, resistente, económico y bastante seguro, no permite mucha permeabilidad a la fluencia, bajo alargamiento, baja tasa de oxidación y tenacidad, es un buen empleador de la distribución de cargas suspendidas. De forma general estos anclajes son colocados con pernos templados tipo ASTM 325-T1, estos pernos se diferencian en el tamaño de su cabeza hexagonal y la longitud de su cuerpo, en general las longitudes de rosca de este perno estructural son bastantes finas, importantes para la colocación en piezas de sostén adyacentes a la estructura, también se utiliza una arandela plana del mismo acero para evitar el corrimiento, giro de la tuerca y giro de la viga sostén a detener, lo que hace posible un buen sistema. La distribución de estos soportes en la ductería central se puede observar en el apéndice A.7.

4.4.3 Diseño del ciclón.

El dimensionamiento de un ciclón en general (ver apéndice A.8 y A.9) viene dado por ensayo y error, sin embargo se tienen ecuaciones que permiten calcular las dimensiones del mismo, tomando como parámetro principal el diámetro del ciclón (D_c), (ver figura 4.9).

Con la velocidad de transporte (V_t) de $18 \frac{m}{s}$ y el caudal del ciclón $1,700 \frac{m^3}{s}$, se obtiene el área de la entrada del aire contaminado en el ciclón, por medio de la siguiente ecuación:

$$A_{ciclón} = \frac{Q_{ciclón}}{V_t} \quad 4.7$$

Donde:

$A_{ciclón}$: Área de la entrada del gas en el ciclón (m^2)

$Q_{\text{ciclón}}$: Caudal de aire en el ciclón $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

V_t : Velocidad de transporte del aire en el conducto $\left(\frac{m}{s}\right)$

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene que:

$$A_{\text{ciclón}} = \frac{1,700 \frac{m^3}{s}}{18 \frac{m}{s}}$$

$$A_{\text{ciclón}} = 0,094 m^2$$

Según Nuñez F. (1975) el ciclón debe tener una velocidad de entrada entre 15 y 20 m/s , para asegurar que el gas tome una fuerza centrífuga tal que las partículas se proyecten en contra de la pared del ciclón y puedan ser capturadas, en este caso se mantiene la velocidad constante a 18 m/s , al igual que la velocidad de transporte de la ductería. El área de la ductería (geometría circular) y el área de entrada del gas al ciclón (geometría rectangular), deben ser iguales para que el caudal sea constante. Cumpliendo con la condición anterior se obtuvo que la altura de la entrada del gas al ciclón (H_c , ver figura 4.9) es 0,435 m y con este dato se calcula el diámetro principal del ciclón (D_c) (ver ecuación 4.8):

$$D_c = 2 \times H_c \quad 4.8$$

Donde:

H_c : Altura de entrada de gas (m)

D_c : Diámetro principal del ciclón (m)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene que:

$$D_c = 2 \times 0,435 \text{ m}$$

$$D_c = 0,870 \text{ m}$$

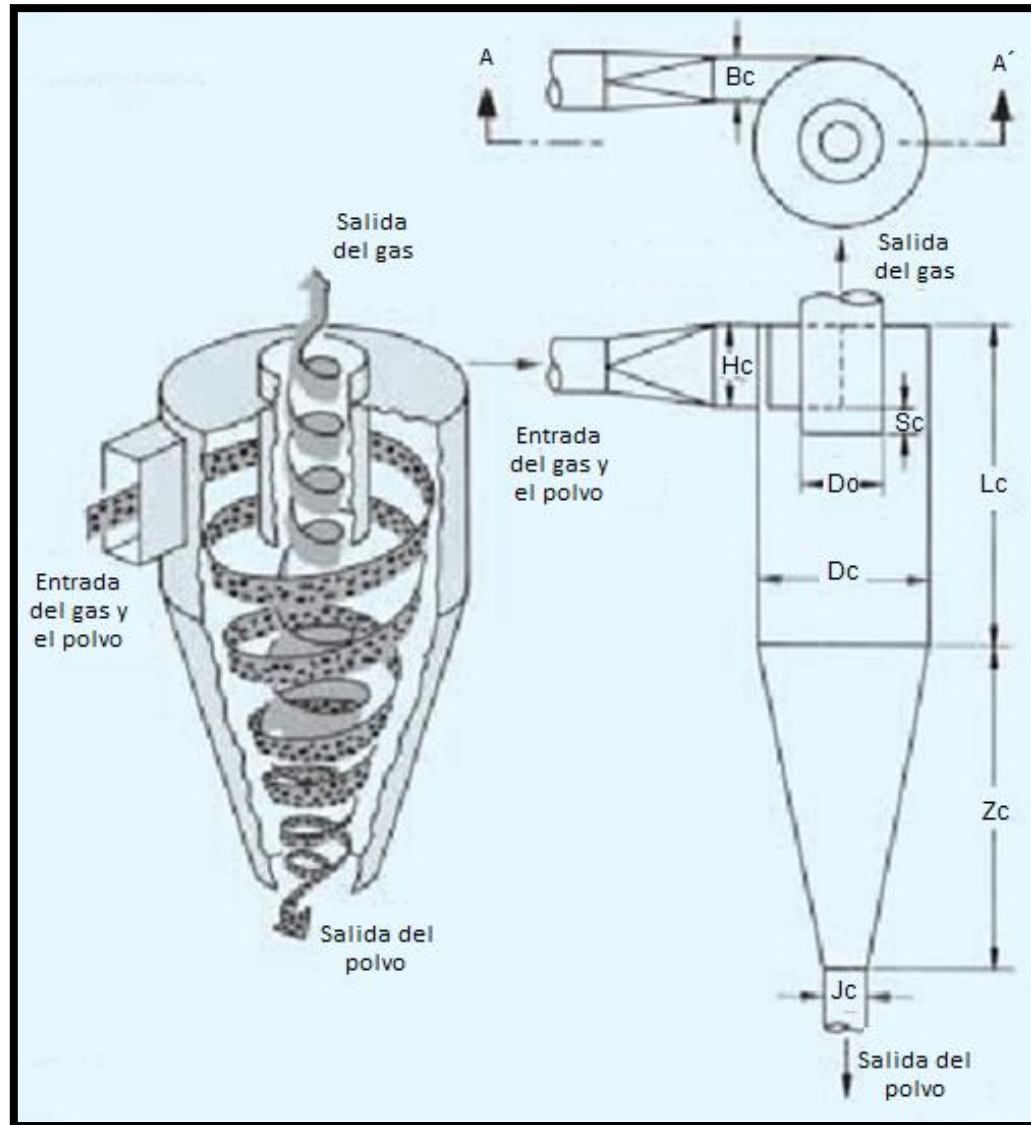


Figura 4.9 Dimensiones del diseño de un ciclón (Escoda, 2007).

Para el cálculo de todas las dimensiones del ciclón se tienen las siguientes ecuaciones (ver ecuaciones 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14):



$$Bc = \frac{Dc}{4} \quad 4.9$$

Donde:

Bc : Ancho de entrada de gas (m)

$$Do = \frac{Dc}{2} \quad 4.10$$

Donde:

Do : Diámetro de salida de gas (m)

$$Lc = 2 \times Dc \quad 4.11$$

Donde:

Lc : Altura del cilindro del ciclón (m)

$$Sc = \frac{Dc}{8} \quad 4.12$$

Donde:

Sc : Diferencia entre entrada y salida de gas (m)

$$Zc = 2 \times Dc \quad 4.13$$

Donde:

Zc : Altura del cono del ciclón (m)

$$jc = \frac{Dc}{4} \quad 4.14$$

Donde:

jc : Diámetro de salida de polvo (m)

Sustituyendo el valor del diámetro del ciclón de $0,870 m$ en las ecuaciones, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, se obtienen los siguientes resultados: $Bc = 0,217 m$, $Do = 0,435 m$, $Lc = 1,738 m$, $Sc = 0,109 m$, $Zc = 1,738 m$ y $jc = 0,217 m$.

4.4.4 Diseño del filtro de mangas.

Para el diseño del colector de filtro de mangas es necesario tener en cuenta el caudal de $1,700 \frac{m^3}{s}$. En el catálogo de fabricación de colectores de polvos, para el cemento, se observa en el anexo 7, que se tiene un intervalo de velocidad de filtrado entre 146 y $183 m/h$ ($0,04$ - $0,05 m/s$), (Núñez, 1975).

Con la velocidad de filtrado seleccionada de $0,05 \frac{m}{s}$, se asegura que no se formen tortas del material filtrado que se acumulen constantemente en los filtros de mangas. Con este valor se procede a calcular el área de filtrado (ecuación 4.15):

$$Af = \frac{Qf}{Vf} \quad 4.15$$

Donde:

Af : Área de filtrado (m^2)

Qf : Caudal de aire que entra al filtro de mangas ($\frac{m^3}{s}$)

Vf : Velocidad de filtrado del aire contaminado ($\frac{m}{s}$)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene:

$$Af = \frac{1,700 \left(\frac{m^3}{s} \right)}{0,05 \frac{m}{s}}$$

$$Af = 34 m^2$$

Se tomó la mayor velocidad de filtración del intervalo para obtener la menor área de filtración.

En la tabla descrita en el anexo 8 se puede seleccionar el número de mangas con el área de filtración ya calculada, asumiendo un valor inmediato superior a $34 m^2$, se tiene que:

Para $36 m^2 \rightarrow 36 mangas$

A su vez con el número de mangas se pueden obtener las siguientes dimensiones del colector de filtro de mangas (ver anexo 8): $A = 1,95 m$, $B = 2,65 m$, $C = 0,95 m$, $D = 1,95 m$ y se definen filas de 6x6 mangas y un filtro de forma rectangular, que pesa $720 kg$ (ver figura 4.10). Las vistas y dimensiones del filtro de mangas se pueden observar en los apéndices A.10 y A.11.

Según el catalogo de HASCO ENGINEERING S.A (2009), la manga debe tener un diámetro y un largo aproximado de $0,145 m$ y $2,4 m$ respectivamente.

De acuerdo a la prueba realizada en el Laboratorio de Química Orgánica de la Universidad de Carabobo (ver apéndice B.2), el punto de ignición del cemento es de $350 ^\circ C$ por lo que no representa peligro de explosión, por lo tanto el material filtrante más adecuado es de poliéster; tiene gran resistencia y tolerancia a la abrasión, presenta buena resistencia a los ácidos y oxidantes, y aguanta temperaturas en

períodos cortos hasta de 170 °C, sin embargo se deben mantener temperaturas en el sistema que sean menores a la que resiste la manga filtrante. Con los filtros de tela también, se deben fabricar 36 rejillas de igual diámetro y longitud de las mangas, con un material de acero, con la misma forma de las mangas de tela para mantenerla en su forma original a la hora de la inyección de chorros de aire. La tolva de recepción es de forma rectangular y se ajusta en la parte inferior del filtro de magas, además se asegura que el tamaño de la tolva sea el adecuado para la cantidad de polvo a recolectar.

Según Turner H. (1998), la descarga depende del fabricante, el tiempo de inyección de aire en cada fila de mangas, así como su intermitencia es comandado por un controlador electrónico que envía una señal a las válvulas solenoides encargadas de regular el flujo de aire.

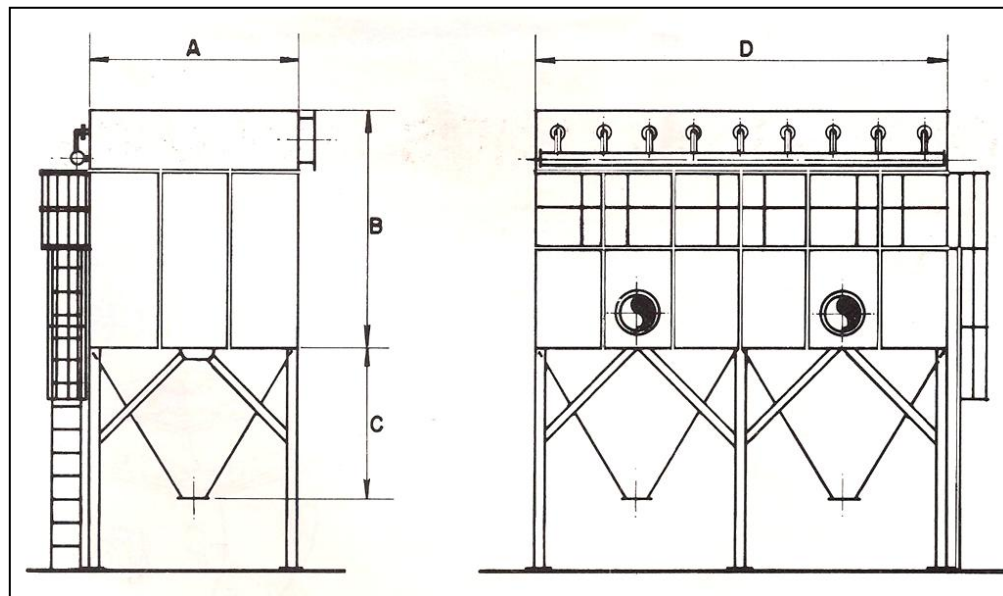


Figura 4.10 Vistas frontal y lateral del colector de filtro de mangas para determinar sus dimensiones (Núñez, 1975).

4.4.5 Ventilador.

Para determinar el ventilador adecuado, es necesario conocer el cabezal estático necesario para que el ventilador transporte las partículas a través de los conductos sin

acumular restos del contaminante en las ductería. Para poder obtener el cabezal estático es necesario calcular las pérdidas generadas por las ducterías, campanas, accesorios, filtro de mangas y el ciclón, para luego así poder obtener las pérdidas de carga totales del sistema.

A continuación se presentan los cálculos necesarios para obtener las pérdidas de carga en el camino crítico desde $a - j'$ (ver apéndice A.1):

- **Presión dinámica:**

Según Goberna, (1992) con la velocidad de transporte de 18 m/s , se lee el valor en el anexo 9, y se obtiene el valor de presión dinámica (PDV) en el tramo $a - a'$:

$$PDV = 19,822 \text{ mmcda}$$

Este valor servirá de ayuda para la pérdida en los accesorios ya que la mayoría se encuentran en función de la presión dinámica del sistema.

- **Pérdidas en la ductería:**

Para determinar las pérdidas se utilizó el gráfico de pérdidas en función de la presión dinámica por metro de ductería (ver anexo 10), con los datos siguientes:

- $V_t = 18 \text{ m/s}$.
- Diámetro del tramo $a-a'$ ($\phi_{a-a'} = 0,142 \text{ m}$).
- $Q = 0,283 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

Posteriormente a través del gráfico y con el uso de los datos anteriores para el tramo $a - a'$, se obtuvo la pérdida en función de la presión dinámica por metro de conducto, obteniéndose que:

$$Hf\phi(PDV/m) = 0,157 \frac{PDV}{m}$$

Para la ductería flexible de los tramos $a - a'$, $b - b'$, $c - c'$, $d - d'$, $e - e'$ y $f - f'$ (ver apéndice A.1) se tomaron las mismas gráficas que para ducterías de chapa de hierro galvanizado, ya que la pared interna de ambos tipos de ducterías es lisa (Goberna, 1992).

Para el tramo $a - a'$ y utilizando la siguiente expresión (ver ecuación 4.16), se obtienen las pérdidas en función de la presión dinámica:

$$h\phi(PDV) = Hf\phi(PDV/m) \times Ld\phi \quad 4.16$$

Donde:

$h\phi(PDV)$: Pérdida en presión dinámica (PDV)

$Hf\phi(PDV/m)$: Factor de pérdida de carga en presión dinámica por metro de ductería (PDV/m)

$Ld\phi$: Longitud de la ductería (m)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior:

$$h\phi(PDV) = 0,157 \frac{PDV}{m} \times 1,500m$$

$$h\phi(PDV) = 0,235 PDV$$

Luego el resultado anterior se multiplica por la presión dinámica hallada con el gráfico del anexo 9, obteniendo la ecuación 4.17:

$$hd\phi = h\phi(PDV) \times PDV \quad 4.17$$

Donde:

$hd\emptyset$: Pérdida en la ductería ($mmcda$)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene:

$$hd\emptyset = 0,235 PDV \times 19,822 mmcda$$

$$hd\emptyset = 4,658 mmcda$$

De igual manera con las ecuaciones 4.16 y 4.17 se determinan las pérdidas para las ducterías de los tramos $a - a', a' - b', b - b', b' - c', c - c', c' - d', d - d', e' - f', e - e', f - f', f' - g, h - h', i - i', j - j'$ (ver tabla 4.4).

- **Pérdida en la campana extractora:**

Goberna (1992), establece que para calcular las pérdidas generadas en la campana extractora se toma la ecuación 4.18 (ver anexo 5), para campanas en forma de herradura y en este caso ajustada para el tamaño de la boca del trompillo y del bidón.

$$hdc(PDV) = 0,25 \times PDV + 1,78 \times PDr \quad 4.18$$

Donde:

$hdc(PDV)$: Pérdida en la entrada de la campana en presión dinámica ($mmcda$)

PDr : Presión dinámica en la rendija ($mmcda$)

Para calcular la presión dinámica de la rendija se necesita la velocidad de la rendija V_r y la tabla para determinar la presión dinámica (ver anexo 9), dato con el cual, se halla la presión dinámica en la rendija, obteniendo el siguiente valor:

$$PDr = 5,944 \text{ mmcda}$$

Luego sustituyendo los valores en la ecuación 4.18, se obtiene la pérdida de carga en la entrada de la campana:

$$hdc(PDV) = 0,25 \times 19,822 \text{ mmcda} + 1,78 \times 5,944 \text{ mmcda}$$

$$hdc(PDV) = 15,536 \text{ mmcda}$$

Según Goberna R. 1992, las pérdidas en la campana se determinan finalmente, con la suma de las pérdidas de la campana en presión dinámica y la presión dinámica (ver ecuación 4.19).

$$hdc = hdc(PDV) + PDV \quad 4.19$$

Donde:

hdc : Pérdida de carga en la entrada de la campana (mmcda)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene:

$$hdc = 15,536 \text{ mmcda} + 19,822 \text{ mmcda}$$

$$hdc = 35,358 \text{ mmcda}$$

Las pérdidas en cada una de las campanas definidas por los tramos $b - b'$, $c - c'$, $d - d'$, $e - e'$ y $f - f'$ (ver apéndice A.1), son exactamente iguales a las obtenidas en el tramo $a - a'$, haciendo uso de las ecuaciones 4.18 y 4.19.

- **Pérdida de carga por accesorios.**

Para determinar las pérdidas en los codos (ver apéndice A.12) es necesario seleccionar una fracción de pérdida de carga en función de PDV, para un $R/D = 2$ (ver anexo 11). Para un codo de 90° se obtuvo que:

$$f_{codo} = 0,270$$

Entonces la pérdida para un codo de 90° , es:

$$h_{codo}(90^\circ) = f_{codo} \times PDV$$

4.20

Donde:

$h_{codo}(90^\circ)$: Pérdida en un codo de 90° ($mmcda$)

f_{codo} : Fracción de pérdida de carga para el codo ($adim$)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene:

$$h_{codo}(90^\circ) = 0,270 \times 19,822 \text{ mmcda}$$

$$h_{codo}(90^\circ) = 5,352 \text{ mmcda}$$

En el tramo $f - g$ hay cinco (5) codos, por lo que:

$$h_{codo}(90^\circ)_{f-g} = 5 \times h_{codo}(90^\circ) = 26,758 \text{ mmcda}$$

Para determinar las pérdidas de las uniones (ver anexo 12), ensanchamientos y estrechamientos (ver anexo 13) se utilizó el mismo procedimiento que para los codos, se halla el factor de pérdida en presión dinámica y se multiplica por la presión dinámica PDV (ver ecuación 4.20), tomando en cuenta cada tramo de ductería (ver tabla 4.4).

- Unión de 45 °, factor de pérdida en presión dinámica 0,28 (ver anexo 12). En el caso de las uniones se suman los caudales que entran, conservando la velocidad en los tramos $a - b, b - c, c - d, d - e, e - f, f - g$. Estas uniones tienen forma cónica circular, de esta manera se disminuyen los vórtices generados por el fluido compresible que ocasionan las pérdidas de carga en el accesorio.
- Estrechamiento de 20°, factor de pérdida en presión dinámica 0,10 (ver anexo 13 y apéndice A.13). Para que ocurra una entrada de partículas con la velocidad adecuada al ciclón se transforma el área circular a rectangular, de esta manera se asegura que la velocidad radial procure la separación inmediata de las partículas según su tamaño, este accesorio se incluye en el tramo $f - g$ y para calcular la pérdida de esta transformación se asume que el factor de pérdida en presión dinámica es igual al de un estrechamiento.
- Estrechamiento de 20°, factor de pérdida en presión dinámica 0,10 (ver anexo 13 y apéndice A.13). Tomando en cuenta que, el diámetro a la entrada del ensanchamiento en el tramo $h - h'$ es igual al de la salida del gas en el ciclón (0,435 m) y el diámetro a la salida del ensanchamiento debe ser igual al diámetro principal de la ductería (0,347 m), se debe mantener un equilibrio de velocidad de entrada al colector de mangas, para evitar el taponamiento de las mangas.

Es importante que los estrechamientos tengan forma cónica entre ambos diámetros y no un cambio de diámetro brusco, de esta manera los vórtices generados por el fluido compresible disminuyen y a su vez reducen las pérdidas.

- **Pérdidas en el ciclón.**

Para las pérdidas del ciclón se utilizó la ecuación general para ciclones (ver ecuación 4.21), desarrollada para velocidades de transporte alrededor de $16 \frac{m}{s}$, descrita por Núñez F. (1975).

$$\Delta P_c = 0,4108 \times \rho_{gas} \times Vt^2 \quad 4.21$$

Donde

ΔP_c : Pérdidas en el ciclón (*mmcda*)

ρ_{gas} : Densidad del gas ($\frac{kg}{m^3}$)

Sustituyendo los valores en la ecuación 4.21, se tiene:

$$\Delta P_c = 0,4108 \times 1,2 \frac{kg}{m^3} \times \left(18 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$\Delta P_c = 159,720 \text{ mmcda}$$

- **Pérdidas en el filtro de mangas.**

Para las pérdidas en el filtro de mangas se toman en cuenta ciertos parámetros ajustados para filtros de manga tipo chorro, con pulsaciones de aire para realizar la limpieza de las mangas en cada fila (Turner, 1998).

Las variables más importantes son las siguientes:

- ✓ Concentración de las partículas de polvo, $(0,017 - 0,353) \frac{kg}{m^3}$
- ✓ Velocidad de filtrado del aire, $V_f = 0,05 \frac{m}{s}$
- ✓ Tiempo para la inyección del aire por filas de mangas $(60 - 360) s$.

- ✓ Factor de permeabilidad de la tela (262 – 6.530) $\frac{mmcda}{\frac{\frac{m}{s}}{\frac{kg}{m^2}}}$
- ✓ Presión de pulsación (42.213 – 70.355) *mmcda*

De los valores nombrados anteriormente se tienen la velocidad de filtración y la concentración de partículas totales suspendidas (PTS) y respirables (PM10), por lo que la información no es suficiente, generalmente las correlaciones para determinar las pérdidas y los valores son datos propios del fabricante, así como el tiempo de inyección del aire por filas de mangas, factor de permeabilidad según el material filtrante y la presión de pulsación.

Núñez F. (1975), recomienda para efectos de diseño, asumir 7 pulgadas de agua (177,743 *mmcda*) de pérdida de carga para el filtro de mangas, cuando el filtro está completamente lleno y antes de limpiarlo, por lo tanto para el tramo $h' - i$ se tomó 177,743 *mmcda* como la pérdida que genera el filtro de manga en el sistema.

➤ **Pérdidas de carga en la chimenea.**

Según Goberna R. (1992), las chimeneas deben ser de 1,3 a 2 veces más altas que el tope de la edificación (ver anexo 15), de esta manera en nuestro caso el galpón N°9 de IMMERC C.A tiene 5 *m* de altura y multiplicándola por una relación promedio de 1,65, la chimenea tendría 8,25 *m* de altura respecto al piso, colocando el ventilador sobre una plataforma de a 2 *m* de altura. Se tomó el promedio de la relación, ya que se pretende utilizar la menor cantidad de material posible, además el galpón no tiene estructuras altas a su alrededor por lo que se ajusta a una descarga relativamente baja.

El tope de la chimenea viene dado por una descarga vertical impulsada hacia arriba, con pequeños canales para el paso de la lluvia, la cual se adhiere a las paredes de la descarga de la chimenea (ver anexo 16). La longitud de la descarga se obtiene con la ecuación 4.22:

$$L_{descarga} = 4 \times D_{dd} \quad 4.22$$

Donde:

$L_{descarga}$: Longitud de la descarga de la chimenea (m)

D_{dd} : Diámetro de la ductería de descarga (m)

Sustituyendo los valores, se tiene que:

$$L_{descarga} = 4 \times 0,347 \text{ m}$$

$$L_{descarga} = 1,388 \text{ m}$$

El diámetro de la descarga se obtiene con la siguiente ecuación:

$$D_{descarga} = D_{dd} + 0,025 \text{ m} \quad 4.23$$

Donde:

$D_{descarga}$: Diámetro de la descarga de la chimenea (m)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene que:

$$D_{descarga} = 0,347 \text{ m} + 0,025 \text{ m}$$

$$D_{descarga} = 0,372 \text{ m}$$

Posteriormente con la longitud de descarga, se plantea la siguiente ecuación:

$$H_{td} = L_{descarga} + H_{chim} \quad 4.24$$

Donde

H_{td} : Altura total de descarga de la chimenea (m)

H_{chim} : Altura de la chimenea respecto al piso (m)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene que:

$$H_{td} = 1,388 \text{ m} + 8,25 \text{ m}$$

$$H_{td} = 9,638 \text{ m}$$

Entonces, la longitud total de la ductería de la chimenea, incluyendo la longitud de descarga, se obtiene con la ecuación 4.25:

$$L_{j-j^*} = H_{td} - H_{plataf} \quad 4.25$$

Donde:

L_{j-j^*} : Longitud de la ductería en el tramo $j - j^*$ (m)

H_{plataf} : Altura de la plataforma (m)

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior, se tiene:

$$L_{j-j^*} = 9,638 \text{ m} - 2 \text{ m}$$

$$L_{j-j^*} = 7,638 \text{ m}$$

Para calcular la pérdida en el tramo $j - j^*$, se utiliza el mismo procedimiento que para los demás tramos de ductería, utilizando las ecuaciones 4.16 y 4.17, asumiendo que la diferencia del diámetro de la ductería de descarga y el diámetro de la descarga de la chimenea es pequeña, que la longitud de descarga de la chimenea es menor que

el resto de la longitud de la ductería en el tramo $j - j'$ y que el diámetro en el tramo $j - j'$ es 0,347 m, se obtiene que la pérdida en el tramo es 7,914 mmcda. Todos los valores de pérdidas obtenidos en los distintos tramos y accesorios se muestran en la tabla 4.4.

➤ **Selección del ventilador.**

Se realizaron los cálculos pertinentes para determinar la altura de máquina requerida por el ventilador, a través de la ecuación 4.26, referida al camino crítico $a - j'$ (ver apéndice A.1), la descarga del ventilador (tramo $j - j'$) y en la succión del ventilador (tramo $a - i'$):

$$PEV = PE_{j-j'} - PE_{a-i'} - PDV \quad 4.26$$

Donde

PEV : Altura de máquina requerida (mmcda)

$PE_{j-j'}$: Sumatoria de las pérdidas de carga en la descarga del ventilador (mmcda)

$PE_{a-i'}$: Sumatoria de las pérdidas de carga en la succión del ventilador (mmcda)

Según Goberna R. (1992), tomando en cuenta los signos algebraicos, la presión dinámica siempre es positiva (+), la pérdida de carga en la succión del ventilador generalmente es negativa (-) y la pérdida de carga en la descarga del ventilador generalmente es positiva (+). Sustituyendo los valores obtenidos de la tabla 4.4 en la ecuación 4.26, se tiene que:

$$PEV = 7,914 \text{ mmcda} - (-494,183) \text{ mmcda} - 19,822 \text{ mmcda}$$

$$PEV = -482,275 \text{ mmcda}$$

El ventilador y su correspondiente motor se montan sobre una bancada común de suficiente peso para amortiguar las vibraciones o sobre amortiguadores debidamente ajustados a su tamaño y al del filtro de mangas, ya que ambos equipos descansan sobre la misma plataforma. El ventilador fue seleccionado con la corrección de temperatura de 37,6 °C y altitud respecto al nivel del mar de Valencia 440 m, para ajustar el ventilador a las condiciones del ambiente donde opera.

$$PEV = 482,275 \text{ mmcda} \rightarrow 511,212 \text{ mmcda}$$

Finalmente se obtienen los datos técnicos estandarizados, según el catalogo comercial de FREDIVE C.A (2000), (ver anexo 14). Se tiene un ventilador extractor centrífugo de alabes radiales tipo SFPP-450, con las siguientes especificaciones:

- $1,8 \frac{m^3}{s}$
- 533 mmcda
- 3.700 rpm
- 18 kW (24 hp)
- Rueda de diámetro: 450 mm
- Entrada de diámetro: 254 mm
- Salida: 221x241 mm

Se seleccionó un ventilador que como característica principal ocupa poco espacio, posee buena velocidad periférica en el rodete, generalmente se toman este tipo de ventiladores industriales cuando la presión estática a levantar está en intervalos medios, es un ventilador muy silencioso, posee una baja tasa de corrosión en los alabes y en los sistemas de rodamiento y cojinetes del eje que entrega potencia, posee alta resistencia al impacto y disposición de alabes radiales que evitan la acumulación de material sobre la estructura del mismo.

Tabla 4.4 Cálculos de pérdidas por tramo en el camino crítico $a' - j'$.

Tramos	t`-a`	a-a`	a`-b`	b`-c`	c`-d`	d`-e`	e`-f`
Caudal de aire (m ³ /s)	-	0,283	0,283	0,567	0,850	1,134	1,417
Velocidad de transporte Vt, (m/s)	-	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
Diámetro de ductería, (mm)	141,583	141,583	141,583	200,228	245,228	283,165	316,588
Presión dinámica PDV (mmcda)		19,822	19,822	19,822	19,822	19,822	19,822
Área de rendija Ar, (m ²)		0,029					
Velocidad de rendija Vr, (m/s)		9,759					
Presión dinámica de rendija PDr, (mmcda)		5,944					
Pérdida en la campana hdc(PDV), (mmcda)		15,536					
Pérdida de carga en la campana hdc, (mmcda)		35,357					
Longitud de la ductería, (m)	0,100	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
Factor de pérdidas Hf ø (PDV/m), (PDV/m)		0,157	0,157	0,102	0,080	0,067	0,058
Pérdidas en PD de la ductería hø(PDV), (PDV)		0,235	0,235	0,154	0,120	0,100	0,088
Nº codos de 90º (R/D=2)							
Pérdidas de codos en PD h _{codo90º} , (PDV) factor=0,27							
Nº uniones de 45º			1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Pérdidas de uniones en PD, (PDV) factor=0,28			0,280	0,280	0,280	0,280	0,280
Nº estrechamientos							
Pérdida estrechamiento 20º, (PDV)							
Pérdidas del tramo en PD, (PDV)		0,235	0,515	0,434	0,400	0,380	0,368
Pérdidas en el tramo, (mmcda)		4,653	10,203	8,595	7,926	7,542	7,288
Pérdidas del tramo + accesorios, (mmcda)		40,011	10,203	8,595	7,926	7,542	7,288
Sumatoria de las pérdidas, (mmcda)		-40,011	-50,214	-58,809	-66,734	-74,276	-81,564

4.4 Cálculos de pérdidas por tramo en el camino crítico $\alpha' - j'$ (Continuación).

Tramos	f'-g	g-h	h-h'	h'-i	i-i'	j-j'
Caudal de aire (m ³ /s)	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700
Velocidad de transporte Vt, (m/s)	18,000		18,000		18,000	18,000
Diámetro de ductería, (mm)	346,805		346,771		346,805	346,805
Presión dinámica PDV (mmcda)	19,822		19,822		19,822	19,822
Área de rendija Ar, (m ²)						
Velocidad de rendija Vr, (m/s)						
Presión dinámica de rendija PDr, (mmcda)						
Pérdida en la campana hdc(PDV), (mmcda)						
Pérdida de carga en la campana hdc, (mmcda)						
Longitud de la ductería, (m)	6,200		3,000		2,500	7,637
Factor de pérdidas Hf ϕ (PDV/m), (PDV/m)	0,052		0,052		0,052	0,052
Pérdidas en PD de la ductería h ϕ (PDV), (PDV)	0,324		0,157		0,131	0,399
Nº codos de 90° (R/D=2)	5,000		3,000		2,000	
Pérdidas de codos en PD h _{codo90°} , (PDV) factor=0,27	1,350		0,810		0,540	
Nº uniones de 45°	1,000					
Pérdidas de uniones en PD, (PDV) factor=0,28	0,280					
Nº estrechamientos	1,000		1,000			
Pérdida estrechamiento 20°, (PDV)	0,100		0,100			
Pérdidas del tramo en PD, (PDV)	2,054		1,067		0,671	0,399
Pérdidas en el tramo, (mmcda)	40,716		21,147		13,294	7,914
Pérdidas del tramo + accesorios, (mmcda)	40,716	159,720	21,147	177,743	13,294	7,914
Sumatoria de las pérdidas, (mmcda)	-122,280	-282,000	-303,146	-480,889	-494,183	-

4.4.6 Recolección.

En el ciclón inicialmente se separan partículas mayores a $10\ \mu m$ y se recolectan en una bolsa o saco especial (big-bag), el cual se ubica en la parte inferior así como se mencionó anteriormente (ver apéndice A.1), además en el filtro de mangas, el cual posee una tolva, se recolectan las demás partículas menores a $10\ \mu m$, llamadas partículas respirables, el tamaño del saco (big-bag) depende de un ensayo de error que involucra el tiempo de llenado del saco en función del volumen colectado. Las partículas colectadas se deben llevar a un análisis de pureza en el laboratorio de IMMERC C.A y se reutiliza de acuerdo al producto que esté en preparación. En Vista de que IMMERC C.A puede reutilizar el producto recolectado a través de la tolva del filtro de mangas, y el ciclón, se puede decir que el sistema disminuye la pérdida de materia prima, optimizando el proceso de producción.

4.5 Tapa para el trompillo y el bidón.

Aparte del sistema de ventilación, también se diseñó una tapa especial para la boca de cada trompillo y bidón. En la tabla 4.1 se tienen los perímetros de la boca de los trompillos 1 y 2 con un valor de $1,3\ m$ y los trompillos 3 y 4 con $1,5\ m$; y el bidón de $1,7\ m$, datos con los cuales se obtuvieron los siguientes diámetros para cada tapa:

- Trompillos 1 y 2: $0,413\ m$
- trompillos 3 y 4: $0,477\ m$
- Bidón: $0,541\ m$

La tapa (ver figura 4.11 y 4.12), tiene espesor de $2\ cm$ y cuenta con unas palancas especiales ajustadas a la boca de los trompillos y bidones, para ajustarla durante el proceso de mezclado. Dentro del borde de la tapa se coloca una goma para cerrar herméticamente el trompillo o bidón y un cilindro ajustado al tamaño interno de la boca del trompillo que entra con la tapa, para evitar que durante el proceso de mezclado exista fuga del material contaminante al ambiente.

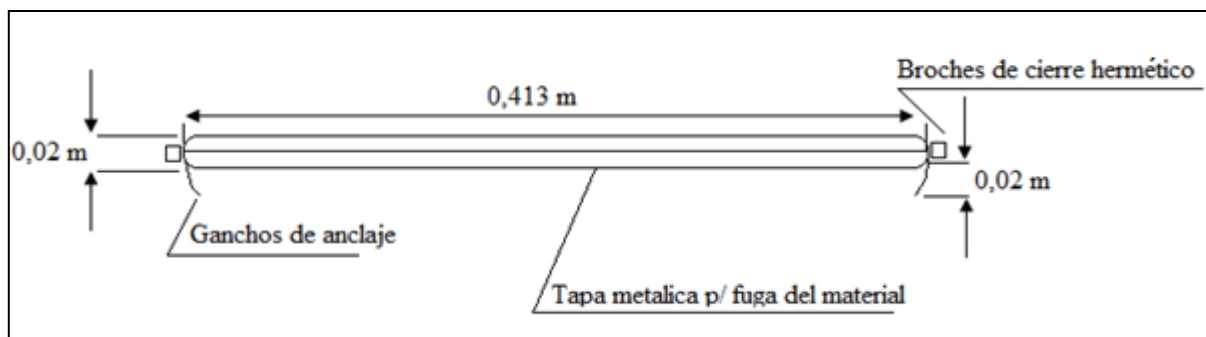


Figura 4.11 Vista lateral de la tapa para los trompillos 1 y 2.

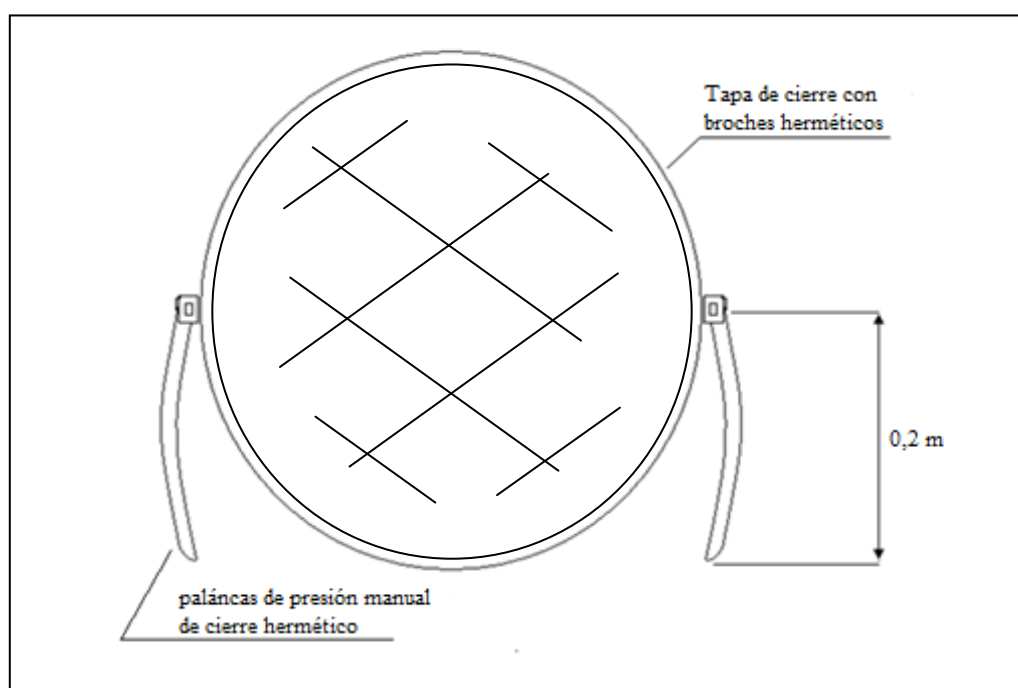


Figura 4.12 Vista superior de la tapa para los trompillos y bidones.

4.6 Costo de implementación del sistema.

Para determinar el costo se consultaron los precios para cada equipo del sistema, en los anexos 17 y 18 se encuentran las cotizaciones emitidas por la empresa JWD Ingenieros S.A e HIERRO FIBRO CEMENTO C.A para el suministro, fabricación e instalación del sistema. En las siguientes tablas 4.5, 4.6 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11 se tienen los costos asociados al suministro, implementación y colocación general del sistema, haciendo uso de los datos técnicos obtenidos anteriormente.

Tabla 4.5 Costo de la campana.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Bsf)	Precio total (Bsf)
Material de campana tipo herradura de chapa de hierro galvanizado, calibre 14, según diseño	6 campanas	1.250,00	7.500,00
Construcción	-	8.800,00	8.800,00
montaje	-	4.400,00	4.400,00

Tabla 4.6 Costo del ciclón.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Bsf)	Precio total (Bsf)
Placas de 3,5 m de altura, 3mm de espesor y diámetro Dc de 87 cm (cono y cilindro)	2 piezas	850,00	1.700,00
Construcción	-	4.400,00	4.400,00
montaje	-	2.300,00	2.300,00

Tabla 4.7 Costo del filtro de mangas.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Bsf)	Precio total (Bsf)
Placas laterales de acero de 2 m altura x 3 m base calibre 14, para la coraza rectangular que cubre el sistema de filtros de mangas	4 piezas	928,00	3.712,00
Placas de acero de 2 m de altura x 1 m base para la tolva	4 piezas	800,00	3.200,00
Mangas de poliéster 0,145 m de diámetro y 2,4 m de largo	36 unidades	523,43	18.843,48
Rejillas de acero, 0,145 m de diámetro y 2,4 m de largo	36 unidades	333,33	12.000,00
Compresor de aire	1 equipo	1.650,00	1.650,00
Válvulas	6 dispositivos	233,33	1.400,00
Construcción	-	4.350,00	4.350,00
montaje	-	1.631,6	1.631,60

Tabla 4.8 Costo de las estructuras de soporte del ciclón, colector de mangas y ventilador.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Bsf)	Precio total (Bsf)
Tubos de hierro galvanizado de 6 m cada uno. 42 metros para la estructura del colector de mangas, 36 m para la estructura del ciclón y 6 metros para el acabado.	14 tubos	300,00	4.200,00
Placa de acero de 3 m de ancho x 2 m de largo y 4 mm de espesor, para sostener el ciclón, el colector de mangas y el ventilador.	3 piezas	500,00	1.500,00
Construcción	-	820,62	820,62
montaje	-	344,00	344,00

Tabla 4.9 Costo de la ductería.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Bsf)	Precio total (Bsf)
27 m de ductería principal de hierro galvanizado calibre 16 y 9 m de ductería flexible de 5 mm de espesor.	36 metros	210,00	7560,00
tornillos	36 piezas	8,00	288,00
Empacaduras de neopreno	18 piezas	18,00	324,00
Soportes metálicos	9 piezas	171,11	1.540,00
Construcción	-	7.800,50	7.800,50
montaje	-	4.265,00	4.265,00

Tabla 4.10 Costo de accesorios para la ductería.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Bsf)	Precio total (Bsf)
Reducción 20° (35-18)cm	2 piezas	300,00	600,00
Unión 45°	6 piezas	320,00	1.920,00
Codo de 90°	10 piezas	300,00	3.000,00
Construcción	-	2.000,00	2.000,00
montaje	-	1.000,00	1.000,00



Tabla 4.11 Costo de mecanismo de deslizamiento unidireccional para la campana.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio total (Bs)
Perfil de riel tipo portón de 2 ½" x 3 mm x 6 m	2 pieza	343,75	687,5
Garrucha tipo portón sencilla de 2 ½	6 pieza	129,64	777,84
Viga IPN 8" x 6 m	2 pieza	321,43	642,86

Además de acuerdo a las especificaciones del ventilador, el suministro y la colocación es de: 21.116,00 Bs.

Entonces el costo total aproximado del sistema es: 148.600,45 Bs. Analizando el costo total aproximado obtenido, queda a criterio de IMMERC C.A implementar el sistema según las posibilidades económicas actuales.

De no implementar el sistema, el daño ocasionado a la salud de los trabajadores puede generar costos elevados y además ser sancionados de acuerdo a lo establecido en la LOPCYMAT (ver anexo 4).

CONCLUSIONES

1. La medición de la concentración de polvo suspendido en el ambiente de trabajo, indicó que se tiene una concentración experimental promedio de $6,440 \text{ mg/m}^3$ de partículas totales suspendidas (PTS) y $3,410 \text{ mg/m}^3$ de partículas respirables menores a $10 \mu\text{m}$ (PM10).
2. De acuerdo a la medición realizada, la concentración de partículas inhalables o respirables capaces de llegar a los alveolos pulmonares, está por encima de 3 mg/m^3 y la concentración de partículas totales suspendidas está cercana a 10 mg/m^3 , por lo tanto, según la concentración ambiental permisible establecida en la norma COVENIN 2253-2001, es necesario purificar el ambiente para obtener una mejor calidad del aire.
3. El punto de ignición de las partículas de cemento es 350°C y se toma como limitante para evitar que aumente la temperatura por efecto de fricción con la ductería y el material filtrante.
4. En cuanto a la granulometría del material se obtuvo que hay presencia de partículas menores a $45 \mu\text{m}$ en un 89,6% de porcentaje másico, lo que generaliza la presencia de partículas totales suspendidas (PTS) y partículas respirables menores a $10 \mu\text{m}$.
5. El método de control de contaminantes ambientales más adecuado para la planta de IMMERC C.A, es un sistema de ventilación industrial por extracción localizada, integrado por seis (6) campanas en forma de herradura con una rendija, una para cada trompillo y dos (2) campanas del mismo tipo para cada bidón, ubicadas en los extremos de la fila de los trompos mezcladores para el área de llenado de sacos, estas campanas en forma de herradura con velocidad de captura de $9,759 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ y velocidad de transporte de $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, garantiza la captura

del contaminante de manera efectiva sin interrumpir las operaciones del trabajador en el galpón de mezclado de IMMERC C.A; se seleccionó ductería rígida de chapa de hierro galvanizado de sección circular para el tramo central del sistema y ductería flexible tipo Espiro P.U antiestático de pared interna lisa para la captación; un ciclón para separar las partículas mayores a $5\ \mu m$; un colector de filtros de mangas para separar las partículas menores a $10\ \mu m$ y con la pérdida de carga total existente en el sistema se seleccionó un ventilador extractor centrífugo de alabes radiales tipo SFPP-450.

6. El desarrollo de la propuesta del sistema de extracción y recolección de polvos asegura el cumplimiento regulatorio establecido por la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT).
7. Los costos aproximados para la construcción, operación y mantenimiento del proyecto son 148.600,45 Bs, y de no implementar el sistema se puede afectar a largo plazo la salud de los trabajadores, generando gastos elevados para IMMERC C.A.

RECOMENDACIONES

A continuación se presentan algunas recomendaciones importantes para complementar el buen funcionamiento del diseño del sistema de extracción y recolección:

- Para que el operario tenga una mayor protección respiratoria acompañado del sistema de extracción y recolección se recomienda utilizar un respirador de presión negativa.
- Si en un futuro aumenta a gran escala la producción, será necesario colocar bandas transportadoras para cargar el material, mezcladores automáticos y ampliar el espacio físico galpón o en su defecto ocupar otro.
- En el proceso de recolección del material particulado se recomienda hacer un estudio previo para verificar que la mezcla esté libre de impurezas, que puedan afectar la reutilización del producto.
- Para determinar el tamaño adecuado del saco (big-bag) de material colectado, se debe hacer un ensayo de prueba para determinar el volumen de material en un tiempo estipulado, de esta manera se controla la cantidad de material particulado que reingresa al sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arcas, J. y Ortiz, Z. (2005). *Diseño de un sistema de extracción y transporte de viruta de aluminio en los procesos de laminación y corte*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica.
2. Balestrini, M. (2000). *Como se Elabora el Proyecto de Investigación*. (4ª edición). Venezuela. Servicio Editorial.
3. Di Teodoro, N. (1995). *Guía de Ventilación Industrial*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Industrial.
4. Escoda, S. (2007). *Manual Práctico de Ventilación*. (2ª edición). España. Barcelona.
5. Espiroflex S.A. (1995). *Fabrica de tubería flexible*. Catalogo. Extraído el 10 marzo 2010 desde: <http://pdf.directindustry.es/pdf/hascon/filtros-con-mangas-autolimpiadoras-de-aire-comprimido/33357-62795.html>.
6. Font, J. (2004). *Guías de Laboratorios, Materiales y Ensayos*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Industrial.
7. FREDIVE C.A, (2000). *Ventiladores industriales, modelo SFPP, transporte de humos y materiales*. Catálogo comercial. Amca international member. Caracas-Guarenas.
8. Gamboa, N y García, M. (2001). *Evaluación de la concentración de partículas menores o iguales que diez micrones (PM_{10}) suspendidas en el aire y su contenido de hierro y plomo en dos zonas de la ciudad de Valencia*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

9. Goberna, R. (1992). *Ventilación Industrial*. Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales. (1ª edición en español). Generalitat Valenciana, Dirección General de Treball.
10. HASCO ENGINEERING S.A (2009), *Filtros con mangas autolimpiadoras de aire comprimido*. Catalogo comercial. España. Extraído el 10 marzo 2010 desde: <http://pdf.directindustry.es/pdf/hascon/filtros-con-mangas-autolimpiadoras-de-aire-comprimido/33357-62795.html>.
11. LOPCYMAT (Ley orgánica de Prevención, condiciones y Medio Ambiente de trabajo) gaceta oficial Número 38.236. 26 de Julio del 2005.
12. NORMA COVENIN 2253-2001. *Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en ambientes de trabajo*. Aprobada por FONDONORMA en la reunión del consejo superior N° 98-07. 12 de Agosto del 1998.
13. NORMAS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, (1995). Gaceta oficial de la República de Venezuela, N° 4899. *Decreto N° 638*. (Extraordinaria).
14. Núñez, F. (1975). *Colectores de polvos FM*. Catálogo comercial. Mangaire S.R.L, Valencia-Carabobo.
15. Núñez, F. (1975). *Sistema de aspiración y recolección de polvo*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Industrial.
16. Palmerola, N. (2002). *Valorización de cenizas volátiles para síntesis de zeolitas mediante extracción de sílice y conversión directa*. Aplicaciones ambientales. (España). Extraído el 18 de julio del 2009 desde <http://www.tdx.cesca.es/TDX-0218103-190025/>.

17. Pérez, C. y Torres, L. (2005). *Lineamientos metodológicos para la redacción y elaboración del plan de trabajo*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
18. PRO SEGURIDAD C.A. (2008). *Historia de la seguridad industrial*. Extraído el 25 Agosto 2009 desde <http://proseguridad.com.ve/prevencion-de-accidentes/historia-de-la-seguridad-industrial/>.
19. Sánchez, L. y Zamora, V. (1999). *Diseño de un sistema de extracción, recolección, compactación y empaque de fibras sintéticas*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica.
20. Seba, J. D. y Urquía, R. (2002). *Diseño de un sistema de extracción y recolección de partículas de polvos en suspensión en la zona de prensa y secado de la industria cerámica*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica.
21. SESMA, (1999). *Evolución de la contaminación atmosférica por material particulado respirable*. Extraído el 21 de Agosto del 2009 desde <http://www.sesma.com>.
22. Solow, R. (1987). *Journal of Economy Theory*. Editorial American Asociation. 1ra edición. Estados Unidos.
23. Tovar, A. y Viera, J. (2008). *Evaluación de las condiciones atmosféricas en el Laboratorio de Pavimentos, Laboratorio de Materiales y Ensayos, y zonas adyacentes a estos, de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil.

24. Turner, H. (1998). *Controles de Materia Particulada*. Grupo de Economía y de Estrategias Innovadoras. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Extraído el 21 de Marzo del 2010 desde <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir2/cs6ch1-s.pdf>.
25. Wark, K. y Warner, C. (1998). *Contaminación del aire, origen y control*. Editorial Limusa. Quinta Edición. México.
26. Yassi, A., Kjellström T., De Kok, T., Guidotti T. L. (2002), *Salud ambiental básica*. Extraído el 28 de Septiembre del 2009 desde <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/aea/descargas/yassi01.pdf>.

APÉNDICE A

PLANOS

En esta sección se presentan los planos de carácter propio utilizados como referencia para visualizar el sistema de extracción y recolección y demás componentes importantes para el logro de los objetivos planteados, además permitirán la futura construcción e implementación del sistema de extracción y recolección.

- Plano A.1. Esquema general de la ductería.
- Plano A.2. Esquema de la campana en forma de herradura.
- Plano A.3. Esquema general de mecanismo de deslizamiento.
- Plano A.4. Esquema de garrucha para soporte y movimiento de la campana.
- Plano A.5. Esquema detallado de soporte del mecanismo de deslizamiento.
- Plano A.6. Esquema del soporte para ducterías.
- Plano A.7. Esquema de la disposición de soportes en el sistema.
- Plano A.8. Esquema de la isometría del ciclón y detalles.
- Plano A.9. Esquema de las vistas superior y lateral del ciclón.
- Plano A.10. Esquema del colector de filtro de manga con vistas laterales.
- Plano A.11. Esquema de la isometría del colector de filtro de manga y detalles.
- Plano A.12. Esquema general de codo de 90°.
- Plano A.13. Esquema del estrechamiento o reducción de la entrada y salida del ciclón.

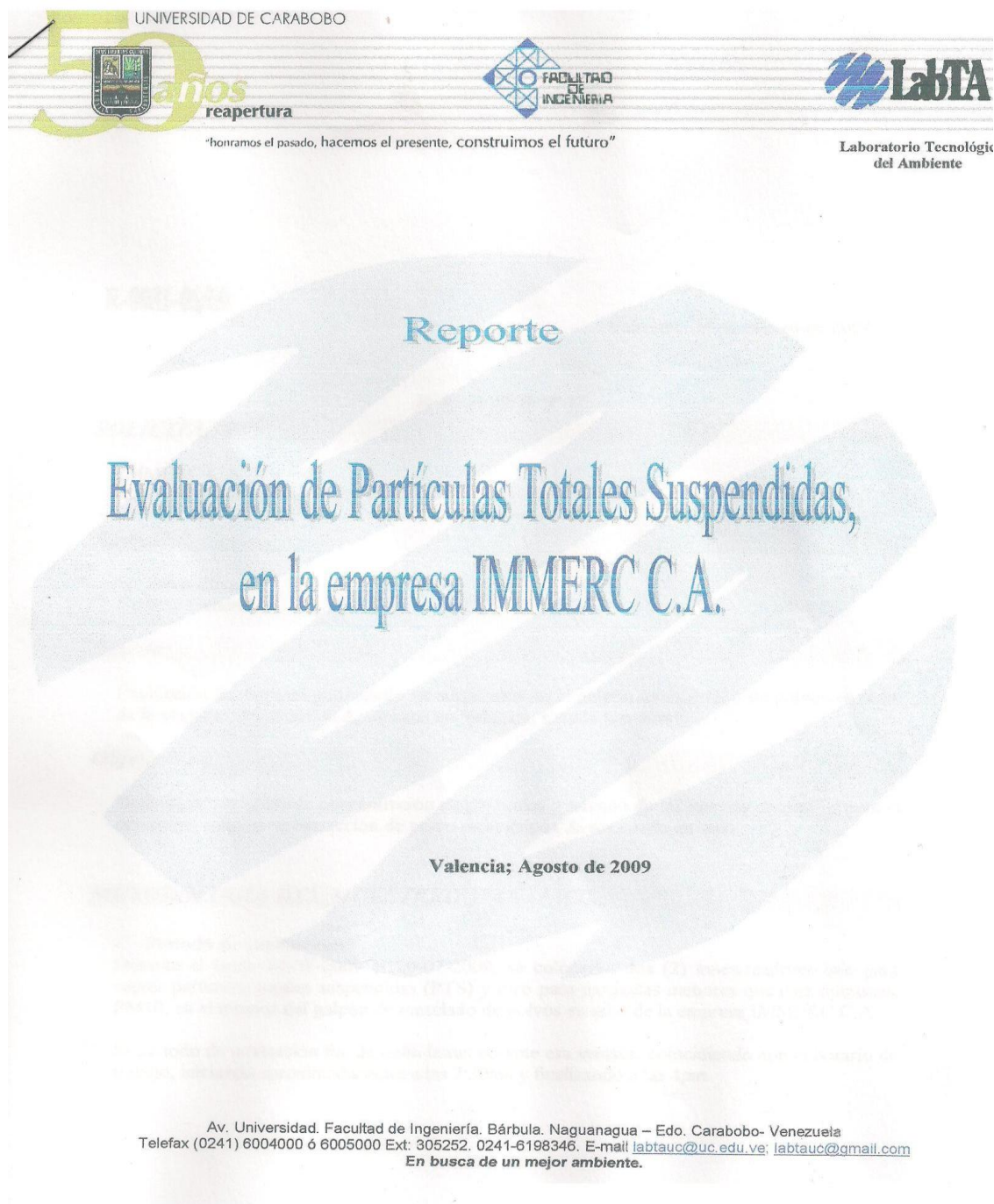
APÉNDICE B

MEDICIONES, EQUIPOS Y MODELOS MATEMÁTICOS EXPERIMENTALES

A continuación se presentan las siguientes mediciones, equipos y los modelos matemáticos utilizados en el desarrollo de la investigación, para la fase experimental.

- B.1 Mediciones, equipos y modelos matemáticos utilizados para las pruebas en el Laboratorio de Ambiente de la Universidad de Carabobo para la determinación de las concentraciones de PM10 y PTS.
- B.2 Pruebas en el Laboratorio de Orgánica de la Universidad de Carabobo para la determinación del tamaño, densidad relativa y punto de ignición del material particulado.

B.1 Mediciones, equipos y modelos matemáticos utilizados para las pruebas en el Laboratorio de Ambiente para la determinación de las concentraciones de PM10 y PTS.





R-0081-06/09

Valencia, 10 de agosto de 2009

REPORTE

SOLICITANTE:

IMMERC C.A
Valencia, Estado Carabobo.

Atención:

Sr. Fahin Elías.
Gerente General

Asunto:

Evaluación de material particulado en suspensión en el galpón de mezclado de polvos en seco, de la empresa IMMERC C.A, ubicada en Valencia, Estado Carabobo.

Objetivo:

Determinar variables de concentración de partículas y tamaño de las mismas necesarios para el diseño del sistema de extracción de polvo en el galpón de mezclado en seco.

METODOLOGÍA DEL MUESTREO Y ANÁLISIS:

- Periodo de evaluación:

Durante el lapso 14-07-2009 al 20-07-2009, se colocaron dos (2) muestreadores uno para captar partículas totales suspendidas (PTS) y otro para partículas menores que diez micrones, PM10, en el interior del galpón de mezclado de polvos en seco de la empresa IMMERC C.A.

El periodo de evaluación fue de ocho horas durante esa semana, coincidiendo con el horario de trabajo, iniciando aproximadamente a las 7:30am y finalizando a las 4pm

- Captación de las muestras:

Para captar las muestras se utilizaron equipos de alto volumen para las partículas suspendidas totales (PTS) y equipos con cabezal para PM₁₀, ambos provistos de cartas indicadoras de flujo, y contadores de tiempo, y como sustrato de colección se usó filtros de fibra de vidrio, previamente llevados a peso constante en nuestro laboratorio.

ANÁLISIS:

Una vez finalizado el periodo de muestreo, los filtros con las muestras se llevan a nuestro laboratorio a fin de someterlos a análisis gravimétrico. Este consiste en llevarlos a peso constante, lo cual se logra cuando dos pesadas continuas sólo se diferencia en la cuarta cifra decimal.

PERSONAL PARTICIPANTE:

Ing. Jairo Martínez
Lic. Juan v Guerrero.

RESULTADOS:

TABLA 1

**Partículas Totales Suspendidas (PTS) en el
Galpón de mezclados de polvos en seco.**

Fecha	Tiempo (minutos)	Masa (gr)	Volumen (m ³)	Concentración (mg/m ³)
14-07-2009	480	3,30	499	6,62
15-07-2009	480	2,56	384	6,66
16-07-2009	480	3,33	384	8,66
17-07-2009	480	1,90	384	4,96
20-07-2009	480	2,03	384	5,29

Promedio: 6.44 mg/m³

TABLA 2

PM₁₀ en el Galpón de mezclados de polvos en seco.

Fecha	Tiempo (minutos)	Masa (gr)	Volumen (m ³)	Concentración (mg/m ³)
14-07-2009	480	1,94	499	3,88
15-07-2009	480	1,56	384	4,07
16-07-2009	480	1,41	384	3,66
17-07-2009	480	1,23	384	3,21
20-07-2009	480	0,86	384	2,24

Promedio: 3.41 mg/m³**OBSERVACIONES:**

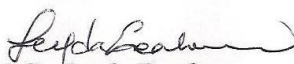
Las concentraciones ambientales permitidas (CAP) en sitios de trabajo por la Norma COVENIN 2253-2001 son: 10 mg/m³ para partículas inhalables o partículas que no penetran las profundidades del trato respiratorio y 3 mg/m³ para partículas respirables, que son las partículas que pueden penetrar hasta la zona de intercambio gaseoso o alveolos pulmonares.

En las tablas 1 y 2 se observan que aunque no se supera la concentración ambiental permisible para partículas inhalables o totales, si se supera el de partículas respirables, que son las mas peligrosas, porque es la zona donde se efectúan el intercambio gaseoso.

Adicionalmente si se observan los valores diarios, se puede observar que todos los días excepto el 20-07-09, se superó la concentración permisible, por tanto si se obtiene el promedio descartando este valor, el resultado seria mayor que 3.41 mg/m³.

Por lo anteriormente expuesto se recomienda instalar un sistema para captación de partículas menores que diez (10) micrones.

Sin otro particular al cual hacer referencia, se suscribe de usted


M. Sc. Leyda Escalona
Coordinadora General



Según las pruebas de laboratorio de ambiente (ver tabla 1) se tienen los siguientes modelos matemáticos que se utilizan para obtener los parámetros de partículas totales suspendidas (PTS), haciendo uso del equipo de medición de partículas totales suspendidas (PTS) de alto volumen (ver figura B.1):



Figura B.1 Equipo de medición de partículas totales suspendidas (PTS) de alto volumen (High Volumen Sampler PTS).

Cálculo del volumen de aire corregido a condiciones estándar:

$$V_{est} = Q_{est} \times t \quad (B.1)$$

Donde:

V_{est} : Volumen corregido a condiciones estándar, m^3

Q_{est} : Flujo en condiciones estándar, $\frac{m^3}{\min}$

t : Tiempo de muestreo, $\min$

Cálculo del flujo de aire en condiciones estándares:

Muestreador equipado con controlador de flujo

$$Q_{est} = Q_m \times \left(\frac{T_{est}}{T_{cc}} \times \frac{P_{cc}}{P_{est}} \right) \quad (B.2)$$

Donde:

Q_m : Flujo establecido para el muestreo, (1,1-1,7) $\frac{m^3}{\min}$

T_{est} : Temperatura a condiciones estándar, (298) K

T_{cc} : Temperatura a condiciones de calibración, K

P_{est} : Presión a condiciones estándar, (760) mmHg

P_{cc} : Presión a condiciones de calibración, mmHg

Con el flujo estándar Q_{est} calculado con la ecuación (B.2) se obtiene el volumen corregido a condiciones estándar de aire por medio de la ecuación (B.1).

Cálculo de la concentración de partículas totales suspendidas:

$$PTS = \frac{Pf - Pi}{Vest} \times f \quad (3)$$

Donde:

PTS :Concentración de partículas totales suspendidas, $\frac{\mu g}{m^3}$

Pf :Peso final del filtro, g

Pi :Peso inicial del filtro, g

f : Factor de conversión, $10^6 \frac{\mu g}{g}$

Modelos matemáticos para determinar los parámetros de materia particulada suspendida (MPS), haciendo uso del equipo de medición de partículas de alto volumen menores a PM10 (ver figura B.2), con diámetros iguales a 10 μm (ver tabla 2):



Figura B.2 Equipo de medición de partículas de alto volumen menores a PM10 (High Volumen Sampler PM10).

Cálculo del volumen total de aire muestreado corregido a las condiciones estándar:

$$Vest_{PM10} = Qest_{PM10} \times t_{PM10} \quad (4)$$

Donde:

$Vest_{PM10}$: Volumen total de aire muestreado corregido a las condiciones estándar, m^3

$Qest_{PM10}$: Flujo en condiciones estándar, $\frac{m^3}{min}$

t_{PM10} : Tiempo de muestreo, min

Cálculo del flujo de aire:

$$Qest_{PM10} = Qm_{PM10} \times \left(\frac{P_{prom}}{T_{prom}} \right) \times \left(\frac{T_{est}}{P_{est}} \right) \quad (5)$$

Donde:

$Qest_{PM10}$: Flujo promedio a las condiciones estándar, $\frac{m^3}{min}$

Qm_{PM10} : Flujo promedio a las condiciones ambientales, $\frac{m^3}{min}$

P_{prom} : Presión barométrica promedio durante el período de muestreo, mmHg

T_{prom} : Temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo, °K

Cálculo de la concentración de PM10:

$$PM10 = \left(\frac{Pf_{PM10} - Pi_{PM10}}{Vest_{PM10}} \right) \times f \quad (6)$$

Donde:

PM10: Concentración másica de PM10, $\frac{\mu g}{m^3}$

Pf : Peso final del filtro que colecta PM10, *g*

Pi : Peso inicial del filtro que colecta PM10, *g*

Posteriormente se presentan las figuras B.3 y B.4, que muestran los filtros de fibra utilizados en el proceso de medición de PTS y PM10 y su manipulación para que antes de ser pesados en la balanza, no absorban la humedad del ambiente.



Figura B.3 Filtro utilizado en los equipos de medición de la concentración de partículas suspendidas tanto para PTS como PM10.



Figura B.4 Muestras tomadas de PTS y PM10 adheridas a los filtros y aisladas de la humedad.

B.2 Pruebas en el Laboratorio de Orgánica de la Universidad de Carabobo para la determinación del tamaño, densidad relativa y punto de ignición del material particulado.



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química
Laboratorio de Química Orgánica

Valencia, 09 de Julio de 2009

REPORTE DE RESULTADOS

Srs. IMMERC, C.A.
Atención: **Ing. Elias Fahim**

Muestra Analizada: Se recibieron dos (2) muestras identificadas como: Cemento Suelto y Estearato de Calcio.

Parámetros determinados: **Densidad, Temperatura de Ignición y Granulometría.**

Metodología Empleada: Tamizado, Gravimetría y Copa Abierta de Cleveland.

RESULTADOS OBTENIDOS

PARAMETRO DETERMINADO	CEMENTO	ESTEARATO DE CALCIO
DENSIDAD, Kg/m ³	1397,0	-
PUNTO DE IGNICION, C	> 350	> 300
GRANULOMETRIA, % PESO	325 MESH: 89.6 (0.045 mm) 230 MESH: 9.6 (0.063 mm) 80 MESH : 0.3 (0.18M mm) 60 MESH : 0.5 (0.25 mm)	-

Lic. Mario Rosi
Asistente

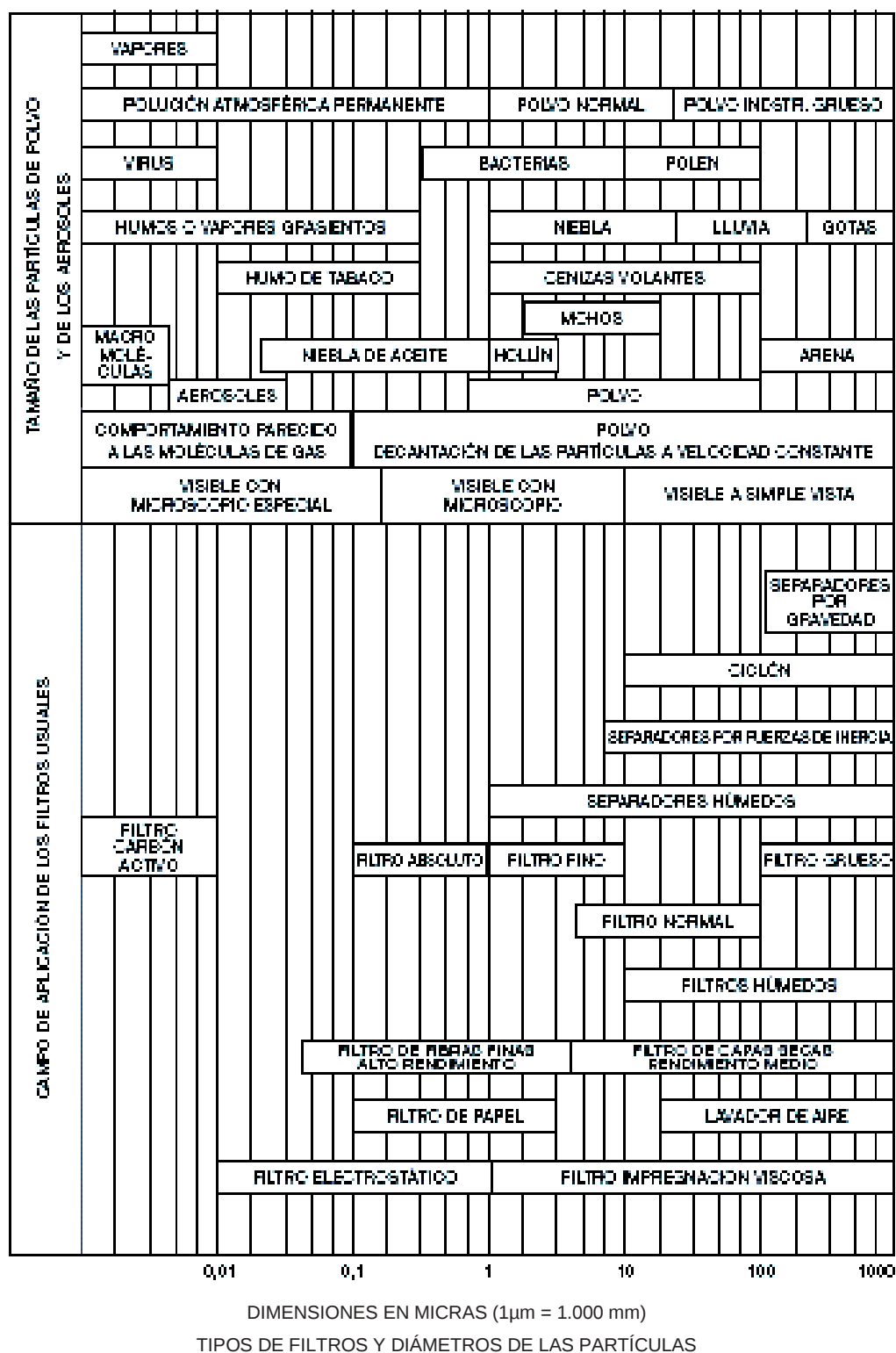


Tlfs . 04128884726 . Telefax: 0241-8674828.
Email: mrosi@uc.edu.ve, mrosi44@gmail.com

ANEXOS

1. Diagrama para la determinación del tipo de filtro según el diámetro de las partículas suspendidas en el aire.
2. Tabla de comportamiento de un filtro seco.
3. Tabla de selección de separadores y filtros.
4. Leyes y normas referenciadas.
5. Campana en forma de herradura para el trompillo.
6. Ductería Espiro P.U antiestático para la campana.
7. Valores de velocidad de filtración.
8. Información técnica del filtro de mangas.
9. Tabla para determinar la presión dinámica.
10. Gráfico para determinar las pérdidas en presión dinámica por metro de ductería.
11. Pérdidas generadas por codos de sección circular y rectangular o cuadrada.
12. Pérdidas por uniones y sombreres.
13. Pérdidas por ensanchamientos y estrechamientos en las ducterías.
14. Especificaciones del ventilador.
15. Entradas y salidas de chimeneas.
16. Chimenea de descarga para el ventilador.
17. Cotización de los equipos e implementación del sistema de extracción y recolección.
18. Cotización de mecanismo de deslizamiento unidireccional.

1. Diagrama para la determinación del tipo de filtro según el diámetro de las partículas suspendidas en el aire.



2. Tabla de comportamiento de un filtro seco.

MATERIA	Temperatura máx. °C		RESISTENCIA FÍSICA					RESISTENCIA QUÍMICA				
	Con- ti- nua	Inter- mi- tente	Ca- lor seco	Calor húme- do	A- bra- sión	Vi- bra- ción	Fle- xión	Ácidos Mine- rales	Ácidos Orgá- nicos	Al- ca- lis	Oxi- dan- tes	Disol- ven- tes
- LANA	101	121	R	R	B	R	B	R	R	M	M	R
- ALGODÓN	82	-	B	B	R	B	B	M	B	R	R	E
- POLIÉSTER	135	-	B	R	B	E	E	B	B	R	B	E
- ACRÍLICA	135	140	B	B	B	B	E	B	B	R	B	E
- POLIAMIDA												
Nylon	107	-	B	B	E	E	E	M	R	B	R	E
Nomex	203	-	E	E	E	E	E	M-R	E	B	B	E
- POLIPROPILENO	93	121	B	R	E	E	B	E	E	E	B	B
- FLUORCARBONATO (Teflón)	260	287	E	E	M-R	B	B	E	E	E	E	E
- FIBRA DE VIDRIO	260	315	E	E	M	M	R	E	E	R	E	E

E = Excelente

B = Buena

R = Regular

M = Malo

3. Tabla de selección de separadores y filtros.

		Tipo	Tamaño mínimo partículas μm	Concen- tración óptima g/m^3	Velocidad normal		Pérdi- da de carga c.d.a.	Rendi- miento aproxi- %
					m/s	A través de		
SEPARADORES DE POLVO	POR GRAVEDAD	CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN	200	>180	1'5 ÷ 3	LA CÁMARA	<2'5	<50
	POR FUERZAS DE INERCIA	CÁMARA DE CHOQUE	50 ÷ 150	>180	5 ÷ 10	ENTRADA	<13	<50
		CICLÓN	>10	>35	10 ÷ 20	ENTRADA	<50	<80
		MULTICICLÓN (Ciclones de poco diámetro)	>5	>35	10 ÷ 20	ENTRADA	<100	<90
	SEPARADORES	DE CHOQUE	>5	>35	15 ÷ 30	TOBERAS	>50	<80
	HÚMEDOS (SRUBBERS)	DE CHORRO	<5	>3'5	10 ÷ 15	ENTRADA	<200	<90
		DE TOBERA SUMERGIDA	>2	>3'5	10 ÷ 20	TOBERAS	>50	<90
FILTROS	ELECTROSTÁTICO	ALTA TENSIÓN	<2	>3'5	1 ÷ 3	PLACAS	<8	<95
		BAJA TENSIÓN	<1	<0'03	1'5 ÷ 2'5	PLACAS	<25	<90
	FILTROS DE AIRE	HÚMEDOS	>5	<0'07	1'5 ÷ 2'5		2 ÷ 18	65 ÷ 90
		SECOS	>0'5	<0'035	0'1 ÷ 2'5		2 ÷ 25	50 ÷ 95
		ABSOLUTOS	<1	<0'035	0'1 ÷ 2'5		25 ÷ 65	99'95
		PARA ABSORCIÓN DE OLORES (Carbón activo)	MOLECULAR	<0'035	0'1 ÷ 0'6		<8	>95

4. Leyes y normas referenciadas.

a. LOPCYMAT (Ley orgánica de prevención, condiciones y Medio Ambiente de Trabajo) Gaceta Oficial Número 38.236. Martes 26 de Julio de 2005.

Artículo 1. El objeto de la presente ley es:

1. Establecer las instituciones, normas y lineamientos de las políticas y los órganos y entes que permitan garantizar a los trabajadores y trabajadoras, condiciones de seguridad, salud y bienestar en un ambiente de trabajo adecuado y propicio para el ejercicio pleno de sus facultades físicas y mentales, mediante la promoción del trabajo seguro y saludable, la prevención de los accidentes de trabajo y las enfermedades ocupacionales, la reparación integral del daño sufrido y la promoción e incentivo al desarrollo de programas para la recreación, utilización del tiempo libre, descanso y turismo social.
2. Regular los derechos y deberes de los trabajadores y trabajadoras, y de los empleadores y empleadoras, en relación con la seguridad, salud y ambiente de trabajo; así como lo relativo a la recreación, utilización del tiempo libre, descanso y turismo social.
3. Desarrollar lo dispuesto en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela y el Régimen Prestacional de Seguridad y Salud en el Trabajo establecido en la Ley Orgánica del Sistema de seguridad Social.
4. Establecer las sanciones por el incumplimiento de la normativa.
5. Normar las prestaciones derivadas de la subrogación por el Sistema de Seguridad Social de la responsabilidad material y objetiva de los empleadores y empleadoras ante la ocurrencia de un accidente de trabajo o enfermedad ocupacional.
6. Regular la responsabilidad del empleador y de la empleadora, y sus representantes ante la ocurrencia de un accidente de trabajo o enfermedad ocupacional cuando existiere dolo o negligencia de su parte.

Artículo.68

A los efectos de esta ley, se entiende por Niveles Técnicos de Referencia de Exposición, aquellos valores de concentraciones ambientales de sustancias químicas o productos biológicos, o niveles de intensidad de fenómenos físicos que, producto del conocimiento científico internacionalmente aceptado y de la experiencia, permitan establecer criterios para orientar las acciones de prevención y control de las enfermedades ocupacionales.

El empleador o empleadora deberá iniciar las acciones de control en el ambiente de trabajo cuando la concentración ambiental de la sustancia en cuestión o el nivel de intensidad del fenómeno físico sea superior al cincuenta por ciento (50%) del Nivel Técnico de Referencia de Exposición correspondiente.

El ministerio con competencia en materia de seguridad y salud en el trabajo, mediante norma técnica establecerá los Niveles Técnicos de Referencia de Exposición que serán propuestos por el Instituto nacional de Prevención, Salud y seguridad Laborales previa consulta a los actores sociales. El Instituto Nacional de Prevención, salud y Seguridad Laborales deberá evaluar periódicamente los niveles Técnicos de Referencia de Exposición los cuales deberán ser modificados cuando así lo aconsejen la experiencia, la tecnología o la investigación científica.

b. Norma COVENIN 2253-2001: Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en ambientes de trabajo e índices biológicos de exposición. Aprobada por FONDONORMA en la reunión del consejo superior N° 2001-10 de la fecha 31/10/2001.

1. Objeto.

1.1 Esta norma venezolana establece las Concentraciones Ambientales Permisibles (CAP) de sustancias químicas en lugares de trabajo, bien sea polvos, gases, vapores, o humos que debido a sus propiedades o las características del proceso, pasan al ambiente de trabajo y, representan las condiciones bajo las cuales se acepta que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día (8 horas diarias, 5 días por semana), sin sufrir efectos adversos a su salud.

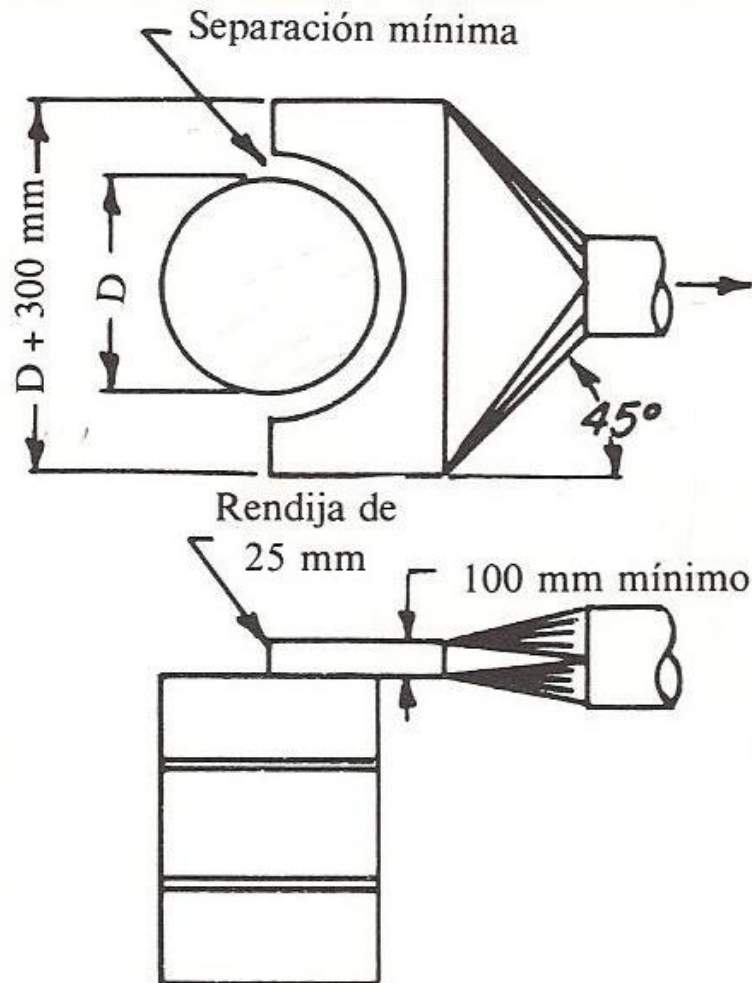
c. Norma COVENIN 2252-2001: Polvos. Determinación de la concentración en ambientes de trabajo. Aprobada por FONDONORMA en la reunión del consejo superior N° 98-07 de la fecha 12/08/1998.

1. Objeto.

1.1 Esta norma venezolana establece el método gravimétrico para determinar la concentración de polvo total y respirable en el área de trabajo. Es aplicable a polvos orgánicos e inorgánicos, excepto asbesto.

1.2 Esta norma venezolana es aplicable cuando en el filtro se recoja una masa de polvo de 0.01 mg a 2 mg. Como base de cálculo se toma el volumen de aire aspirado establecido en el presente documento, el cual es de 0.31 m³ para polvo total y 0.2 m³ para polvo respirable.

5. Campana en forma de herradura para el trompillo (Goberna, 1992).



$Q = 0,51 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ de superficie del bidón como mínimo
 Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo
 Pérdida en la entrada = $0,25 PD_{\text{conducto}} + 1,78 PD_{\text{rendija}}$
 Carga manual

6. Ductería Espiro P.U antiestático para la campana.



Ø INT I.D. Ø INT mm	ESPESOR PARED WALL THICKNESS ÉPAISSEUR PAROI mm	PESO WEIGHT POIDS gm	VACÍO VACUUM VIDE m H ₂ 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

Valores Nominales sin tener en cuenta tolerancias fabricación

Nominales values without taking manufacturing tolerances into account

Valeurs nominales sans tenir compte des tolérances de fabrication

E
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, anti-choque 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, granos, azúcar, cereales, serrín, ferralla,...), ventilación y conducción de aire, polvo, gases y humos, cuando se requiera que la instalación sea antiestática

7. Valores de velocidad de filtración (Núñez, 1975).

VELOCIDAD DE FILTRACIÓN

TIPO DE POLVO	m/HR	Pie/min
ALUMINA	146 - 183	8 - 10
ASBESTO	183 - 220	10 - 12
ARENA	183 - 220	10 - 1
ASERRIN	220 - 275	12 - 15
AZUCAR	128 - 183	7 - 10
BAUXITA	146 - 183	8 - 10
CARBON	146 - 183	8 - 10
CEMENTO	146 - 183	8 - 10
CEREALES	257 - 275	14 - 15
DETERGENTES	92 - 110	5 - 6
FERTILIZANTES	146 - 165	8 - 9
GRAFITO	92 - 110	5 - 6
HARINA	220 - 275	12 - 15
OXIDO DE PLOMO	110 - 146	6 - 8
OXIDO DE ZINC	92 - 110	5 - 6
OXIDO DE HIERRO	128 - 146	7 - 8
PIGMENTOS	128 - 146	7 - 8
PAPEL	183 - 220	10 - 12
PLASTICOS	128 - 165	7 - 9
SILICA	128 - 165	7 - 9
TABRIO	238 - 275	13 - 15
TALCO	183 - 220	10 - 12

NOTA: Estos valores están basados en una concentración moderada de polvo y un tamaño tipo partícula.

8. Información técnica del filtro de mangas (Núñez, 1975).

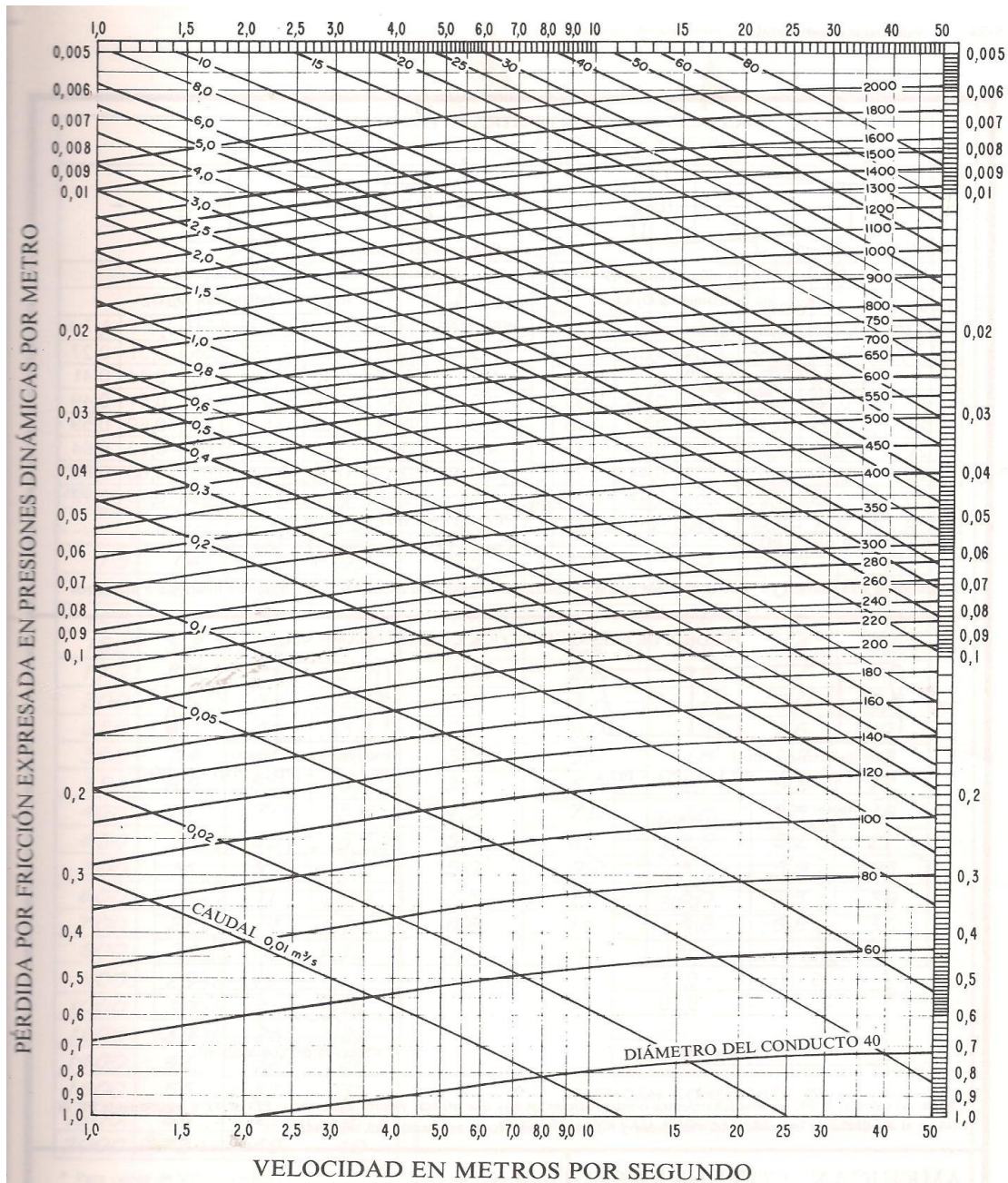
INFORMACIÓN TÉCNICA

MODELO	AREA FILTRANTE		Número de mangas	DIMENSIONES EN m.				Peso aprox. Kg.
	m ²	Pie ²		A	B	C	D	
7 - 12 - 129	12	129	12	1.30	2.65	0.40	1.50	350
7 - 16 - 172	16	172	16	1.50	2.65	0.56	1.50	420
7 - 20 - 215	20	215	20	1.50	2.65	0.56	1.73	465
7 - 25 - 268	25	268	25	1.73	2.65	0.76	1.73	510
7 - 30 - 322	30	322	30	1.73	2.65	0.76	1.95	615
7 - 36 - 386	36	386	36	1.95	2.65	0.95	1.95	720
7 - 42 - 450	42	450	42	1.95	2.65	0.95	2.18	818
7 - 49 - 526	49	526	48	2.18	2.65	1.15	2.18	915
7 - 56 - 600	56	600	56	2.18	2.65	1.15	2.40	1028
7 - 64 - 687	64	687	64	2.40	2.65	1.35	2.40	1140
7 - 72 - 773	72	773	72	2.40	2.65	1.35	2.65	1245
7 - 81 - 869	81	869	81	2.65	2.65	1.55	2.65	1350
7 - 90 - 966	90	966	90	2.65	2.65	1.55	2.85	1465
7 - 100 - 1073	100	1073	100	2.85	2.65	1.75	2.85	1580

9. Tabla para determinar la presión dinámica (Goberna, 1992).

$PD = (V/4,043)^2$ DENSIDAD DEL AIRE = 1,2 Kg/m ³ PD = PRESIÓN DINÁMICA EN mmeda V = VELOCIDAD EN m/s									
V	PD	V	PD	V	PD	V	PD	V	PD
1,00	0,06	13,50	11,15	26,00	41,36	38,50	90,68	51,00	159,12
1,25	0,10	13,75	11,57	26,25	42,16	38,75	91,86	51,25	160,69
1,50	0,14	14,00	11,99	26,50	42,96	39,00	93,05	51,50	162,26
1,75	0,19	14,25	12,42	26,75	43,78	39,25	94,25	51,75	163,84
2,00	0,24	14,50	12,86	27,00	44,60	39,50	95,45	52,00	165,42
2,25	0,31	14,75	13,31	27,25	45,43	39,75	96,66	52,25	167,02
2,50	0,38	15,00	13,76	27,50	46,27	40,00	97,88	52,50	168,62
2,75	0,46	15,25	14,23	27,75	47,11	40,25	99,11	52,75	170,23
3,00	0,55	15,50	14,70	28,00	47,96	40,50	100,35	53,00	171,85
3,25	0,65	15,75	15,18	28,25	48,82	40,75	101,59	53,25	173,47
3,50	0,75	16,00	15,66	28,50	49,69	41,00	102,84	53,50	175,11
3,75	0,86	16,25	16,15	28,75	50,57	41,25	104,10	53,75	176,75
4,00	0,98	16,50	16,66	29,00	51,45	41,50	105,36	54,00	178,39
4,25	1,11	16,75	17,16	29,25	52,34	41,75	106,64	54,25	180,05
4,50	1,24	17,00	17,68	29,50	53,24	42,00	107,92	54,50	181,71
4,75	1,38	17,25	18,20	29,75	54,15	42,25	109,21	54,75	183,38
5,00	1,53	17,50	18,74	30,00	55,06	42,50	110,50	55,00	185,06
5,25	1,69	17,75	19,27	30,25	55,98	42,75	111,81	55,25	186,75
5,50	1,85	18,00	19,82	30,50	56,91	43,00	113,12	55,50	188,44
5,75	2,02	18,25	20,38	30,75	57,85	43,25	114,44	55,75	190,14
6,00	2,20	18,50	20,94	31,00	58,79	43,50	115,76	56,00	191,85
6,25	2,39	18,75	21,51	31,25	59,74	43,75	117,10	56,25	193,57
6,50	2,58	19,00	22,09	31,50	60,70	44,00	118,44	56,50	195,29
6,75	2,79	19,25	22,67	31,75	61,67	44,25	119,79	56,75	197,03
7,00	3,00	19,50	23,26	32,00	62,65	44,50	121,15	57,00	198,77
7,25	3,22	19,75	23,86	32,25	63,63	44,75	122,51	57,25	200,51
7,50	3,44	20,00	24,47	32,50	64,62	45,00	123,88	57,50	202,27
7,75	3,67	20,25	25,09	32,75	65,62	45,25	125,26	57,75	204,03
8,00	3,92	20,50	25,71	33,00	66,62	45,50	126,65	58,00	205,80
8,25	4,16	20,75	26,34	33,25	67,64	45,75	128,05	58,25	207,58
8,50	4,42	21,00	26,98	33,50	68,66	46,00	129,45	58,50	209,37
8,75	4,68	21,25	27,63	33,75	69,69	46,25	130,86	58,75	211,16
9,00	4,96	21,50	28,28	34,00	70,72	46,50	132,28	59,00	212,96
9,25	5,23	21,75	28,94	34,25	71,77	46,75	133,71	59,25	214,77
9,50	5,52	22,00	29,61	34,50	72,82	47,00	135,14	59,50	216,58
9,75	5,82	22,25	30,29	34,75	73,88	47,25	136,58	59,75	218,41
10,00	6,12	22,50	30,97	35,00	74,94	47,50	138,03	60,00	220,24
10,25	6,43	22,75	31,66	35,25	76,02	47,75	139,49	60,25	222,08
10,50	6,74	23,00	32,36	35,50	77,10	48,00	140,95	60,50	223,93
10,75	7,07	23,25	33,07	35,75	78,19	48,25	142,43	60,75	225,78
11,00	7,40	23,50	33,79	36,00	79,29	48,50	143,91	61,00	227,64
11,25	7,74	23,75	34,51	36,25	80,39	48,75	145,39	61,25	229,51
11,50	8,09	24,00	35,24	36,50	81,50	49,00	146,89	61,50	231,39
11,75	8,45	24,25	35,98	36,75	82,62	49,25	148,39	61,75	233,27
12,00	8,81	24,50	36,72	37,00	83,75	49,50	149,90	62,00	235,17
12,25	9,18	24,75	37,48	37,25	84,89	49,75	151,42	62,25	237,07
12,50	9,56	25,00	38,24	37,50	86,03	50,00	152,94	62,50	238,98
12,75	9,95	25,25	39,00	37,75	87,18	50,25	154,48	62,75	240,89
13,00	10,34	25,50	39,78	38,00	88,34	50,50	156,02	63,00	242,81
13,25	10,74	25,75	40,56	38,25	89,51	50,75	157,57	63,25	244,74

10. Gráfico para determinar las pérdidas en presión dinámica por metro de ductería (Goberna, 1992).



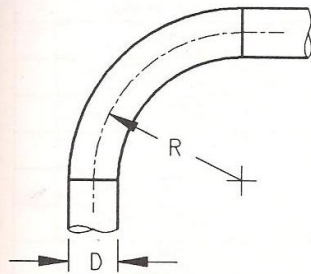
VELOCIDAD EN METROS POR SEGUNDO

FIGURA 5-18

$$H_f(\text{PD/m}) = 0,0155 \frac{V^{0,533}}{Q^{0,612}} = \frac{27,8}{Q^{0,079} D^{1,066}}$$

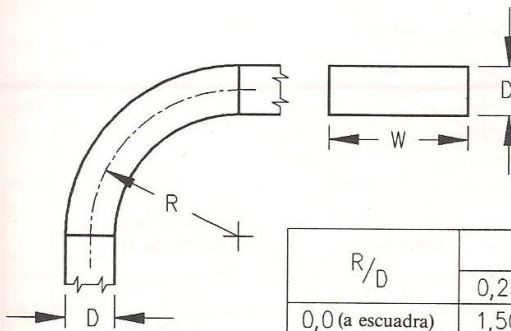
H_f : Factor de pérdidas por metro
 V : Velocidad, m/s
 Q : Caudal, m³/s
 D : Diámetro, mm

**11. Pérdidas generadas por codos de sección circular y rectangular o cuadrada
(Goberna, 1992).**



R/D	Pérdida de carga Fracción de PD
2,75	0,26
2,50	0,22
2,25	0,26
2,00	0,27
1,75	0,32
1,50	0,39
1,25	0,55

CODOS DE SECCIÓN CIRCULAR



R/D	Relación de tamaños W/D					
	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
0,0 (a escuadra)	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

CODOS DE SECCIÓN CUADRADA Y RECTANGULAR

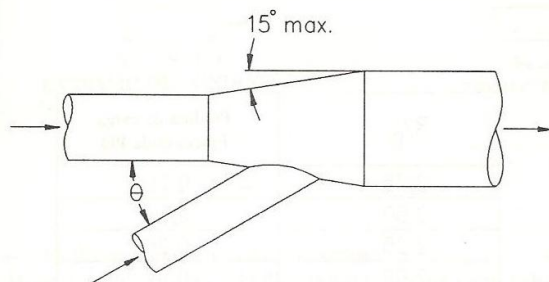
PÉRDIDAS DE CARGA EN CODOS

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

*DATOS PARA DISEÑO
DE CONDUCTOS*

FECHA 1-88 FIGURA 5-16

12. Pérdidas por uniones y sombretes (Goberna, 1992).

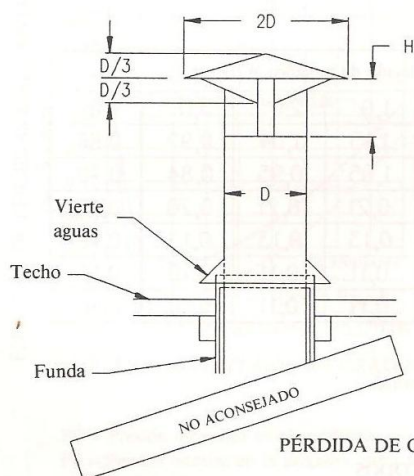


Nota: La pérdida de carga se produce en el conducto lateral y se debe contabilizar en el mismo.

No incluir el cálculo de la recuperación de presión en los conductos laterales con uniones progresivas.

Ángulo θ grados	Pérdida de carga en el conducto lateral Fracción de PD
10	0,06
15	0,09
20	0,12
25	0,15
30	0,18
35	0,21
40	0,25
45	0,28
50	0,32
60	0,44
90	1,00

PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS UNIONES



H, número de diámetros	Pérdida de carga, Fracción de PD
1,0 D	0,10
0,75 D	0,18
0,70 D	0,22
0,65 D	0,30
0,60 D	0,41
0,55 D	0,56
0,50 D	0,73
0,45 D	1,0

PÉRDIDA DE CARGA EN SOMBRERETES

Ver la Figura 5-30

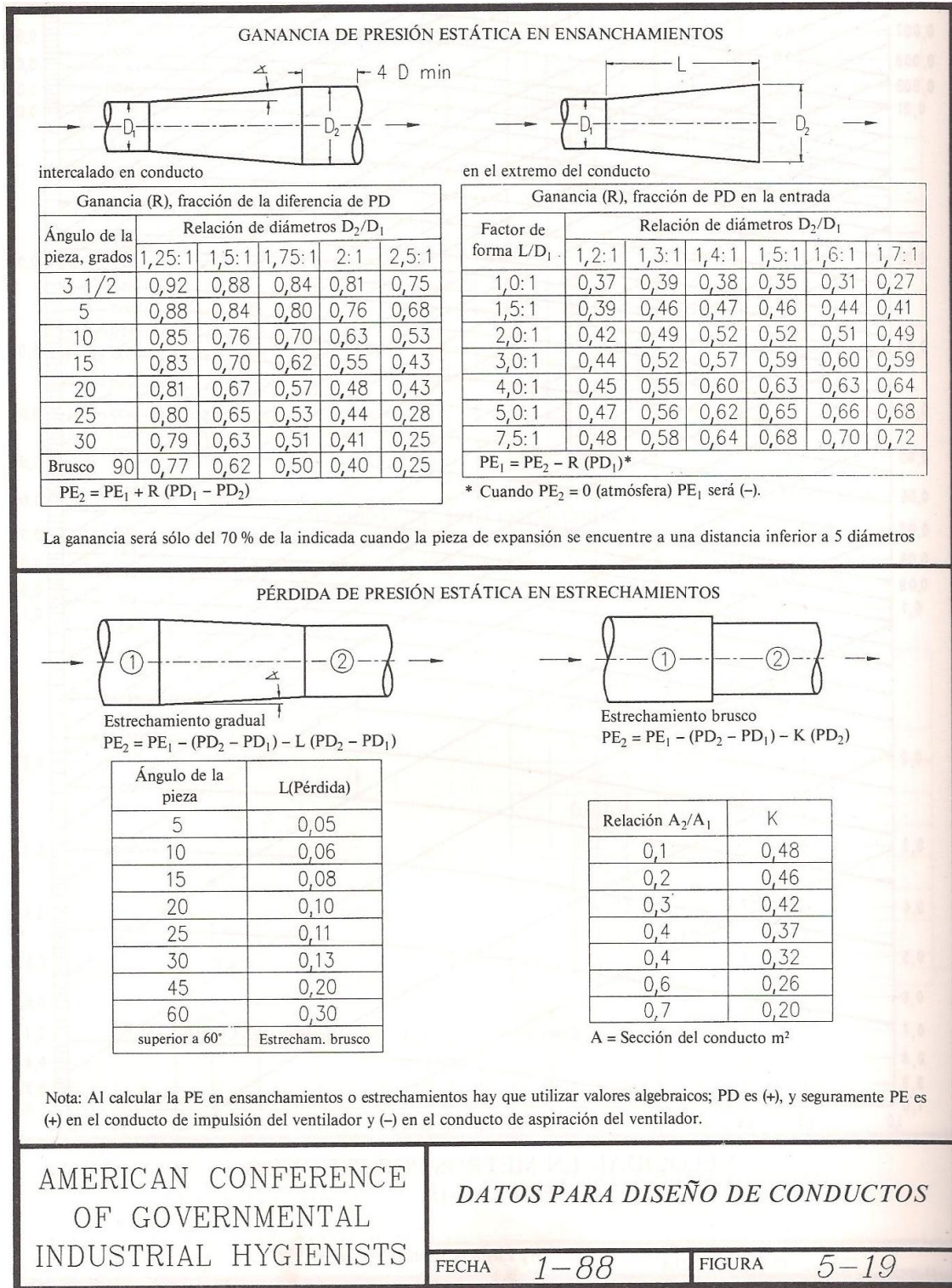
AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

DATOS PARA DISEÑO
DE CONDUCTOS

FECHA 1-88

FIGURA 5-17

13. Pérdidas por ensanchamientos y estrechamientos en las ducterías (Goberna, 1992).



14. Especificaciones del ventilador FREDIVE C.A.

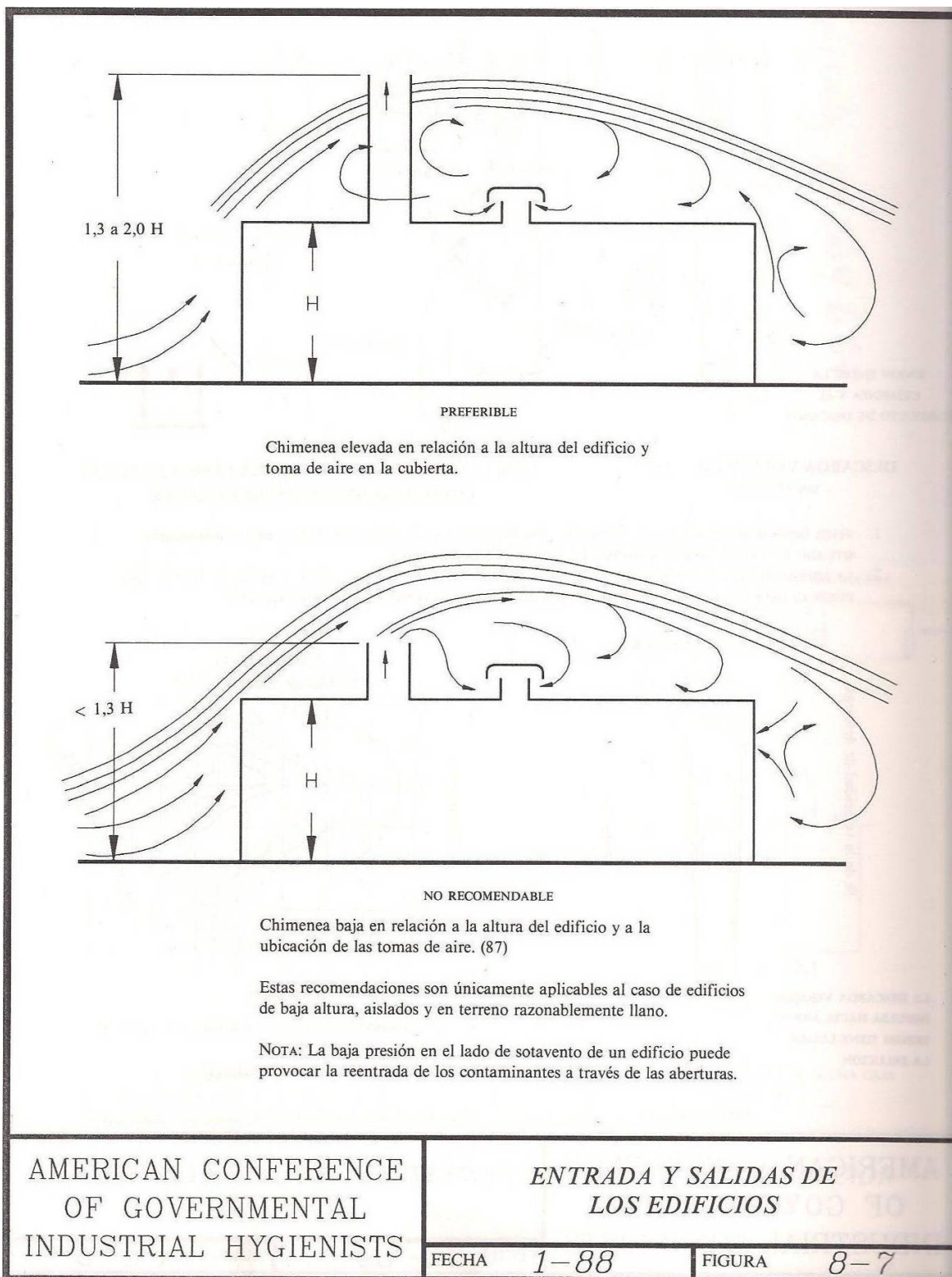


SFPP - 450

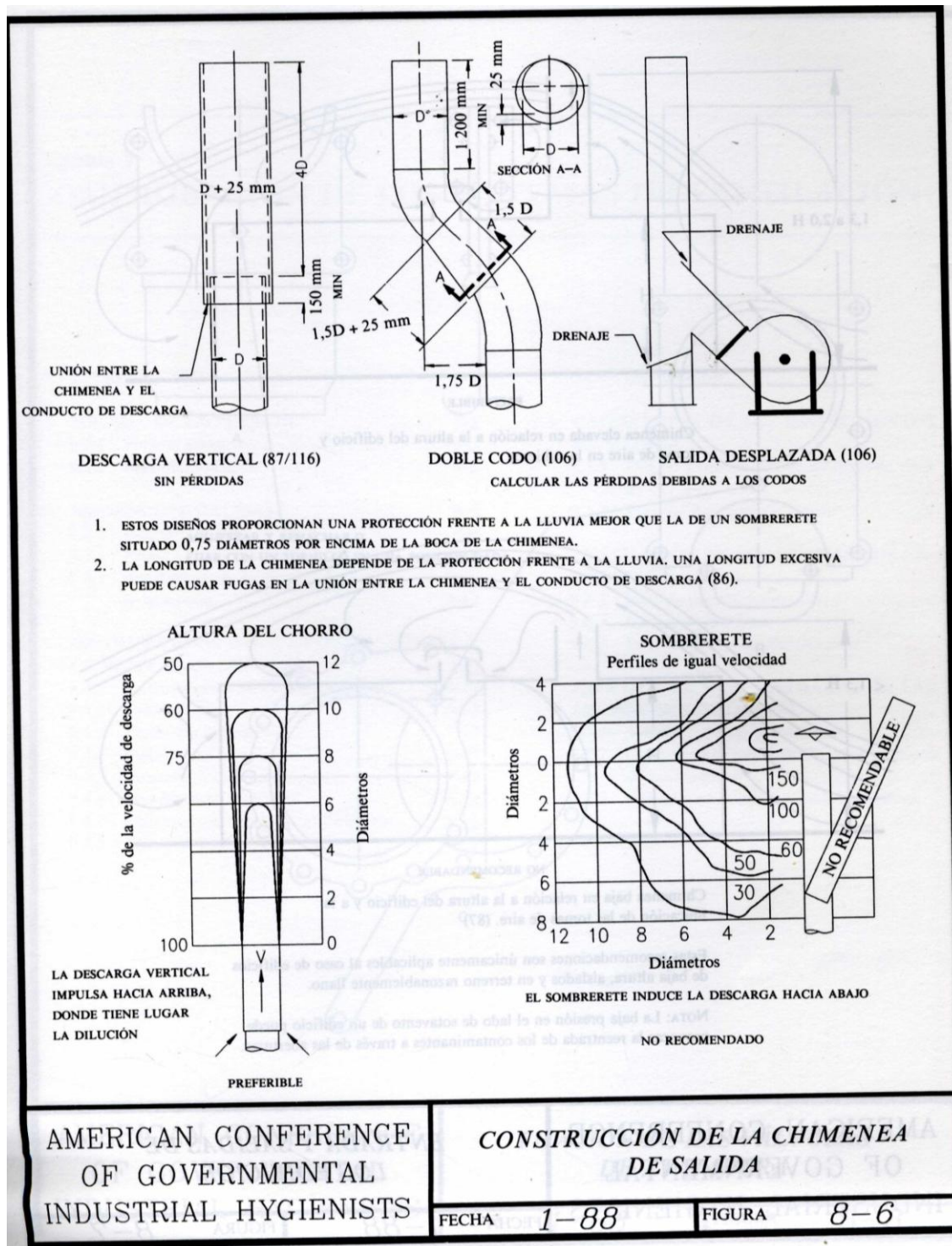
RUEDA DIAMETRO: 450 mm
ENTRADA DIAMETRO: 254 mm
SALIDA: 221 X 241 mm

CAUDAL		VELOCIDAD		PRESION ESTATICA mm - pulgadas de H ₂ O															
M ³ min	CFM	Mts. min	OV PPM	12.5 - 1/2"		25.4 - 1"		51 - 2"		76 - 3"		101 - 4"		127 - 5"		152 - 6"		178 - 7"	
				RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
31	1090	610	2000	778	.26	939	.39	1186	.66	1395	.95	1577	1.25	1740	1.58	1890	1.93	2027	2.28
39	1380	762	2500	885	.41	1035	.57	1268	.91	1460	1.25	1634	1.60	1792	1.97	1937	2.35	2072	2.75
47	1650	914	3000	999	.63	1135	.82	1361	1.21	1541	1.62	1703	2.03	1853	2.44	1993	2.88	2124	3.31
54	1910	1067	3500	1120	.92	1243	1.14	1456	1.59	1634	2.05	1786	2.53	1927	3.01	2060	3.49	2186	3.98
62	2180	1219	4000	1244	1.30	1357	1.54	1556	2.05	1728	2.57	1878	3.11	2013	3.65	2138	4.20	2258	4.75
69	2450	1271	4500	1371	1.77	1474	2.05	1660	2.61	1825	3.19	1973	3.79	2105	4.39	2226	5.00	2340	5.61
77	2730	1524	5000	1501	2.36	1596	2.67	1769	3.29	1926	3.92	2069	4.57	2200	5.24	2320	5.91	2430	6.58
85	3000	1676	5500	1632	3.06	1720	3.41	1882	4.09	2031	4.78	2168	5.48	2296	6.20	2415	6.93	2524	7.67
93	3280	1830	6000	1764	3.90	1846	4.28	1999	5.03	2139	5.77	2271	6.53	2394	7.30	2510	8.09	2619	8.89
101	3550	1982	6500	1897	4.89	1974	5.30	2118	6.11	2251	6.92	2377	7.73	2495	8.55	2608	9.39	2715	10.25
				204 - 8"		229 - 9"		254 - 10"		279 - 11"		305 - 12"		330 - 13"		356 - 14"		381 - 15"	
31	1090	610	2000	2156	2.65	2278	3.02	2393	3.40	2503	3.79	2610	4.20	2711	4.60	2808	5.02	2902	5.45
39	1380	762	2500	2199	3.17	2318	3.60	2432	4.04	2541	4.49	2645	4.94	2745	5.40	2842	5.87	2935	6.34
47	1650	914	3000	2248	3.76	2366	4.23	2477	4.71	2584	5.21	2687	5.72	2786	6.24	2881	6.77	2974	7.30
54	1910	1067	3500	2306	4.48	2420	4.98	2529	5.50	2634	6.03	2735	6.58	2832	7.14	2927	7.71	3018	8.29
62	2180	1219	4000	2373	5.30	2483	5.86	2589	6.42	2691	7.00	2790	7.59	2885	8.18	2977	8.79	3067	9.40
69	2450	1271	4500	2450	6.23	2555	6.84	2657	7.47	2756	8.10	2851	8.73	2944	9.37	3035	10.02	3122	10.67
77	2730	1524	5000	2535	7.26	2636	7.94	2733	8.62	2829	9.32	2921	10.01	3011	10.70	3099	11.40	3183	12.10
85	3000	1676	5500	2627	8.41	2724	9.15	2818	9.90	2909	10.65	2998	11.41	3085	12.16	3170	12.92		
93	3280	1830	6000	2722	9.69	2818	10.50	2909	11.31	2998	12.12	3083	12.94	3166	13.76				
101	3550	1982	6500	2817	11.12	2912	11.98	3003	12.85	3090	13.73	3174	14.61						
				PRESION ESTATICA mm - pulgadas de H ₂ O															
M ³ min	CFM	Mts. min	OV	381 - 15"		406 - 16"		432 - 17"		457 - 18"		483 - 19"		508 - 20"		533 - 21"		559 - 22"	
				RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
47	1650	914	3000	2974	7.30	3063	7.84	3150	8.38	3234	8.93	3317	9.49	3397	10.05	3476	10.62	3552	11.19
54	1910	1067	3500	3018	8.29	3106	8.89	3192	9.49	3275	10.10	3352	10.71	3437	11.34	3514	11.96	3591	12.59
62	2180	1219	4000	3067	9.40	3154	10.03	3239	10.67	3321	11.32	3402	11.99	3481	12.66	3557	13.34	3632	14.02
69	2450	1371	4500	3122	10.67	3207	11.34	3291	12.02	3372	12.70	3451	13.39	3530	14.11	3605	14.82	3679	15.54
77	2730	1524	5000	3183	12.10	3267	12.82	3349	13.53	3429	14.26	3506	14.99	3583	15.74	3658	16.49	3730	17.25
85	3000	1676	5500	3253	13.68	3334	14.45	3413	15.22	3491	16.00	3567	16.78	3641	17.56	3715	18.35	3787	19.16
93	3280	1830	6000	3328	15.40	3407	16.23	3483	17.05	3559	17.89	3634	18.72	3707	19.56	3778	20.40	3848	21.25
101	3550	1982	6500	3411	17.26	3486	18.15	3561	19.04	3634	19.94	3707	20.83	3778	21.73	3848	22.63	3916	23.53
108	3800	2133	7000	3499	19.28	3573	20.23	3645	21.18	3716	22.14	3785	23.09	3854	24.06	3922	25.02	3989	25.97
115	4100	2286	7500	3591	21.45	3663	22.47	3734	23.49	3803	24.50	3870	25.52	3937	26.55	4003	27.58	4068	28.60
				584 - 23"		609 - 24"		635 - 25"		660 - 26"		685 - 27"		711 - 28"		736 - 29"		762 - 30"	
47	1650	914	3000	3628	11.77	3702	12.36	3773	12.95	3844	13.55	3913	14.15	3981	14.76	4049	15.38	4115	16.00
54	1910	1067	3500	3665	13.22	3737	13.86	3809	14.51	3869	15.15	3948	15.81	4016	16.47	4082	17.14	4147	17.80
62	2180	1219	4000	3706	14.71	3779	15.42	3849	16.12	3919	16.83	3987	17.54	4055	18.27	4121	18.99	4186	19.71
69	2450	1371	4500	3753	16.29	3824	17.03	3894	17.79	3963	18.55	4030	19.31	4096	20.08	4162	20.86	4227	21.65
77	2730	1524	5000	3803	18.02	3873	18.80	3943	19.59	4011	20.40	4078	21.20	4143	22.01	4208	22.86	4273	23.68
85	3000	1676	5500	3858	19.97	3927	20.68	3995	21.60	4062	22.44	4129	23.29	4194	24.13	4258	24.98	4321	25.85
93	3280	1830	6000	3918	22.12	3986	22.97	4053	23.84	4120	24.72	4184	25.59	4248	26.48	4312	27.38		
101	3550	1982	6500	3984	24.44	4051	25.36	4116	26.27	4181	27.18	4245	28.12	4308	29.05				
108	3800	2133	7000	4055	26.94	4120	27.92	4184	28.88	4248	29.86	4310	30.84						
115	4100	2286	7500	4132	29.62	4195	30.65	4258	31.69	4320	32.72								

15. Entradas y salidas de chimeneas (Goberna, 1992).



16. Chimenea de descarga para el ventilador (Goberna, 1992).



17. Cotización de los equipos e implementación del sistema de extracción y recolección.



INGENIEROS, S. A.

RIF.: J-31626709-1

INGENIERIA Y PROYECTOS
AIRE ACONDICIONADO
VENTILACION INDUSTRIAL
ELECTRICIDAD
CONSTRUCCION CIVIL
ESTRUCTURAS METALICAS

EMAIL jwd_ingenieros@yahoo.com

SRES: ING. RUBA RAFEH
ZONA INDUSTRIAL, VALENCIA
ATC: ING. WILLIAM CAMPERO

FECHA: 23 - MARZO 2010

OBRA: INSTALACIÓN DE SISTEMA DE VENTILACIÓN

PRESUPUESTO N° 190208-01

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	PU	TOTAL
1	MATERIAL PARA CAMPANA TIPO HERRADURA DE CHAPA DE HIERRO GALVANIZADO, CALIBRE 14, SEGÚN DISEÑO.	M	6,00	1.250,00	7.500,00
2	SUMINISTRO TRANSPORTE, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE CAMPANA TIPO HERRADURA CALIBRE 14, (30kg)C/U. SEGÚN DISEÑO.	PZA	6,00	2.200,00	13.200,00
3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE 36 m DE DUCTOS DE HIERRO GALVANIZADO, CALIBRE 16, SOLDADOS. INCLUYE: FLANGES DE ACOPLE, TORNILLOS, EMPACADURAS DE NEOPRENO Y SOPORTES METALICOS (SEGÚN DISEÑO)	ML	36	604,93	21.777,50
4	FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE CICLÓN DE 3,5 m ALTURA Y DIÁMETRO DE 87 cm	PZA	1	8.400,00	8.400,00
5	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE FILTRO DE MANGA DE 3,6 m de altura y 2 m de ancho x 2 m de largo	PZA	1	46.787,08	46.787,08
6	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DEL VENTILADOR para Q=108 m3/min y PEV=21 "H2O, SFPP-450, 3700 RPM y 24 BHP	PZA	1	21.116,00	21.116,00
8	CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE 3 PLATAFORMAS PARA EL CICLÓN, COLECTOR DE MANGAS Y VENTILADOR. PLACAS DE 4 MM ESP. Y 14 TUBOS DE HIERRO GALVANIZADO DE 6 MTS	PZA	1	6.864,00	6.864,00
9	UNIÓN 45º	PZA	6	320,00	1.920,00
10	REDUCCIÓN 20º (35-18) cm DE DIAMETROS	PZA	2	300,00	600,00
11	CODOS DE 90º	PZA	10	300,00	3.000,00
12	FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE ACCESORIOS	PZA	18	166,66	2.999,88
MONTO BS.....					134.164,46
IVA (9%)					12.074,80
TOTAL BS.....					146.239,26


JWD INGENIEROS, S.A.
RIF J-31626709-1

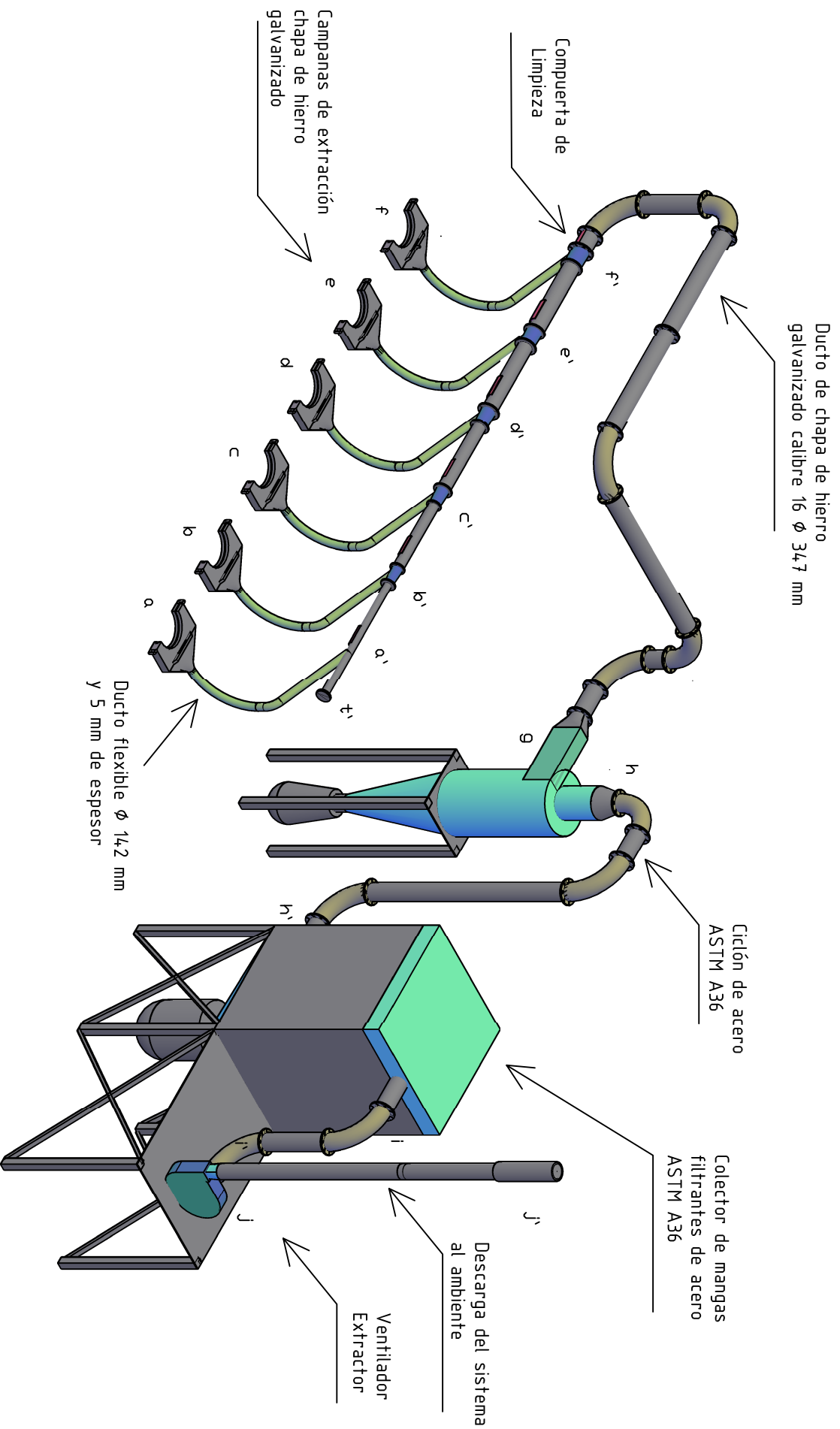
AV. BOLIVAR SUR C/C CALLE PEÑA, EDIF. PERFER, LOCAL 3A, PLANTA ALTA VALENCIA - EDO. - CARABOBO
TELF.: (0241)8141762 - TELEFAX (0241)8358093 - 0414-4987035 - 0414-3408046 - 0414-4231623

18.Cotización de mecanismo de deslizamiento unidireccional.

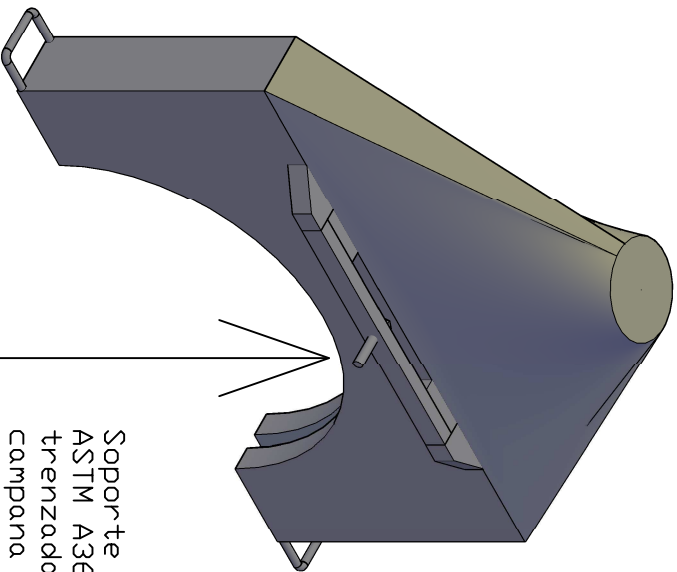
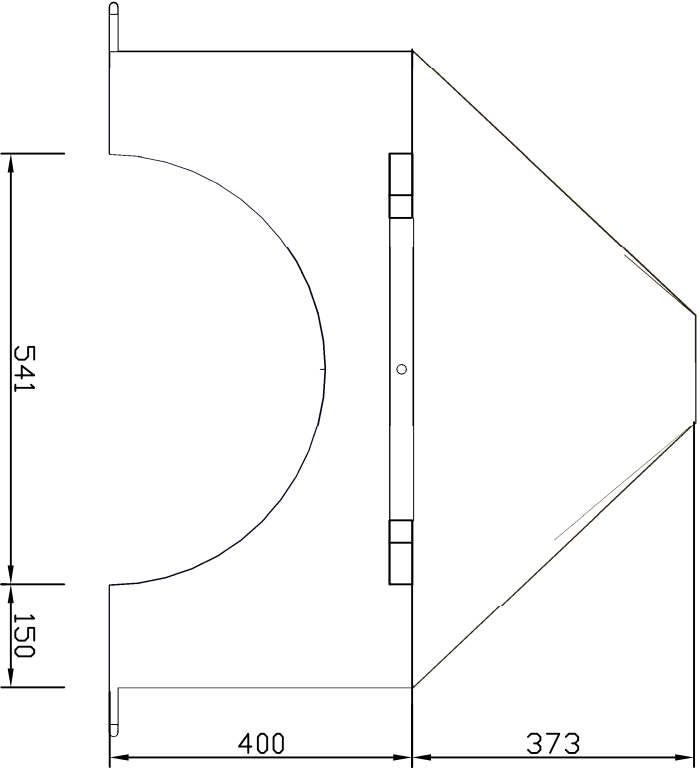
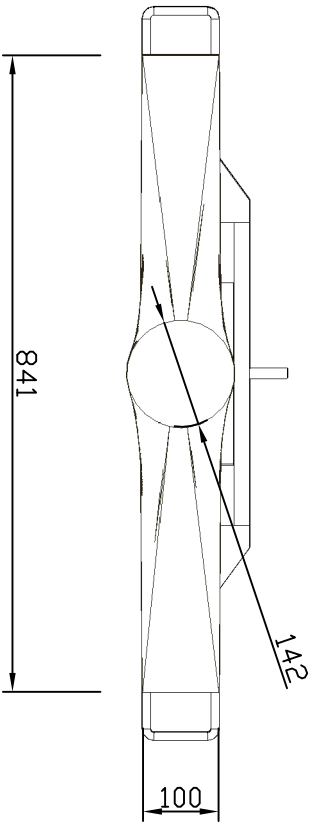
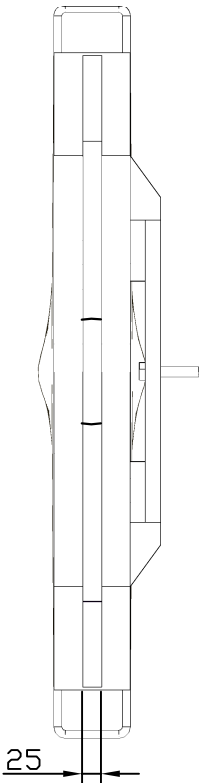
HIERRO FIBRO CEMENTO, C.A. R.I.F.: J-07524502-4 NroMH E0C0005094					Cotización: 1420 Página: 1/1 Fecha Emisión: 28062010 Fecha Entrega: 28/06/2010				
Cliente: V17314264 LUIS MANRIQUE R.I.F.: V17314264 Nro Dirección: VARIANTE BARBULA SAN DIEGO NRO 92- 201 Teléfonos: 04244260366 FAX: Transporte:01 CLIENTE RETIRA MERCANCIA Dir. Ent.:					Condición Pago: CONTADO Vendedor: 05 MILAGROS SUENSVERG Descripción: Moneda:BSF				
Código	Descripción	Alm.	Cantidad	Unid.	Precio Unitario	%Desc	%I.V.A.	I.V.A.	Neto
CO0797	PERFIL RIEL P/PORTON 2 1/2" x 3 mm x 6 MTS	ALM	1.00	UND	343.75		12.00	41.25	343.75
FE0399	GARRUCHA P/PORTON SENCILLA 2 1/2"	ALM	1.00	UND	129.64		12.00	15.55	129.64
CO1042	VIGA IPN 8 x 6mts	ALM	1.00	UND	321.43		12.00	38.57	321.43

Tasa	Base Imponible	I.V.A.
12.00 %	794.82	95.38

Sub-Total:	794.82
I.V.A.:	95.38
% Desc.:	% 0.00
Recargo:	% 0.00
Otros:	0.00
Neto:	890.20



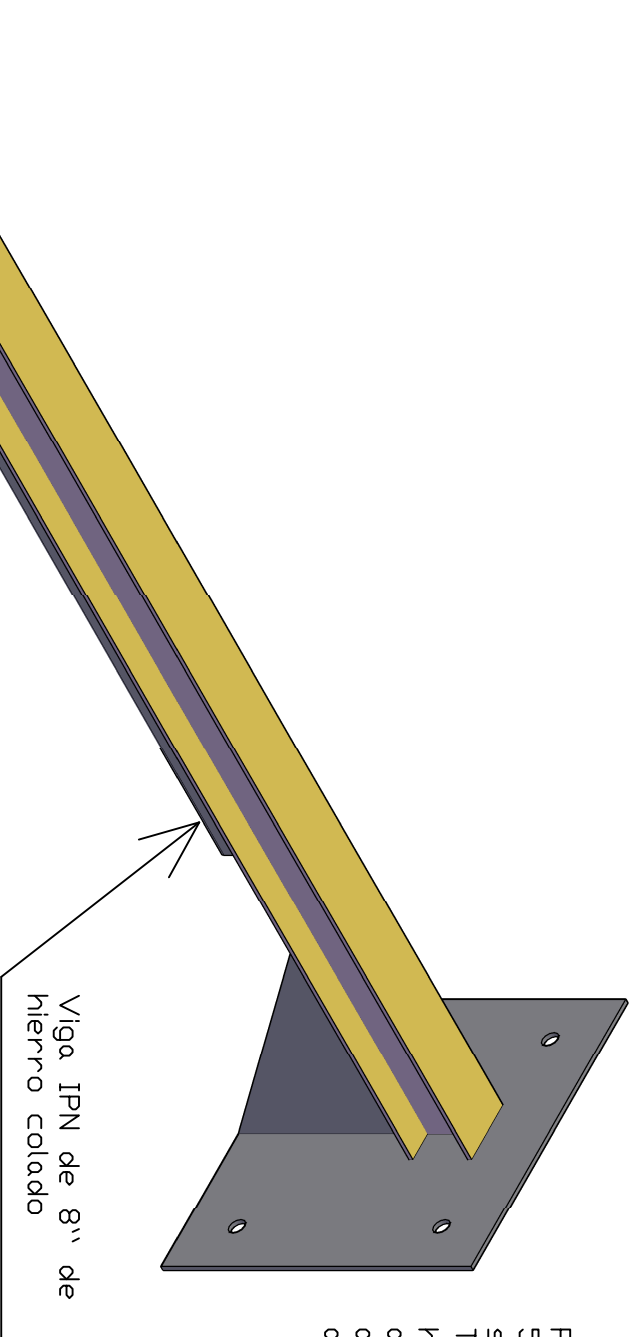
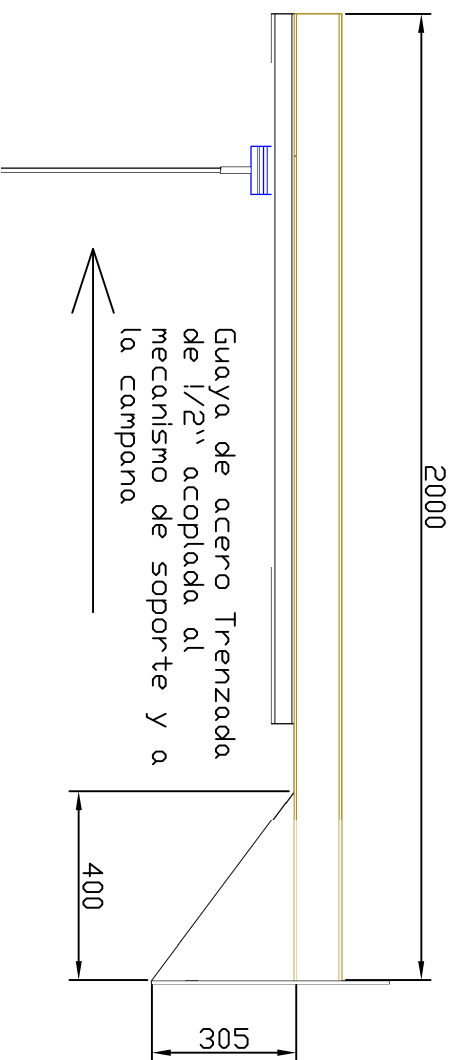
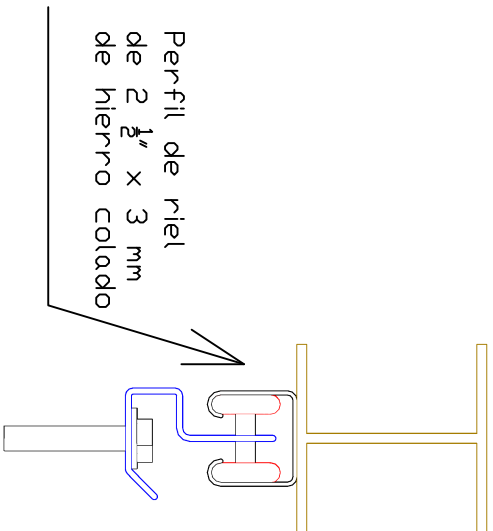
UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA				 	
SISTEMA DE EXTRACCION		área de material particulado			
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO					
Escala: 1:75		Plano Nº A.1			
NOMBRE		R. Rafeh/L. Manrique		FECHA	
Materiales Indicados		Mayo 2010			



SopORTE de Acero
ASTM A36 para guaya
trenzada entre la
campana y el
mecanismo de
deslizamiento
Unidireccional

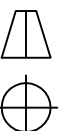
Detalle: campana de extracción
Material: chapa de hierro galvanizado

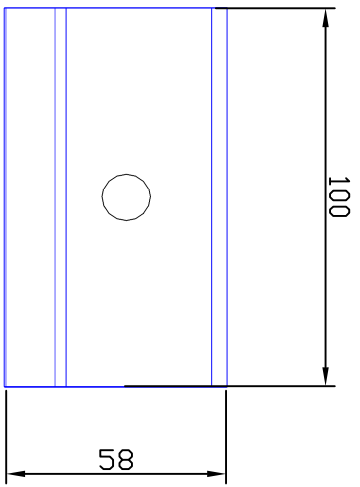
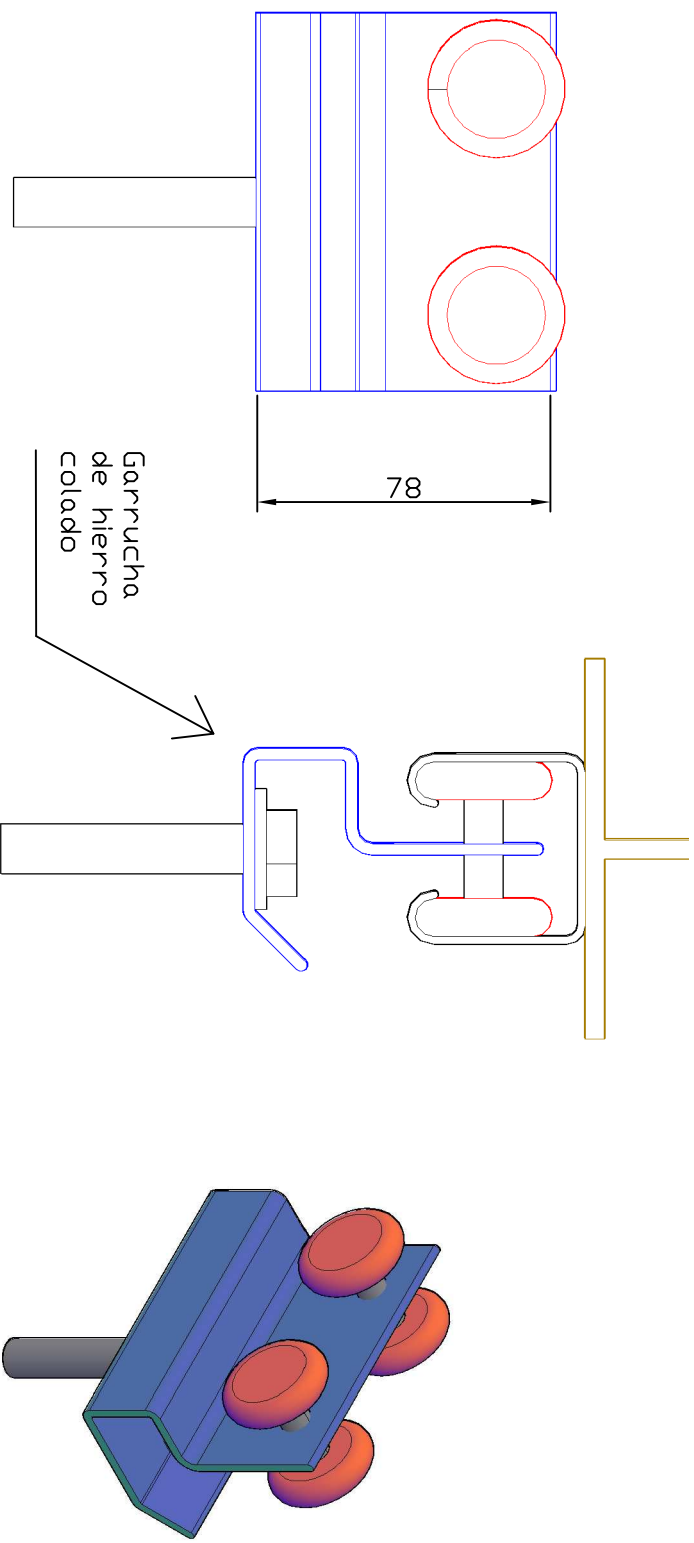
UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		NOMBRE		R. Rafeh/L. Manrique	FECHA
		Material: Chapa Hierro Galvanizado			
		Medidas en mm			
		SISTEMA DE EXTRACCION Detalle: Campana			
		TRABAJO ESPECIAL DE GRADO			
Escala: 1:10		Plano Nº A.2			

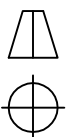


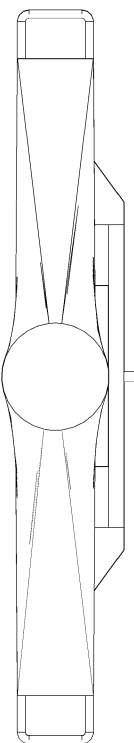
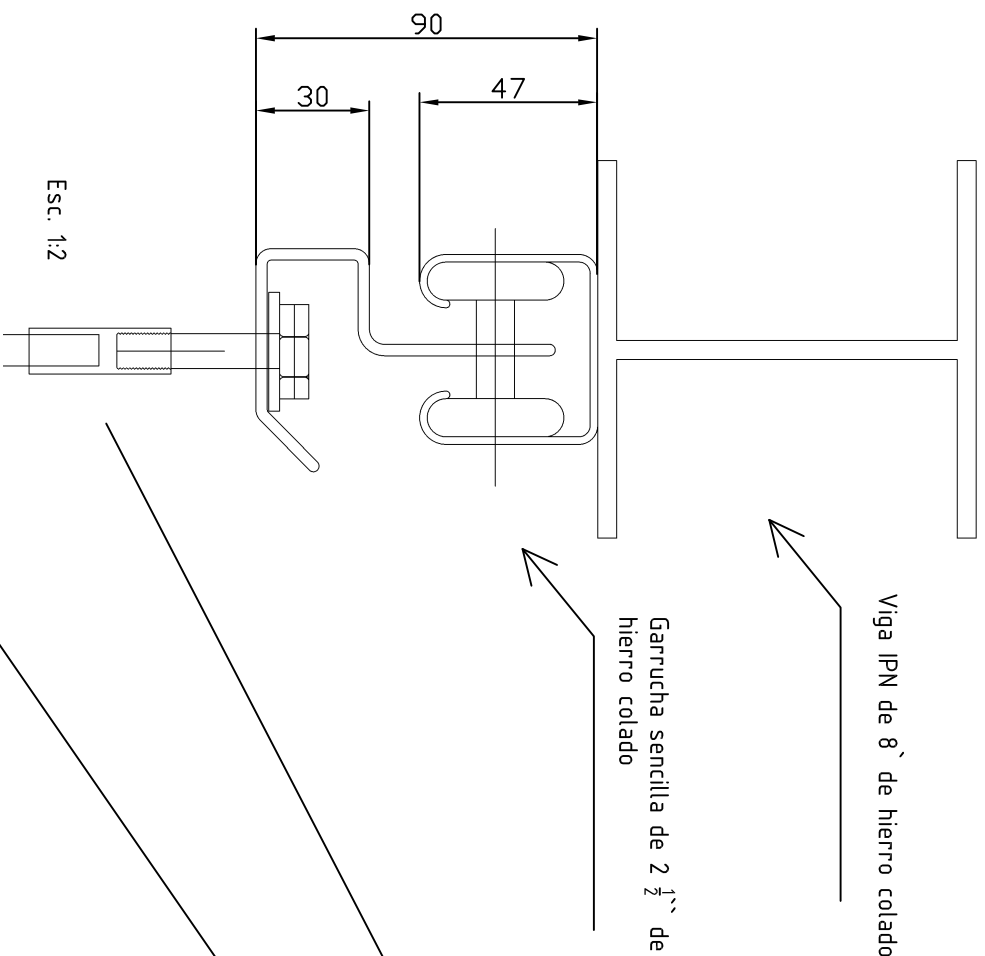
Placa de acero ASTM A36 de 500 mm X 500 mm X 6 mm para soportar la viga a pared con Tornillo y tuerca cabeza hexagonal $\phi \frac{1}{2}$ " de vástago de acero templado ASTM 325-T1, al igual que soporte para ductería rígida

UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		NOMBRE		R. Rafael/L. Manrique		FECHA	
		Material		Indicados		Mayo 2010	
		Medidas en mm					
 SISTEMA DE EXTRACCIÓN Detalle: Viga y Garrucha		TRABAJO ESPECIAL DE GRADO					
						Plano N° A.3	

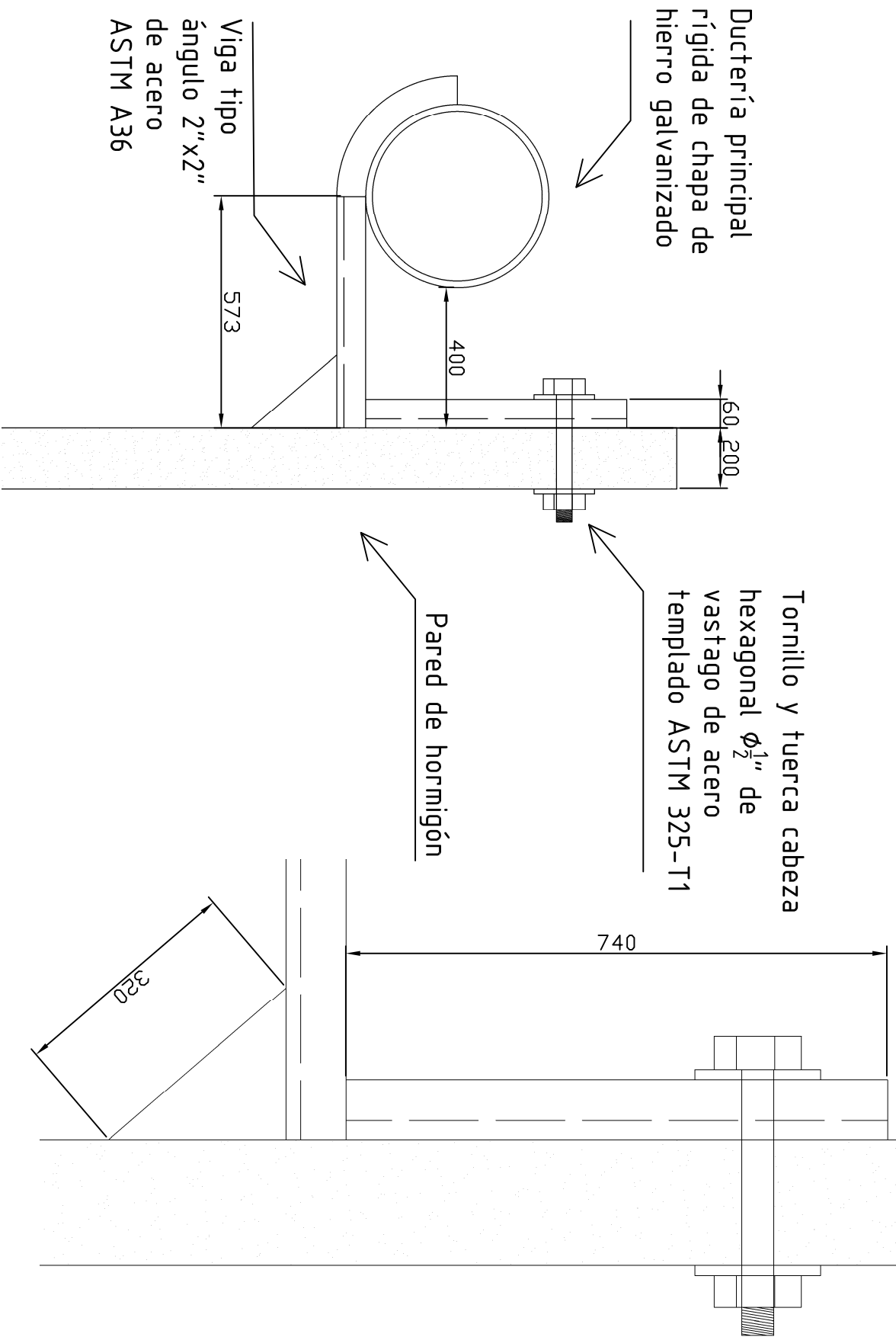




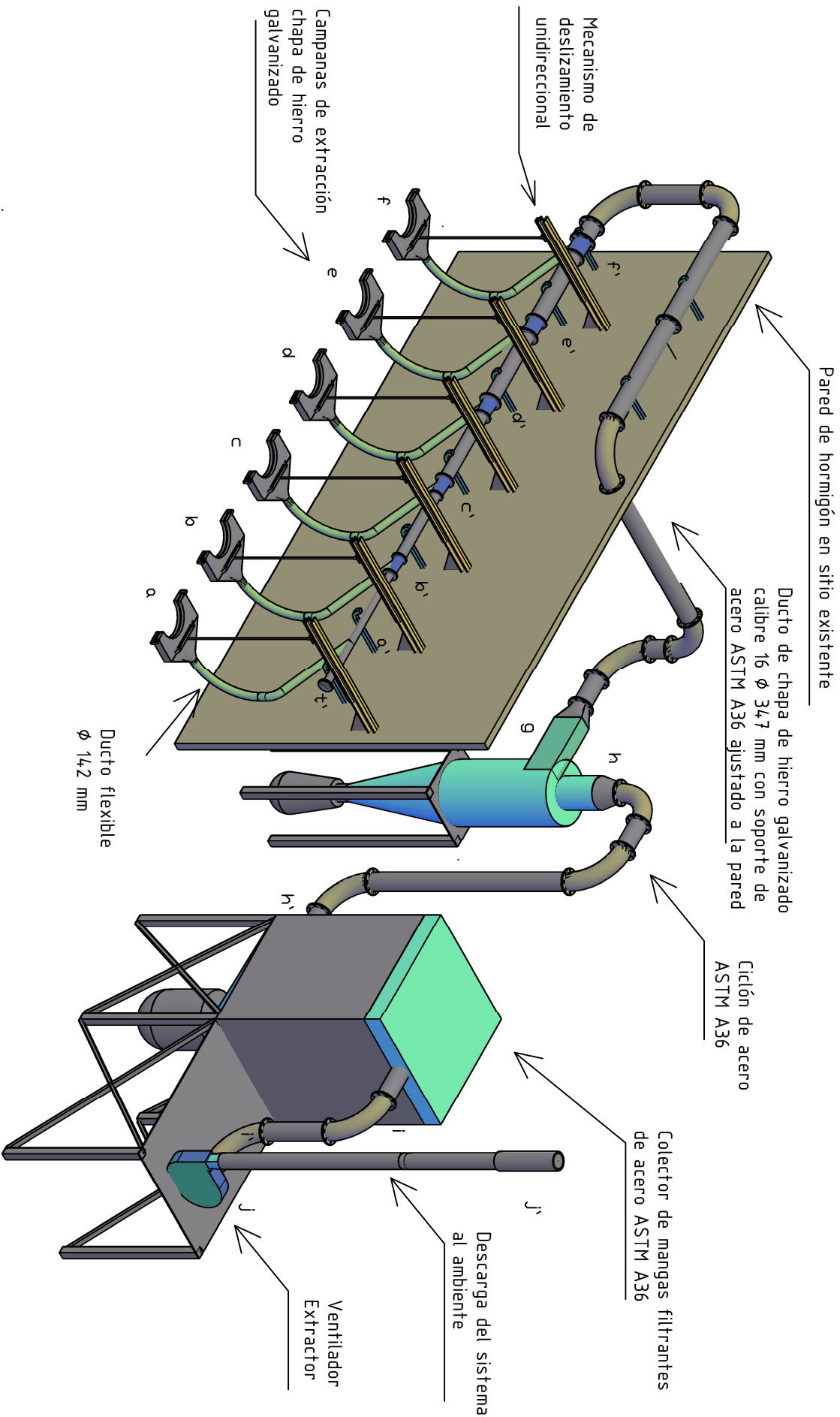
UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA				
Garrucha para soporte y movimiento campanas				
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO				
NOMBRE		R. Rafeh/L. Manrique		FECHA
Material		Indicados		Mayo 2010
Medidas en mm				
Escala: 1:10		Plano Nº A.4		



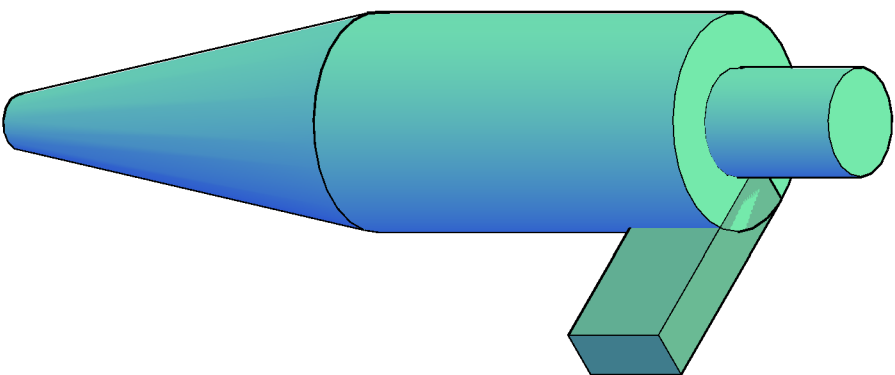
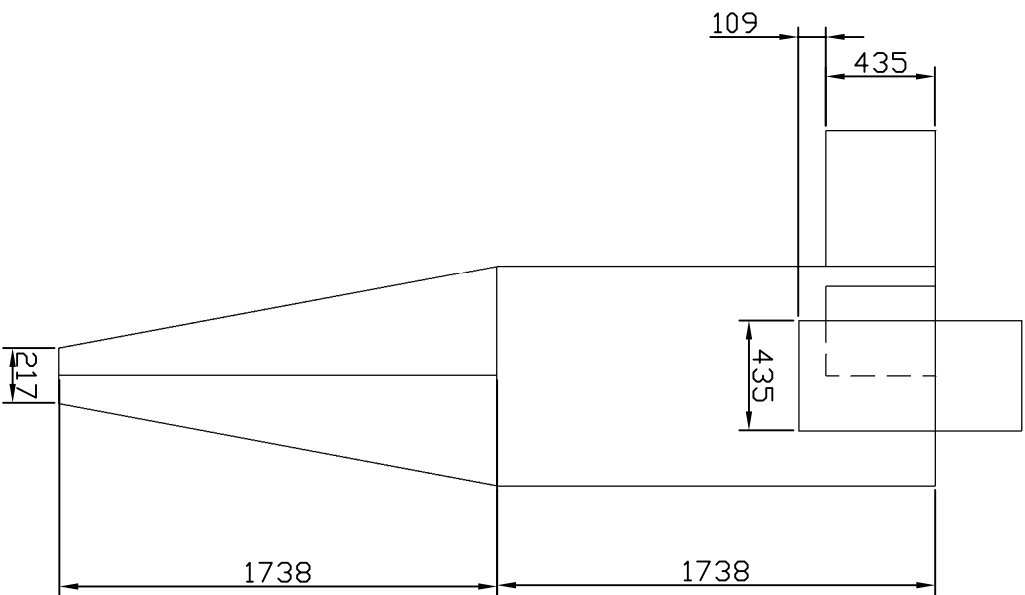
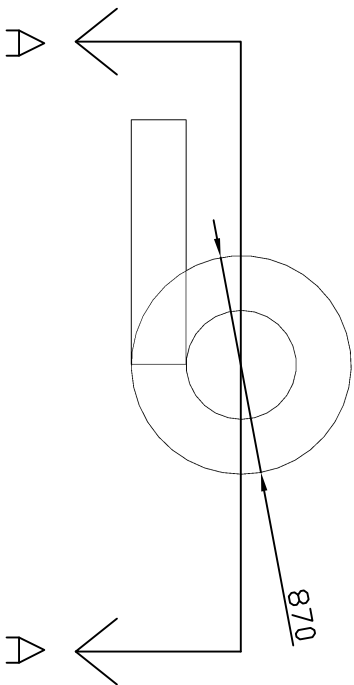
UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		NOMBRE		R. Rafeh/L. Manrique	FECHA
 		Material: Indicados		Mayo 2010	
		Medidas en mm			
		SISTEMA DE EXTRACCION Detalle: Mecanismo soporte		TRABAJO ESPECIAL DE GRADO	
Escala: Indicadas		Plano N° A.5			

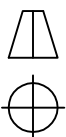


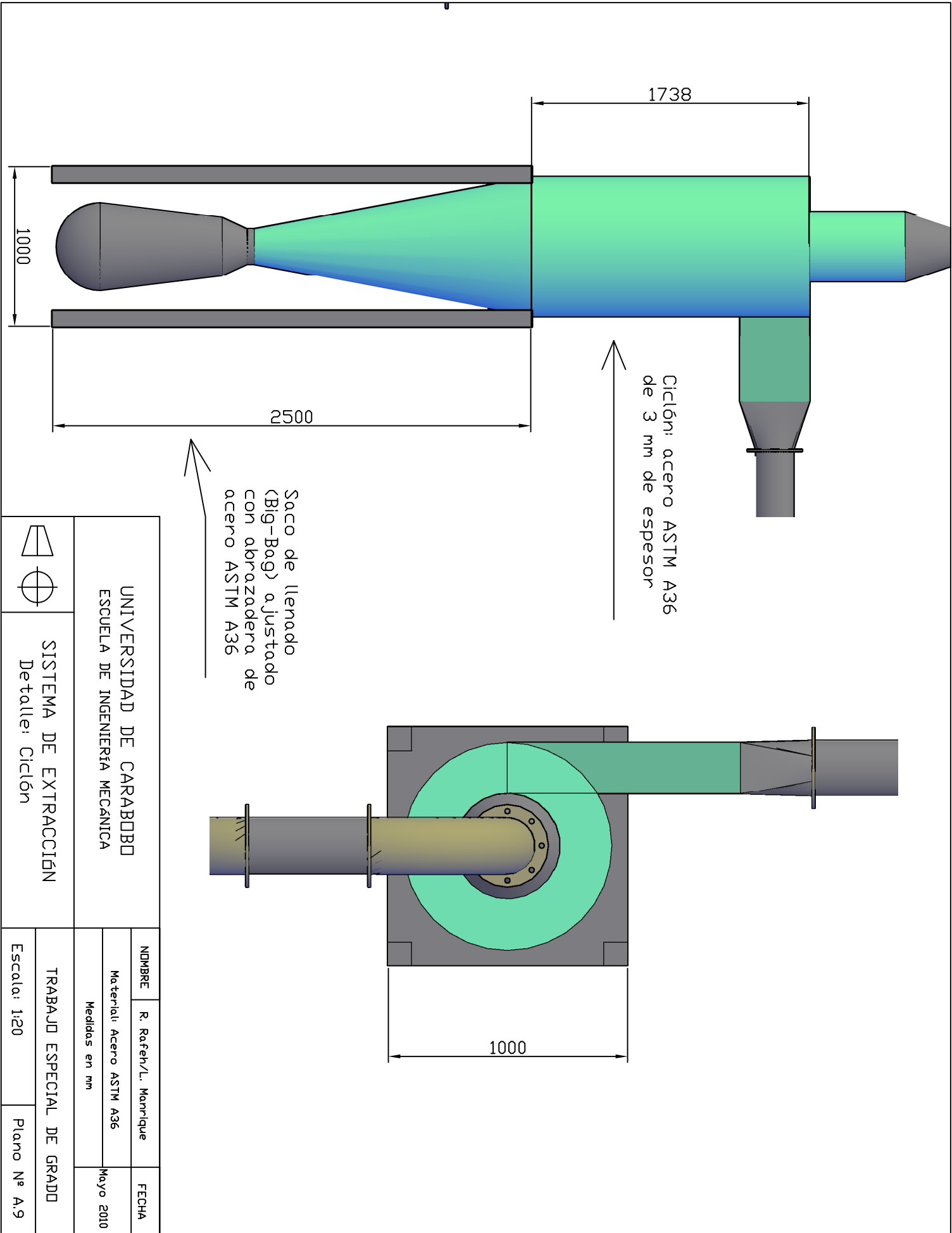
UNIVERSIDAD DE CARABOBO		 	SISTEMA DE EXTRACCIÓN		TRABAJO ESPECIAL DE GRADO			
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			Detalle de Soporte		Escala: Sin escala			
NOMBRE			R. Rafeh/L. Manrique				FECHA	
Materia: Indicados							Mayo 2010	
Medidas en mm								



UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		NOMBRE		R. Rafeh/L. Manrique		FECHA	
		Material:		Indicados		Mayo 2010	
SISTEMA DE EXTRACCION Área de material particulado		TRABAJO ESPECIAL DE GRADO					
		Escala: 1:75		Plano Nº A.7			

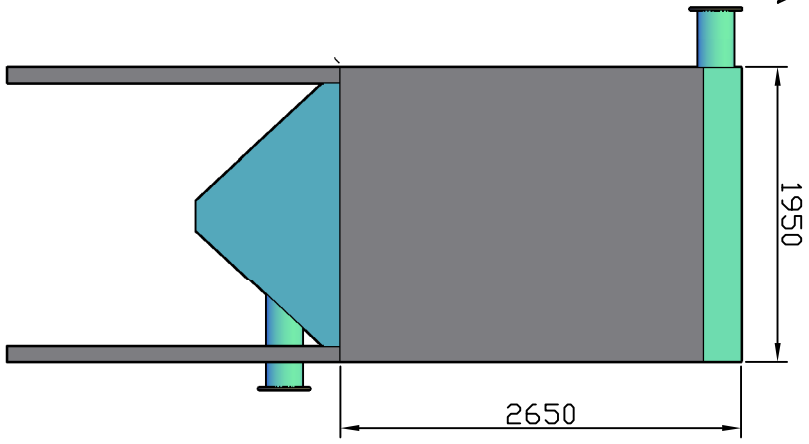
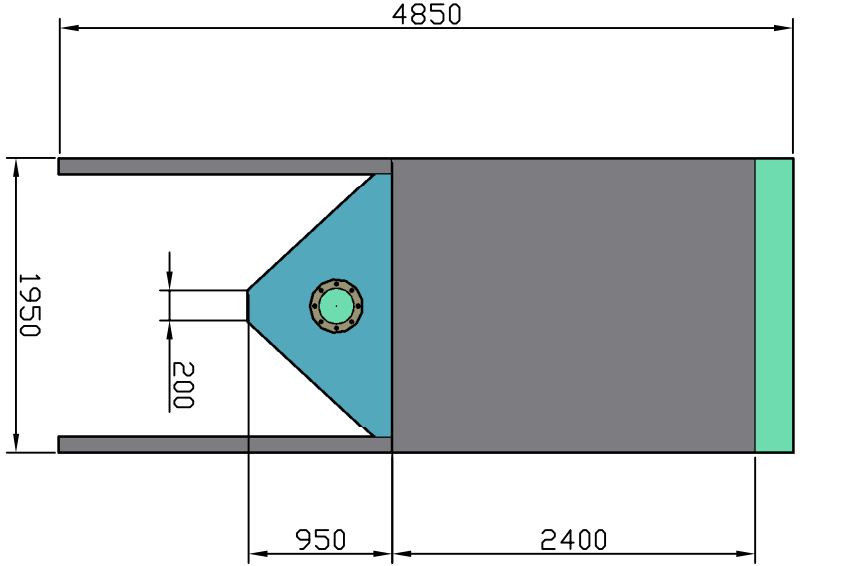


UNIVERSIDAD DE CARABOBO			SISTEMA DE EXTRACCION	
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			Detalle: Ciclón	
NOMBRE	R. Rafeh/L. Manrique	FECHA		
Material: Acero ASTM A36		Mayo 2010		
Medidas en mm				
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO				
Escala: 1:30		Plano N° A.8		



UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		NOMBRE		FECHA
		R. Rafeh/L. Manrique		
		Material: Acero ASTM A36		
	SISTEMA DE EXTRACCION Detalle: Ciclón	Medidas en mm		Mayo 2010
		TRABAJO ESPECIAL DE GRADO		
		Escala: 1:20	Plano Nº A.9	

Salida de aire limpio del
colector de mangas

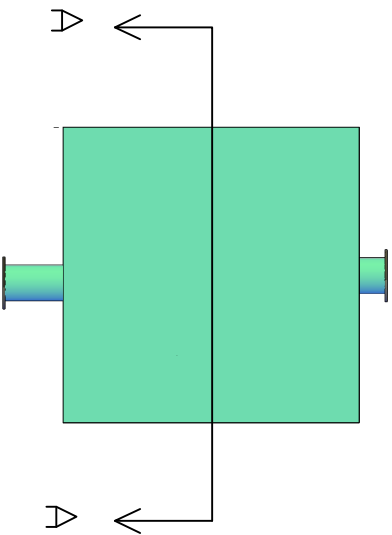


Entrada de aire contaminado
al colector de mangas

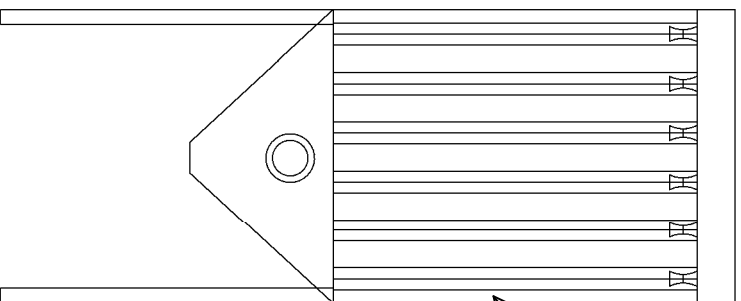
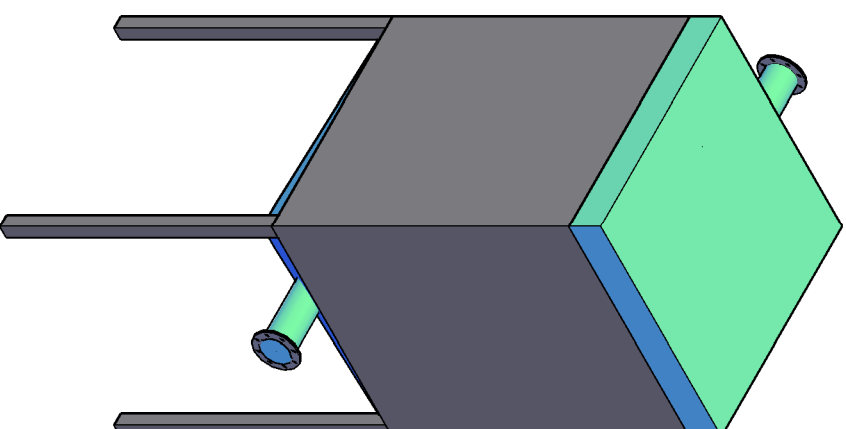


Material: Acero ASTM A36 calibre 14
Detalle: Colector de mangas filtrantes

UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		NOMBRE		R. Rafeh/L. Manrique	FECHA
		Material: Acero ASTM A36			
		Medidas en mm			
	SISTEMA DE EXTRACCION Detalle: Colector de mangas	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO			
		Escala: 1:50		Plano N° A.10	



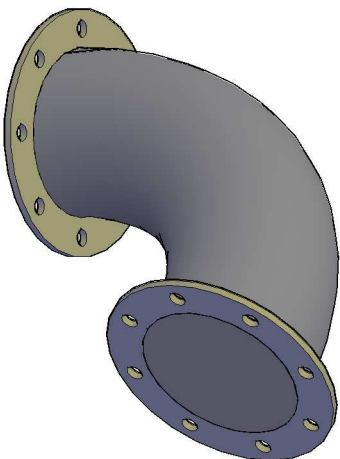
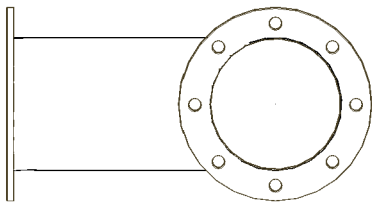
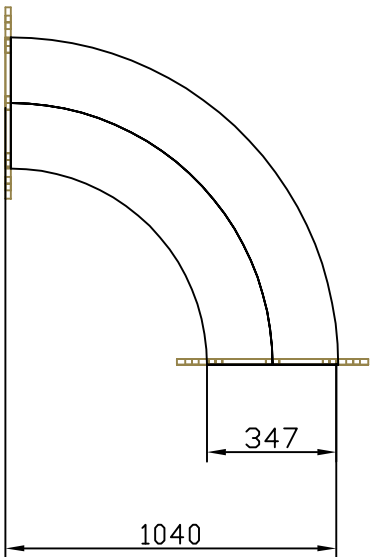
Mangas filtrantes de poliestere de 0,145 m de diámetro y 2,4 m de largo con rejillas de acero



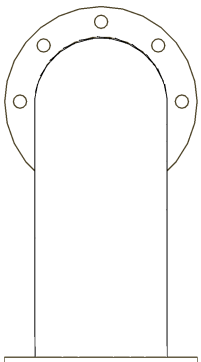
Corte A-A

Material: Acero ASTM A36 calibre 14
Detalle: Colector de mangas filtrantes

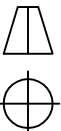
UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		NOMBRE		R. Rafael/L. Manrique	FECHA
		Material: Acero ASTM A36		Mayo 2010	
		Medidas en mm			
		SISTEMA DE EXTRACCION Detalle: Colector de mangas		TRABAJO ESPECIAL DE GRADO	
		Escala: 1:50		Plano N° A.11	

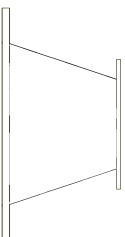
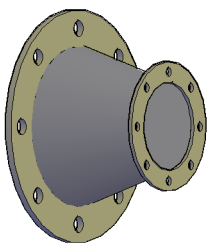
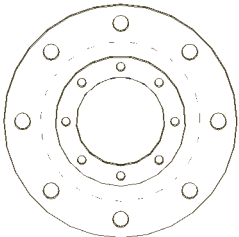


Detalle: Codo 90º Diam. 347 mm



UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		NOMBRE		FECHA
		R. Rafeh/L. Manrique		
		Material: Chapa Hierro Galvanizado		
		Medidas en mm		
SISTEMA DE EXTRACCION Detalle: Codo 90º		TRABAJO ESPECIAL DE GRADO		
		Escala: 1:10	Plano Nº A.12	

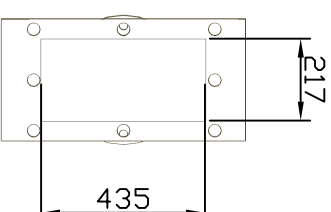
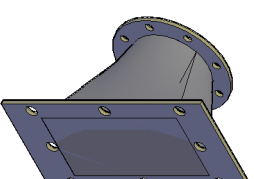




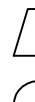
Reducción de salida del ciclón

Entrada diam. 435 mm

Salida 347 mm



Reducción de entrada del ciclón
Entrada 347 mm

	UNIVERSIDAD DE CARABOBO ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	NOMBRE		FECHA
		R. Rafeh/L. Manrique		
		Material: Chapa de Hierro Galv.		
		Medidas en mm		Mayo 2010
SISTEMA DE EXTRACCIÓN Detalle: Reducciones del ciclón		TRABAJO ESPECIAL DE GRADO		
		Escala: 1:20	Plano Nº A.13	