

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Diseño de una cámara para aplicación de pintura electrostática
con recuperación de polvo para una empresa metal-mecánica”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

CHRISTIAN LEOPOLDO PAREDES SALINAS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mis padres por confiar desde un inicio en mí y darme la oportunidad de estudiar, a mi director de tesis Ing. Manuel Helguero que sin dudar me ayudó en este trabajo, a todas las personas como profesores y amigos que aportaron con su grano de arena de conocimiento.

DEDICATORIA

A MIS PADRES, MI HERMANO,
FAMILIARES Y AMIGOS.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Manuel Helguero G.
DIRECTOR DE TESIS

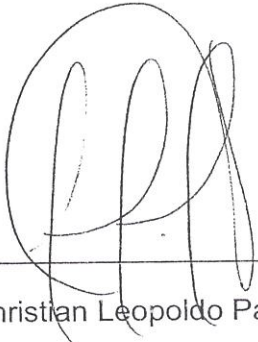


Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de graduación de la ESPOL)



Christian Leopoldo Paredes Salinas

RESUMEN

El trabajo de tesis presenta el diseño de una cámara de pintura electrostática con recuperación de polvo de pintura, los cuales se producen en la aplicación a un producto de una empresa metalmecánica. Esta empresa se dedica al diseño y fabricación de estructuras metálicas de almacenaje y productos elaborados en acero en la ciudad de Guayaquil con una visión de ser líder a nivel nacional en la elaboración de sus productos con procedimientos de calidad y respetando al medio ambiente así como también satisfaciendo a sus clientes con el compromiso de un trabajo bien hecho.

La empresa elabora estructuras de acero que sirven de bodegas para empresas y fabricas. Para la elaboración de sus productos la preparación de los materiales con un tratamiento superficial para su posterior aplicación de pintura que ayude a proteger el mismo de la corrosión sin olvidar la calidad y presentación del producto. Como los productos son diseñados para resistir cargas fuertes también su pintura debe tener buenas propiedades mecánicas y su adherencia debe ser óptima. La preparación de la superficie del producto cuenta con un baño o inmersión en ácido fosfórico el cual remueve o desprende todo tipo de material que no pertenezca al producto y también ofrece grandes ventajas a la hora de la adherencia de la pintura en el material. La aplicación de pintura es una parte fundamental para la calidad

del producto por lo cual se la elaborada en una cámara en lo posible aislada del ambiente exterior. En esta parte del proceso se aplica mediante una pistola de aplicación la pintura pero se llega a tener un problema con el desperdicio de pintura debido a que no todo se asienta en el producto así como también la difusión de una nube de polvo que se genera y que como no se está totalmente aislado el sistema afecta a los alrededores de la empresa.

Esta contaminación del ambiente exterior puede llegar a afectar a las personas que trabajan cerca del área de pintado debido a que la suspensión de material particulado, con un tamaño de partícula que va desde 5 a 120 μm (micras), puede introducirse en sus pulmones y así tener problemas de salud. Y si la nube alcanza gran altura puede llegar a lugares aledaños donde las personas no tengan la protección necesaria y como el material está muy disperso no son capaces de darse cuenta del problema. Siendo una responsabilidad de la empresa no afectar al medio ambiente y proteger a las personas de su empresa y los alrededores se ve obligada a obtener una solución del problema y cumplir con todos los requerimientos municipales para su normal trabajo. Teniendo en cuenta todos los antecedentes descritos y para darle solución al problema se estableció la necesidad de diseñar una cámara de aplicación de pintura con un sistema de extracción de este polvo que queda como nube en la cámara de pintado.

Se diseñará una cámara la cual tiene restricciones de espacio, así como también la estructura de la misma deberá soportar una carga de producto para cuando se le aplique el polvo de pintura y ser ergonómica, de bajo costo y con materiales que estén a la disposición dentro del país. El sistema de extracción de basa en la ventilación localizada, y está compuesta por una campara de extracción, una tubería de acero galvanizado, un tipo de separador de partículas, en nuestro caso un ciclón, y por ultimo un ventilador centrifugo de tiro inducido el cual generará vacio que atraerá el aire con material particulado en suspensión. Se tendrá adicionalmente en el piso de la cámara de aplicación una tolva la cual ayudara a la recolección del polvo en el piso basándose en el ángulo de reposo del polvo.

El estudio que comprende un análisis, investigación y diseño de la cámara y sistema de extracción propuesta nos da como resultado y solución a nuestra necesidad una cámara conjuntamente con el sistema de extracción interna que son refrendados por cálculos, planos y simulaciones así como también un análisis de costos de materiales y obra. Queda a disposición de la empresa la solución brindada mediante este estudio, su ejecución y construcción del mismo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Recubrimiento electrostático con pintura en polvo	3
1.1.1. Ventajas y desventajas.....	5
1.1.2. Proceso de aplicación	7
1.1.2.1. Tratamiento de superficies.....	7
1.1.2.2. Aplicación del polvo electrostático.....	10
1.1.2.3. Aplicación Electrostática	11
1.1.2.4. Aplicación por lecho fluido simple.....	12

1.1.2.5. Horno de Curado.....	12
1.2. Identificación de la necesidad.....	22
1.3. Eficiencia de pintura.....	23
1.4. Partes constitutivas.....	24
1.4.1. Cámara de aplicación.....	24
1.4.2. Campana de extracción.....	26
1.4.3. Ducto.....	28
1.4.4. Ciclón.....	30

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE FORMA.....	37
2.1. Cámara de pintado	38
2.2. Campana de Extracción	40
2.3. Ciclón.....	41

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE CÁMARA DE PINTURA ELECTROSTÁTICA.....	43
3.1. Diseño de Cámara de Aplicación	43
3.1.1. Parámetros Geométricos	43
3.1.2. Parámetros funcionales	44
3.1.3. Diseño de Cámara de aplicación	45

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y RECUPERACIÓN DE POLVO DE PINTURA.....	65
4.1. Diseño de campana de extracción.....	66
4.2. Diseño de ducto.....	72

4.3. Diseño de ciclón.....	77
4.4. Selección de ventilador.....	90

CAPÍTULO 5

5. COSTOS.....	95
----------------	----

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
6.1. Conclusiones.....	101
6.2. Recomendaciones.....	101

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

CFM	Pies cúbico por minuto
SP	Presión Estática
VP	Presión de velocidad
ASME	American Society of Mechanical Engineer
ASTM	American Society of Testing Material
m	Metros.
mm	Milímetros
H_2O	Agua
Col.	Columna
R	Reacción de fuerza
M	Momento
V	Velocidad
A	Área
m^3 / s	Metros cúbicos por segundo
m^2	Metros cuadrados
g / cm^3	Gramos por centímetro cúbico
Q	Caudal
KPa	Kilopascales
Mpa	Megapascales
L	Longitud
F	Fuerza
g	Gravedad
m	Masa
Kg	Kilogramo
V_{AB}	Fuerza cortante desde A hasta B
HEB	Perfiles de largas alas

SIMBOLOGÍA

$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrado
mm col H ₂ O	Milímetros de columna de agua
pulg col H ₂ O	Pulgadas de columna de agua
n	Eficiencia de pintura
R_1 y R_2	Reacciones en la viga
V_{AB}	Diagrama cortante de la viga
M_{AB}	Momento
$y_{m\acute{a}x}$	Deflexión máxima
E	Módulo de Young
I_{viga}	Inercia de la viga
η	Factor de seguridad de la viga
S_y	Esfuerzo de fluencia del material
σ	Esfuerzo máximo en la viga
α	Ángulo en reposo
Q	Caudal
W	Longitud de entrada de campana
L	Ancho de entrada de campana
S	Área de entrada de la campana la cual es de sección rectangular.
V_i	Velocidad de caída de partícula.
F_h	Factor de entrada de campana
h_0	Caída de presión en campana
V	Velocidad
A	Área Transversal
k	Constante de caída de presión en un ducto
h_d	Caída de presión en ducto
$h_{\text{codo}-90^{\circ}}$	Caída de presión en codo de 90°
$\Delta P_{\text{Accesorios}}$	Caída de presión total en accesorios.
d_{pc}	Diámetro del ciclón
N_e	Número de revoluciones del fluido en el vórtice exterior.
V_i	Velocidad de entrada al ciclón.

ρ_p	Densidad de la partícula.
ρ	Densidad del fluido transporte.
μ	Viscosidad del fluido transporte
μm	Tamaño de partícula
H_v	Número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón
ΔP	Pérdida de presión por el ciclón

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Limpieza de superficie de producto por baño en ácido	8
Figura 1.2 Limpieza de superficie de producto manualmente	9
Figura 1.3 Aplicación de pintura	11
Figura 1.4 Horno de curado	13
Figura 1.5 Producto final después de curado	14
Figura 1.6 Composición de pintura en polvo	16
Figura 1.7 Eficiencia de pintura	23
Figura 1.8 Taller de pintado	23
Figura 1.9 Bosquejo de cámara de aplicación	26
Figura 1.10 Bosquejo de campana de extracción	27
Figura 1.11 Tubería cuadrada	28
Figura 1.12 Tubería circular	29
Figura 1.13 Codo de tubería	30
Figura 1.14 Cambio de sección	30
Figura 1.15 Ciclón	32
Figura 1.16 Funcionamiento del ciclón	33
Figura 1.17 Ventilador centrífugo	35
Figura 1.18 Ventilador axial	36
Figura 2.1 Cámara de aplicación	39
Figura 2.2 Campana de extracción	40
Figura 2.3 Ciclón	42
Figura 3.1 Viga simplemente apoyada	47
Figura 3.2 Gráfico cortante versus distancia	48
Figura 3.3 Gráfico momento versus distancia	49
Figura 3.4 Viga HEB	52
Figura 3.5 Tubo estructural simplemente apoyado	53
Figura 3.6 Gráfico cortante versus distancia	54

Figura 3.7	Gráfico momento versus distancia	55
Figura 3.8	Tubo estructural cuadrado	58
Figura 3.9	Estructura básica	59
Figura 3.10	Catálogo acerimallas	60
Figura 3.11	Rejilla metálica	61
Figura 3.12	Ángulo de reposo	62
Figura 3.13	Polvo de pintura	63
Figura 3.14	Ángulo de reposo experimental	63
Figura 3.15	Tolva de piso	64
Figura 4.1	Dimensionamiento de campana	68
Figura 4.2	Dimensionamiento del ciclón	77
Figura 4.3	Distribución de tamaño de partícula	80
Figura 4.4	Distribución de partícula por clases	80
Figura 4.5	Parámetros de diseño de ciclones	81
Figura 4.6	Características del ventilador centrifugo	91
Figura 4.7	Ventilador centrifugo	91
Figura 4.8	Soporte para ciclón	93
Figura 4.9	Soporte para ventilador	94

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 4.1 Datos generales de diseño de ciclón	78
Tabla 4.2 Tipos de ciclones	79
Tabla 4.3 Distribución de tamaño de partícula	79
Tabla 4.4 Dimensiones de ciclón	84
Tabla 4.5 Eficiencia para un intervalo de tamaño de partícula	87
Tabla 4.6 Eficiencia parciales por tamaño de partícula	88
Tabla 5.1 Costos de ciclón y estructura de soporte	95
Tabla 5.2 Costo estructura de la cámara	96
Tabla 5.3 Costo campana de extracción	96
Tabla 5.4 Costo ventilador, soporte y accesorios	97
Tabla 5.5 Presupuesto construcción	98

ÍNDICE DE PLANOS

		Pág.
Plano 1	Estructura de la cámara	146
Plano 2	Ciclón	147
Plano 3	Campana de extracción	148
Plano 4	Tolva piso	149
Plano 5	Soporte Ventilador	150
Plano 6	Plano General	151

INTRODUCCIÓN

Como objetivo de este trabajo es realizar un diseño de una cámara de aplicación de pintura electrostática con recuperación de polvo para una empresa metalmecánica. El trabajo lo encomendó la empresa Helguero e Hijos con el fin u objetivo de diseñar una cámara donde se pueda recuperar el polvo sobrante a la aplicación que queda suspendido en el aire o bien en el piso.

El problema de pérdida de polvo se ha venido sucediendo por mucho tiempo en esta empresa aunque no ha causado problema a nivel de contaminación al exterior de la misma, ni problemas municipales, pero, como buscan una solución óptima no solo para la empresa, sino para no tener problemas municipales, se debe tener en cuenta el límite máximo de emanación de material particulado al ambiente.

Se realizó un estudio del proceso de aplicación de pintura y posibles soluciones mediante una investigación a fondo de la tecnología de este

método. Al analizar la situación actual de la empresa se pudo definir los problemas y limitaciones que se tiene para así poder buscar la mejor solución que será ergonómica, de bajo costo, factible y amigable al ambiente. Dando como resultado un diseño de un sistema conjunto de cámara y extracción de polvo para recolección. Se diseñó y seleccionó componentes adecuados para nuestro sistema sin olvidar que los mismos deben estar a la disposición en nuestro país.

Finalmente se presenta un análisis de costos de obra conjuntamente con planos, cálculos y simulaciones los cuales fundamentan y refrendan lo analizado y estudiado. Queda a disposición de la empresa Helguero e Hijos la elaboración del mismo y su construcción.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Recubrimiento electrostático con pintura en polvo

El recubrimiento electrostático con pintura en polvo está basado en un polvo, 100% sólido, que se aplica por medios electrostáticos, para después ser sometido a calentamiento, fundiendo este sobre el mismo metal adquiriendo, al polimerizar por temperatura, unas propiedades mecánicas y de apariencias excelentes. Este proceso sólo puede ser aplicado a materiales en estado sólido con capacidad conductora y/o termoestable. En su gran mayoría de aplicaciones es usada para productos metálicos como por ejemplo partes de maquinaria, muebles metálicos de oficina, electrodomésticos, en la industria automotriz y en las estructuras metálicas.

Su aplicación esta generalmente extendida en el mundo industrial siendo su aplicación domestica totalmente inexistente. La principal diferencia entre una pintura líquida convencional y una pintura en polvo es que el recubrimiento en polvo no requiere un disolvente.

La temperatura de fusión promedio es de 60 °C a 100 °C, la temperatura de polimerizado esta en el rango de 180°C-200°C la misma que debe realizarse durante un tiempo de 10 a 20 minutos.

El principio del pintado electrostático se basa en el concepto del imán, donde cargas opuestas se atraen. La pintura en polvo es transportada por mangueras, a través de un sistema de vacío creado por aire comprimido a alta velocidad, hasta las pistolas de aplicación (en sistema corona, el más usual), donde son bombardeados con cargas eléctricas de alto voltaje (hasta 90.000V en algunos casos) y bajísimo amperaje, lo que prácticamente elimina el peligro de choque eléctrico; esta operación prevé carga eléctrica negativa a las partículas de pintura que son atraídas a la pieza metálica correctamente aterrada. El resultado final del pintado puede ser visto minutos después.

1.1.1. Ventajas y desventajas

Ventajas

- Ausencia de VOC (Compuestos Orgánicos Volátiles).
- Generan bajo nivel de residuos.
- No necesita solventes para su dilución.
- No son inflamables.
- Reducen el costo de seguros.
- Reducen el área de depósito.
- Reducen los costos de deposición de residuos.
- Excelente reciclaje del polvo, generando a lo sumo 5% de pérdida en el proceso.
- Reducen los riesgos para la salud. Elimina programas de insalubridad.
- Proceso independiente de la humedad y la temperatura del aire.
- Producto listo para su uso.
- Aumento de la productividad con reducción del tiempo de proceso (aplicación/curado).
- Elevada resistencia físico - química dentro de las especificaciones de los clientes.

- Reducción del espesor de capa con preservación de la integridad del producto pintado.
- Amplia gama de productos y entregas según la necesidad del cliente.

Desventajas

- No pueden utilizarse en materiales que no soporten temperaturas del orden de los 200 C.
- Una vez elaborado el polvo es muy difícil modificar su color.
- El costo inicial del polvo es mayor que el de la pintura líquida pero el rendimiento final es superior. (Los costos de aplicación que se tienen en cuenta en la planta de producción deben ser calculados mediante la calidad del acabado y ésta se refleja en el rendimiento de la pintura en polvo que se mide en kilogramos usados por metro cuadrado pintado kg/m²).
- Aunque tiene un buen acabado final, nunca es tan bueno como el de la pintura líquida.

1.1.2. Proceso de aplicación

El proceso de aplicación de pintura en polvo consta de los siguientes pasos:

- Tratamiento de superficies.
- Aplicación del polvo electrostático.
- Horno de Curado.

Estos pasos contiene eventos especiales que serán explicados a continuación:

1.1.2.1. Tratamiento de superficies

La calidad final de la aplicación de pintura en polvo y los resultados que se obtengan dependen principalmente del tratamiento previo de limpieza de las superficies que se le realice al producto, pues las superficies deben estar limpias, libres de polvo, aceite, grasa, óxido o cualquier sustancia extraña que no pertenezca a la pieza a pintar. Mediante la preparación de la superficie se aumenta la resistencia a la corrosión con la aplicación de fosfatos y selladores con el propósito de facilitar la adherencia de la pintura.



FIGURA 1.1 LIMPIEZA DE SUPERFICIE DE PRODUCTO POR
BAÑO EN ÁCIDO

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

El proceso de fosfatizado, el mismo que se observa en la figura 1.1, se lo realiza por medio de una piscina donde se sumerge el producto para eliminar impurezas y óxido. Otros tipos de limpieza se hacen por medio de métodos manuales y mecánicos como se muestra en la figura 1.2.

En la mayoría de empresas metalmecánicas se tiene el problema de la suciedad de las superficies así como también la humedad del entorno. En este caso se podría obviar el efecto de la humedad debido a que, apenas se le hace el tratamiento de limpieza, se realiza la aplicación.

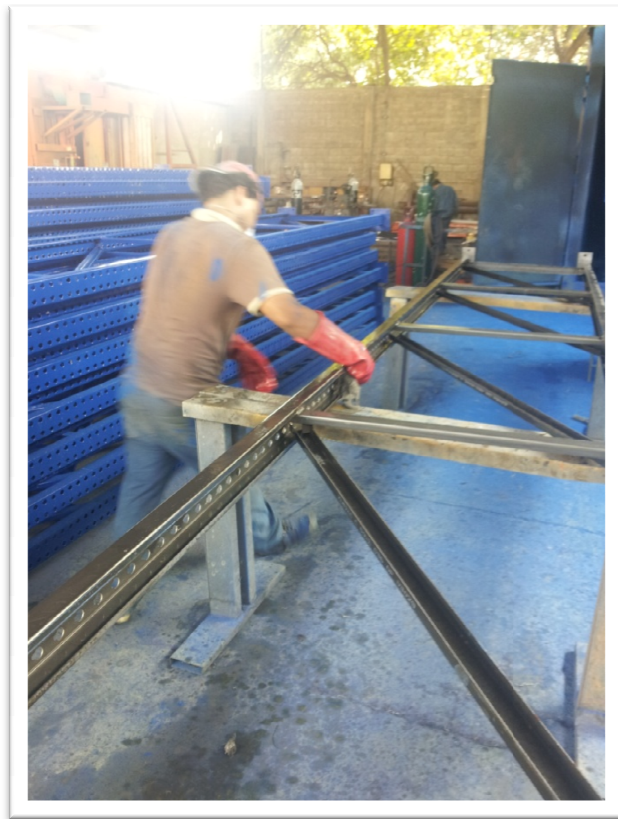


FIGURA 1.2 LIMPIEZA DE SUPERFICIE DE PRODUCTO
MANUALMENTE

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

1.1.2.2. Aplicación del polvo electrostático.

Al momento de la aplicación debe tomarse en cuenta el entorno en el cual se aplicará debido a que estos parámetros afectan directamente a la calidad del mismo. Se debe colocar la cámara de aplicación en un lugar donde la temperatura, contaminación, presión atmosférica, velocidad del viento y la humedad estén en rangos que se puedan asumir óptimos para la aplicación. Hay que enfatizar que cuando se menciona el aire, se debe considerar que no debe tener en suspensión aceites, combustibles, material sólido o particulado.

Para establecer estos parámetros se recomienda lo siguiente:

- Humedad no más de 65%.
- Temperatura ambiente máximo 35°C.
- Aire libre de contaminantes y sólidos.
- Tratar en lo posible mantener la cámara cerrada y si es cámara continua menor cantidad de entrada y salida de aire.

Al momento de la aplicación se recomienda tener una distancia prudente de 30cm aproximadamente como se ve en la figura 1.3.



FIGURA 1.3 APLICACIÓN DE PINTURA
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

1.1.2.3. Aplicación Electroestática

Para la aplicación electrostática en el proceso, las partículas de polvo de la pintura se cargan eléctricamente mientras el producto a pintar está conectado a tierra, de esta manera se produce una atracción electrostática que adhiere una película de polvo a la pieza, logrando recubrir toda su superficie de manera pareja y total.

1.1.2.4. Aplicación por Lecho Fluido Simple

Aplicación por Lecho Fluido Simple se utiliza para piezas con geometría complicada y donde se necesita de un espesor elevado. Aquí la pieza es colocada por medio de inmersión en un reservorio de pintura donde se encuentra suspendida formando una nube densa que se comporta como un fluido. La pintura es depositada en la pieza por medio de calentamiento de la misma y posteriormente llevada al horno para complementar el curado final.

1.1.2.5. Horno de Curado

En el proceso de curado en el horno, como su nombre lo indica, es un procedimiento que el calor generado con condiciones exactas, a la capa de polvo simplemente adherida al producto, la polimeriza de tal manera que se forma una película que adquiere una adherencia final que resistirá mecánicamente como químicamente.

Este procedimiento es muy controlado por sus niveles de temperatura y tiempo de curado del producto ya que el

conjunto de estas dos variables serán las responsables del acabado final y de sus propiedades mecánicas y químicas.



FIGURA 1.4 HORNO DE CURADO
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

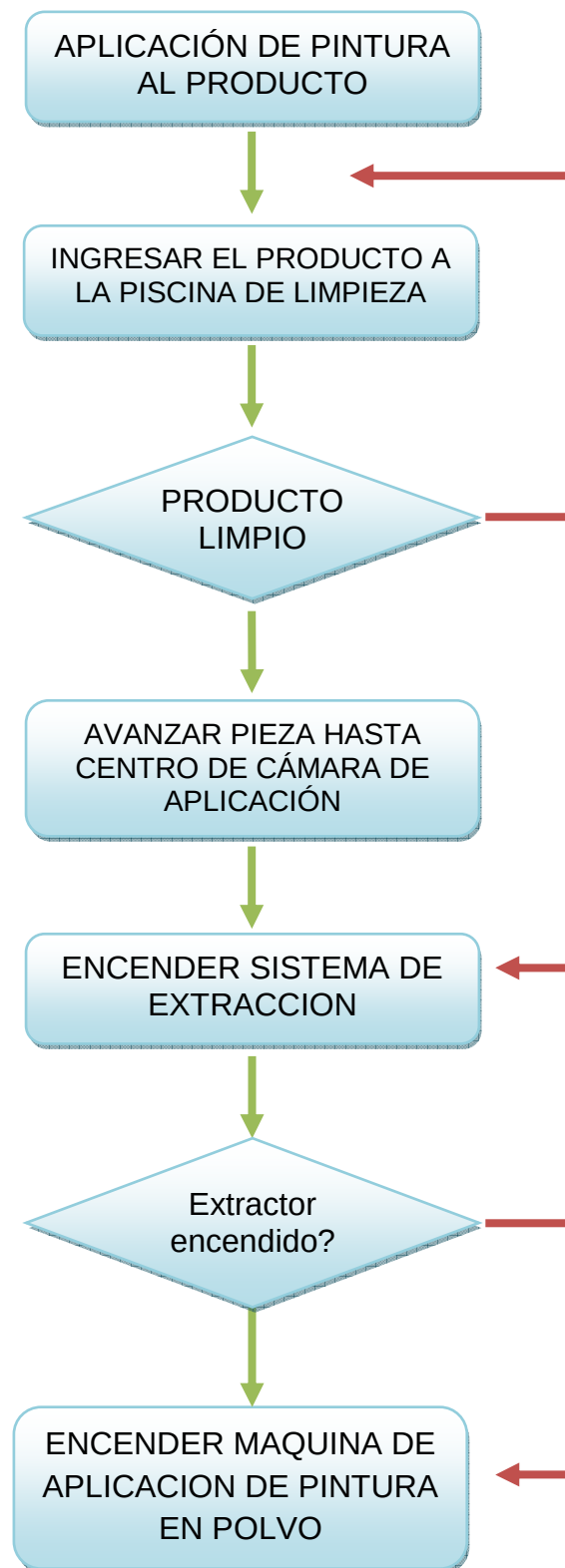
Cuando se tiene errores en el proceso de curado se puede fácilmente ver que la adherencia no es buena y no pasará los estándares de calidad. Usualmente los problemas de tiempos y temperaturas vienen dados por la variedad de resinas de la pintura.

Se puede utilizar dos tipos de hornos para el curado: los de convección o los de radiación, donde la diferencia radica en que el de convección se transmite el calor al aire y de ahí al metal que hará que actúe sobre el polvo y el de radiación, que transfiere mayor calor directamente a la pintura.

El tamaño de los hornos depende directamente de la geometría del producto y el número de productos a curar.



FIGURA 1.5 PRODUCTO FINAL DESPUÉS DE CURADO
Elaborado por: Christian Paredes, 2012



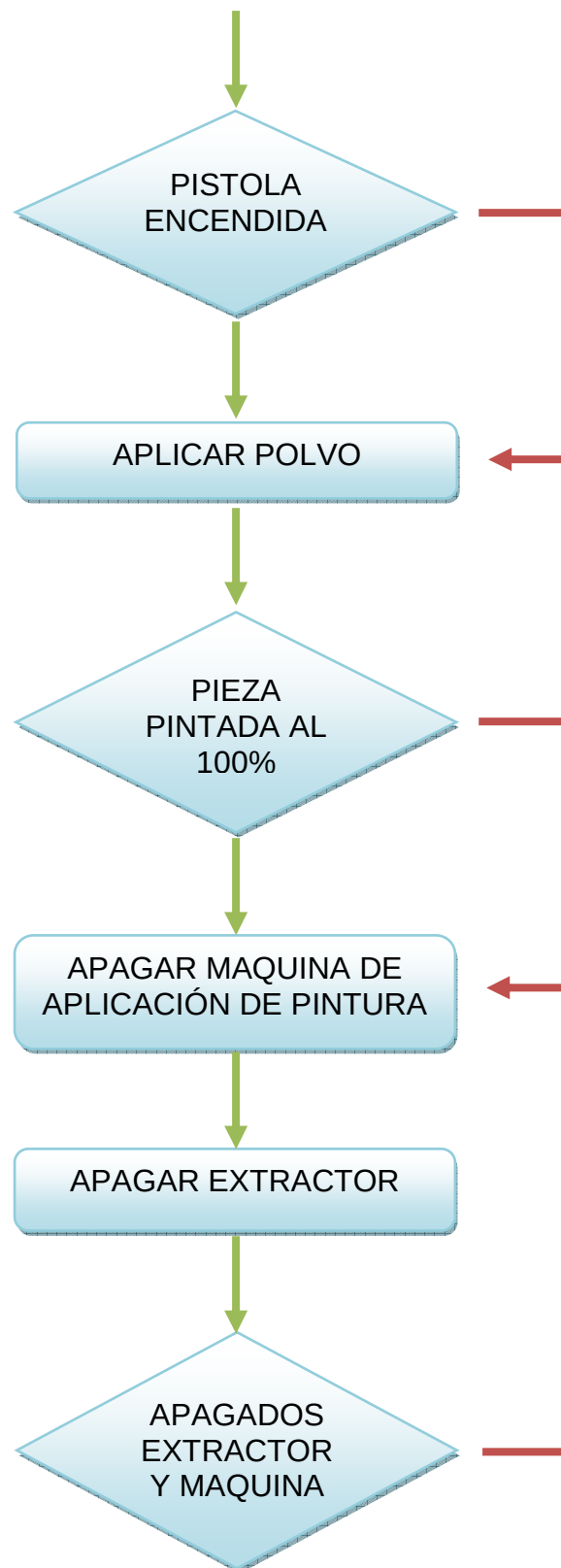




Diagrama de flujo del proceso de aplicación
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

El control de calidad

El control de calidad se realiza mediante las siguientes pruebas:

- ✓ Visuales: Aspecto, Brillo
- ✓ Mecánicas: el espesor de la capa, la adherencia, la dureza resistencia a la fisuración en el plegado, ensayo de impacto, fresado y taladro.
- ✓ Químicas: resistencia a atmósferas húmedas conteniendo dióxido de azufre, resistencia a la niebla salina o salino acética, ensayo de envejecimiento acelerado, envejecimiento natural, test de polimerización, resistencia al agua hirviendo, resistencia a la humedad en atmósfera constante.

En general se utiliza métodos rápidos para demostrar que la adherencia y las resistencias son válidas, estas son la prueba de adherencia, Resistencia al impacto y el test de polimerización.

Composición de las Pinturas en polvo

La composición de la pintura en polvo viene con los siguientes componentes:

- ✓ Resinas, principal vehículo que delimita el rendimiento básico de la adherencia.
- ✓ Pigmentos, que definen, los colores y los efectos, tales como metálico, la textura, martillado, etc.
- ✓ Agentes de Cura, que reaccionan con la resina para formar una película continua y protectora.
- ✓ Aditivos, que son utilizados para optimizar la performance y los efectos de la película tales como terminación, fluidez y nivelación.

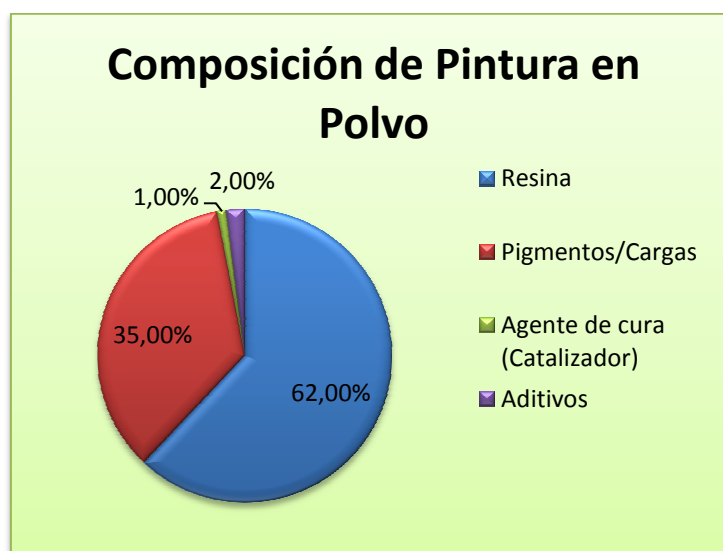


FIGURA 1.6 COMPOSICIÓN DE PINTURA EN POLVO
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Seguridad Industrial

Para el proceso de aplicación de pintura el operador deberá tener la indumentaria adecuada para trabajar en el ambiente lleno de polvo de pintura. La seguridad se basa en proteger la salud e integridad del operario para que este no tenga problemas a futuro y que el desempeño sea óptimo.

Los accesorios que debe tener dentro de una cámara de aplicación serán:

- Gafas.
- Mascarilla.
- Gorro.
- Botas.
- Oberol.
- Guantes.

Marco legal de material particulado

Se tiene que tomar en cuenta la emanación de material particulado al ambiente debido al proceso de aplicación y para ello se basará en las leyes ecuatorianas, las cuales nos indican que para material particulado no puede excederse de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anuales para tamaño de partícula de $2.5 \mu\text{m}$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anuales para tamaño de partícula de $10 \mu\text{m}$. sabiéndose también que para nuestro material no hay una ley específica con otras restricciones (Norma de Calidad del Aire Ambiente).

Entonces por consiguiente se tiene un compromiso no solo con un ahorro para una empresa metalmecánica sino también con el ambiente de trabajo y lugares aledaños.

1.2. Eficiencia de pintura

Para definir la eficiencia de pintura hay que tomar en cuenta dos datos importantes:

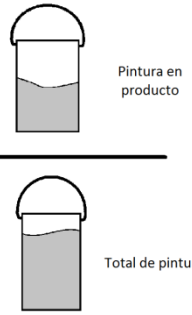
- Pintura total por aplicación (a)
- Pintura total Utilizada(b)

La eficiencia está dada por cuanta pintura de un todo se pudo utilizar.

$$n = \frac{\text{Pintura utilizada}}{\text{Pintura total por aplicación}} = \frac{b}{a}$$

Cuando el polvo aplicado está seco, el 98% del overspray (el polvo que no se fija a la pieza durante la aplicación) puede ser recuperado y reutilizado a través de sistemas de ciclón, multiciclón, filtros o sistemas donde se combinan los ciclones y filtros.

Se debe usar 30% de polvo recuperado y 70% de polvo nuevo.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Pintura en producto}}{\text{Total de pintura}}$$


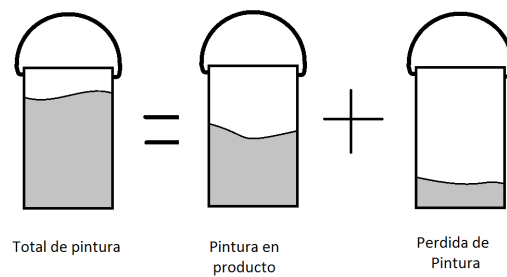


FIGURA 1.7 EFICIENCIA DE PINTURA
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

1.3. Identificación de la necesidad

Se tiene la necesidad de aprovechar todo el polvo de pintura posible debido a su desperdicio, como se muestra en la siguiente figura en la cual se puede visualizar que se expande por todo el taller de pintado.



FIGURA 1.8 TALLER DE PINTADO
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Para el proceso de pintado, se quiere encontrar un buen diseño de una cámara de aplicación del polvo electrostático con todos sus componentes, tomando en cuenta que se quiere aprovechar en espacio, material y ergonomía para lo cual en el proceso se debe tomar en cuenta las condiciones del sistema.

Para esta cámara de pintado se tomará en cuenta:

- Estructura.
- Succionador de aire (campana de extracción).
- Ciclón.

1.4. Partes constitutivas

Una cámara para aplicación de pintura en polvo o electrostática consta de varias partes las cuales ayudarán a su aplicación, a la recolección de polvo sobrante y regresar el aire utilizado en condiciones que no afecten al medio ambiente.

1.4.1. Cámara de aplicación

La cámara de aplicación no solo se basa en una estructura sino también en su forma, su uso y ergonomía.

Para lo cual se tiene que tomar en cuenta lo que se quiere en esta cámara. Por lo consiguiente se tiene:

- Estructura rectangular, metálica, que soporte los pesos de los productos.
- Debe tener un riel, ya que será una cámara continua para que el producto después de su aplicación en pintura avance al curado.
- Que el soporte del producto, esté aterrizado eléctricamente, para que funcione el sistema electrostático.
- Ergonomía para que el operador pueda tener libertad de aplicar el polvo sin incomodidad.
- Piso de rejillas para reutilizar el polvo sobrante.

Un bosquejo de lo que se pretende de una cámara de aplicación de la pintura.

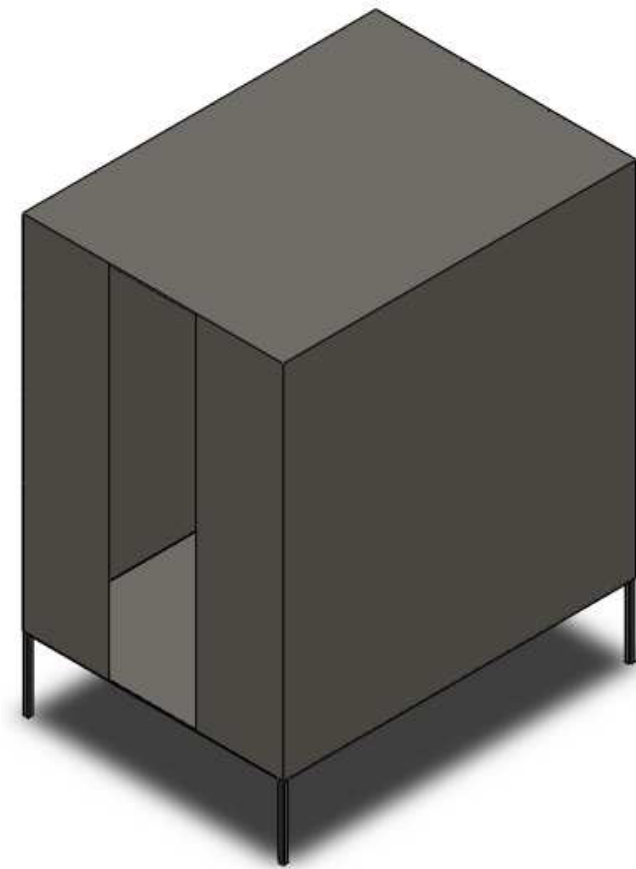


FIGURA 1.9 BOSQUEJO DE CÁMARA DE APLICACIÓN
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

1.4.2. Campana de extracción

La campana de extracción de aire es una parte importante que se debe tomar en cuenta ya que así se podrá captar la mayor parte del material particulado que se genera dentro de la cámara y así aprovechar para darle un tratamiento y recuperar pintura en polvo para su próxima aplicación.

La importancia del succionador de aire se debe a la posición dentro de la cámara y el nivel de captación ya que dependiendo de esto se procederá al diseño del mismo.

Siempre a la hora de diseñar una campana de extracción se tiene que tomar en cuenta el caudal y así también en qué afecta el material particulado al material del que está hecho la campana.

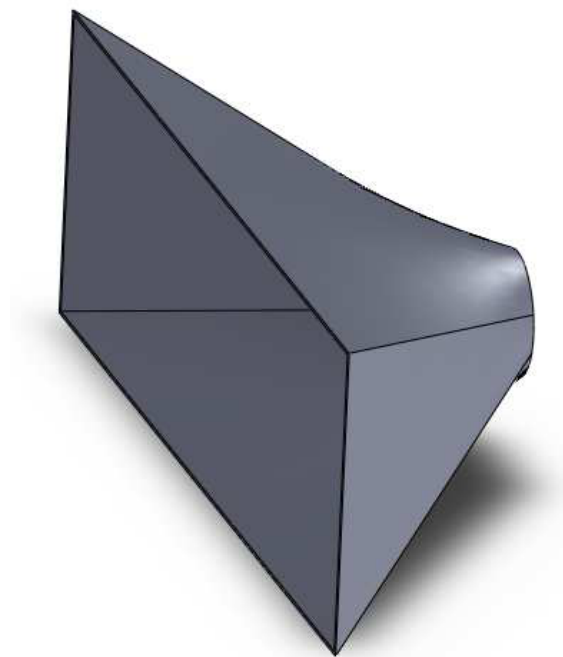


FIGURA 1.10 BOSQUEJO DE CAMPANA DE EXTRACCIÓN

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

1.4.3. Ducto

El ducto de circulación es un sistema de tuberías de diferentes formas de manera que por ellas avance el fluido.

Se debe tener en cuenta que las formas más comúnmente usadas son de área transversal rectangular, cuadrada o circular siendo esta última la más usada por su facilidad de cálculo.

En el diseño óptimo del ducto se debe tomar en cuenta las características del fluido en cuestión y al material usado en el ducto para que a futuro tenga buenos resultados.

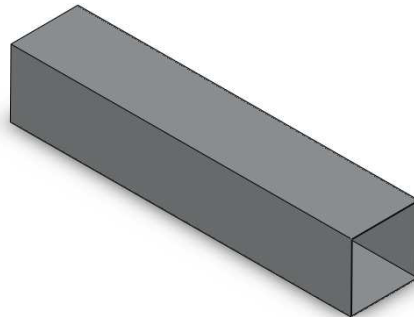


FIGURA 1.11 TUBERIA CUADRADA
Elaborado por: Christian Paredes, 2012



FIGURA 1.12 TUBERIA CIRCULAR
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Accesorios

Se define como accesorios a todo lo adicional que sirve para unir estos elementos en el diseño como por ejemplo: codos (figura 1.13) y cambios de secciones (figura 1.14).

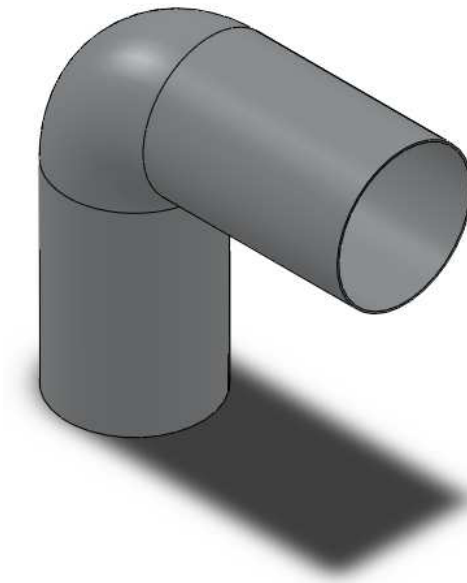


FIGURA 1.13 CODO DE TUBERIA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

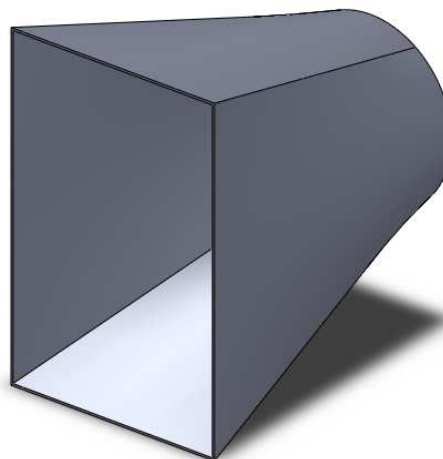


FIGURA 1.14 CAMBIO DE SECCIÓN

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

1.4.4. Ciclón

La recuperación de productos en polvo del gas de descarga es vital para cualquier industria para evitar los problemas de polución o aumentar el rendimiento de la planta.

El ciclón es un diseño basado en la mecánica de los fluidos que ayuda a retirar material particulado que está en suspensión en un gas que puede ser el aire basándose en la trayectoria del fluido.

Son de buena eficiencia si las partículas no son muy pequeñas, son de bajo costo de instalación y de operación y además, la posibilidad de regulación. Se lo utiliza a nivel industrial debido a sus grandes ventajas.

Los ciclones para separar partículas sólidas o líquidas de gases trabajan con partículas de entre 5 a 200 micrones, en el caso de partículas de diámetro menor a 5 micrones el rendimiento de la separación es bajo y para el caso de diámetro de partículas

superiores a 200 micrones es conveniente utilizar una cámara de sedimentación porque la abrasión es menor.

Cuando hay aglomeración de partículas o alta concentración de polvos, pueden separarse partículas de menor tamaño obteniéndose un rendimiento de hasta el 98% debido a las aglomeraciones.

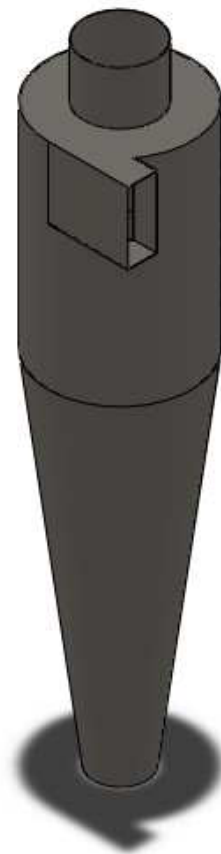


FIGURA 1.15 CICLÓN

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

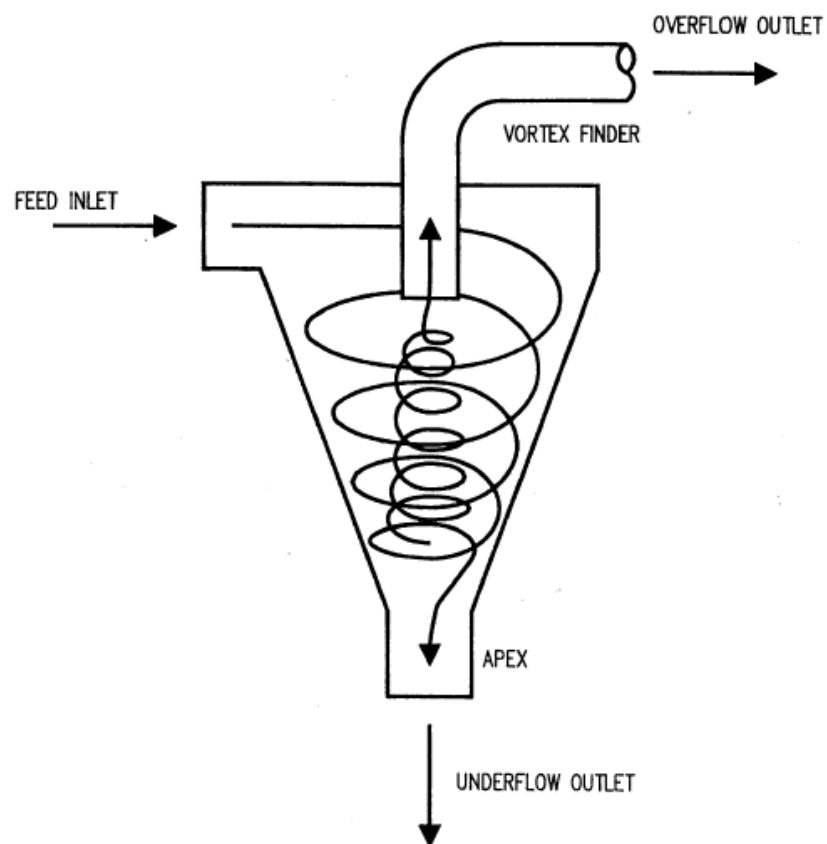


FIGURA 1.16 FUNCIONAMIENTO DEL CICLÓN

Elaborado por: Echeverri, 2006

Los ciclones también se utilizan para separar gotas de líquido en suspensión en un gas y partículas sólidas en suspensión en un líquido. En este último caso se llaman hidrociclones.

Ventilador

Los ventiladores proveen de energía necesaria para mover aire a través de campanas, ductos y equipos de control. Los ventiladores mueven aire y proveen un aumento total de presión para superar las caídas de presiones existentes cuando el aire pasa a través de ductos y dispositivos de control.

Existen dos tipos de ventiladores los centrífugos o de flujo radial y los de hélice, propulsor o de flujo axial.

En los ventiladores centrífugos el aire entra al ojo del rotor, toma una dirección de ángulo recto con respecto a la dirección inicial, es acelerado y comprimido por la fuerza centrífuga hacia la descarga.

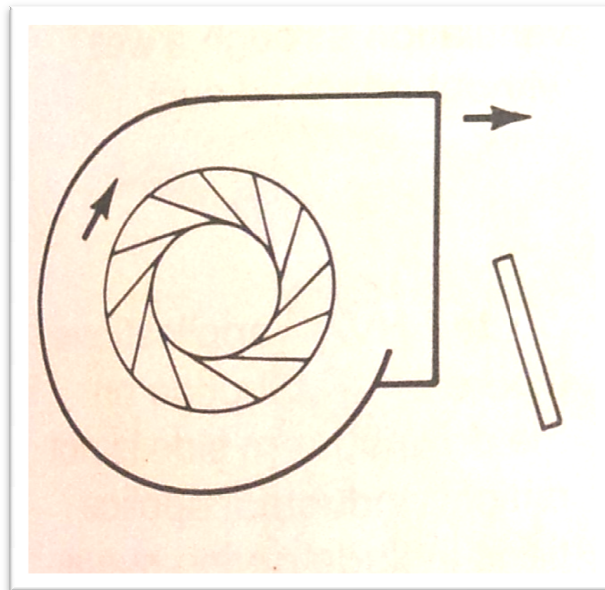


FIGURA 1.17 VENTILADOR CENTRÍFUGO

Tomado de: David Copper, 2002

En el ventilador de flujo axial, el aire fluye recto a lo largo del dispositivo ventilador en su eje de rotación. Las palas aerodinámicas tiran el aire en el borde de ataque y lo descargan hasta el borde de fuga. La fuerza centrífuga se convierte en un aumento de presión debido a las paletas estacionarias.

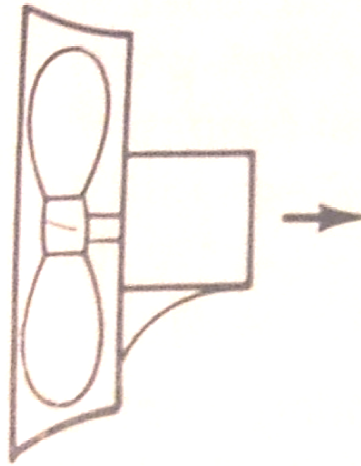


FIGURA 1.18 VENTILADOR AXIAL

Tomado de: David Copper, 2002

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE FORMA

Para este diseño se tendrá que tomar las siguientes consideraciones de factibilidad:

- Espacio.
- Peso.
- Forma.
- Factores ambientales
- Factores industriales
- Factores de funcionalidad.
- Costo.
- Beneficios.

Se enfocará en estos factores debido a que, antes de su implementación se debe analizar todos los ámbitos donde el diseño puede variar.

En el diseño se tendrán los siguientes componentes básicos:

- Cámara de aplicación.
- Soporte de producto.
- Campana de Extracción.
- Ducto.
- Ciclón
- Ventilador.

2.1. Cámara de pintado

La cámara de pintado consiste en una estructura metálica la cual va a servir para la aplicación de la pintura en polvo, para su posterior recolección y hacer un confinamiento del espacio sin dejar de tomar en cuenta que el sistema es por estaciones como se muestra en la figura 2.1.

Para esto se necesitará hacer un diseño no sólo de una cámara sino también estructural debido a que el mismo tendrá que soportar el peso de las piezas a pintar.

Se tomará en cuenta que debe estar aterrizada para que el pintado electrostático funcione.

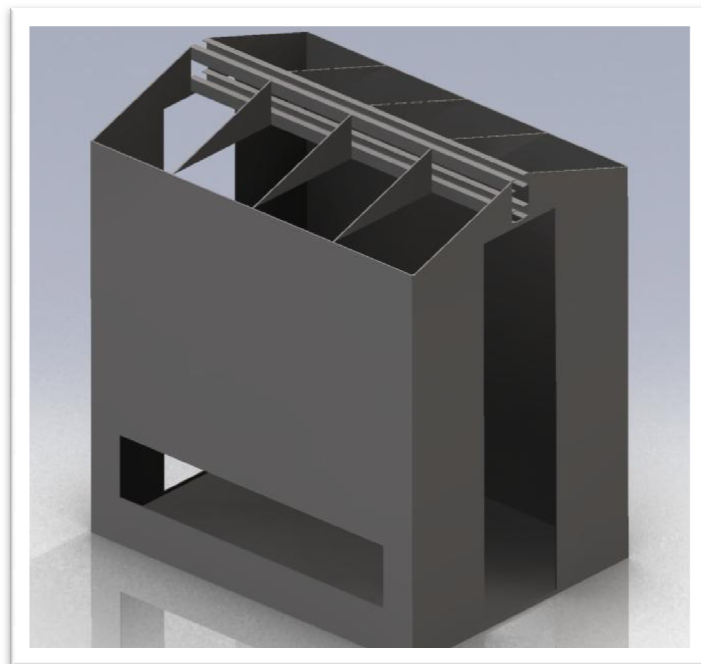


FIGURA 2.1 CÁMARA DE APLICACIÓN

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

2.2. Campana de Extracción

Se elige una campana debido a que la forma de esta da para una buena entrada al ciclón para empezar a hacer el sistema de filtrado del polvo. En las especificaciones de la campana de extracción se tiene una forma rectangular recta hasta su entrada al ciclón como se muestra en la figura 2.2.

Se tomará en cuenta el material debido a su fabricación y diseño sin dejar de lado el costo del mismo.

A la hora de diseñar se debe tomar en cuenta la forma para su entrada y captación debido a que puede existir un estancamiento, todo esto basado en el caudal.

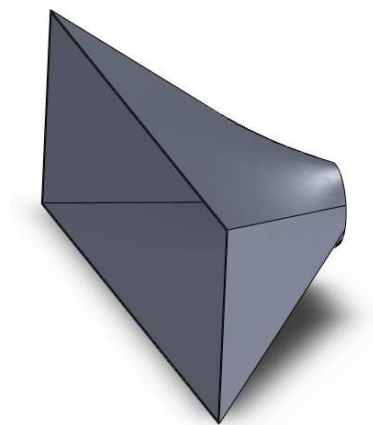


FIGURA 2.2 CAMPANA DE EXTRACCIÓN
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

2.3. Ciclón

Se requiere un ciclón debido a que se efectuará un filtrado del aire, sacando el polvo en suspensión. Este ciclón deberá estar diseñado para remover por lo menos un 80% del polvo o material particulado.

Se lo diseñará basado en catálogos o libros que fundamenten ésta necesidad. A la hora de analizar costo beneficio se tomará en consideración el tamaño y accesorios adicionales como el ventilador.

Se tiene de dos tipos de ciclones comunes que son el de alta eficiencia como en la figura 2.3 y el de alta capacidad los cuales se eligen dependiendo de las características del sistema.

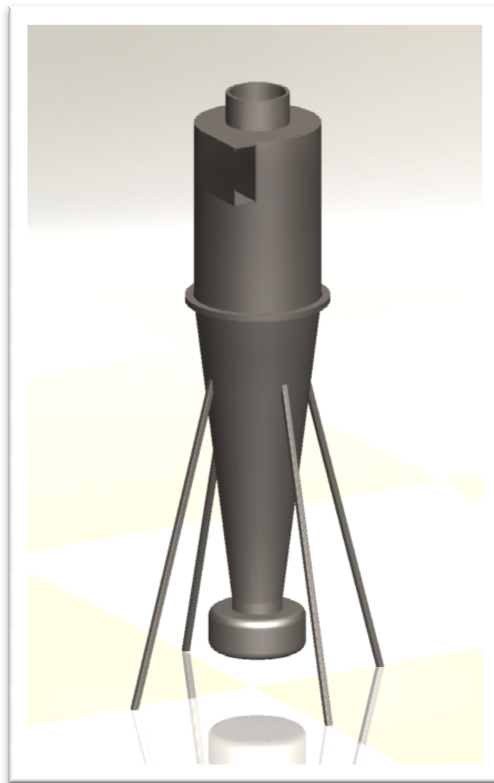


FIGURA 2.3 CICLÓN

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE CÁMARA DE PINTURA ELECTROSTÁTICA

3.1. Diseño de Cámara de Aplicación.

Se procederá a hacer un esquema de la estructura y diseñar por medio de los parámetros funcionales la cámara de aplicación.

Se mostrará los cálculos de diseño para certificar el diseño estructural.

3.1.1. Parámetros Geométricos

La cámara de extracción tendrá las dimensiones limitadas por un espacio físico de un cuadrado de 5 metros de largo y 5 metros de ancho debido a que la empresa para la cual se hará el diseño

dispone de este espacio real que a su vez queda cerca del horno de cocción.

En lo posible se debe tratar que sea de fácil acceso para limpieza o mantenimiento del mismo, de manera que siempre, cualquier parte del sistema tenga un espacio suficiente para manipulación del mismo. Se debe procurar en lo posible no tener mucha altura para no tener problemas de seguridad industrial.

3.1.2. Parámetros funcionales.

A la hora de diseñar se tiene que tomar en cuenta que es un sistema de "batch" o de estación el cual debe tener una apertura fija en la cámara, para la entrada del producto y una salida para el mismo. Muy aparte de estas salidas se debe tener una entrada para el operador y la máquina de aplicación, esta última no tiene la necesidad de que permanezca totalmente cerrada sino que puede ser un sistema con puerta.

Se debe tener espacio suficiente para que el operador pueda tener la comodidad de aplicar la pintura en el producto en su totalidad ya que esto es un proceso de calidad.

3.1.3. Diseño de Cámara de aplicación

Basándose en datos básicos se empieza el diseño de manera que lo primero que se tomará como un dato de entrada será el área de la cámara de aplicación.

- Longitud: 3 metros.
- Ancho: 2 metros.

$$\text{Área máxima de Cámara de aplicación} = 3m * 2m = 6m^2$$

Pero por motivos prácticos se basará en medidas de las planchas comerciales para el diseño.

$$\text{Área de Cámara de aplicación} = 2,44 m * 1,80 m = 4,392m^2$$

Se tendrá que tener una altura de 2,5 metros mínimos estándar.

Análisis de cargas

Por medio de un análisis de cargas basado en la mecánica de sólidos se podrá diseñar el soporte del producto y la estructura. En este proceso se analizará lo que sucederá en la estructura y se seleccionarán las vigas y perfiles.

Con los datos obtenidos se corroborarán los resultados con un software de diseño, el cual ayudará con una simulación de lo que sucedería en tiempo real.

La carga será tomada de la empresa, la cual indica, que la masa máxima que soportará la estructura es de 400 Kilogramos suspendida en el aire, la misma que estará ubicada en el medio de la cámara para la aplicación.

Diagrama de la viga soporte de producto

Se tiene como dato que la viga tiene que ser de tipo “H” debido a que por esta actuará como riel para el avance del producto y se analizará como en la figura 3.1.

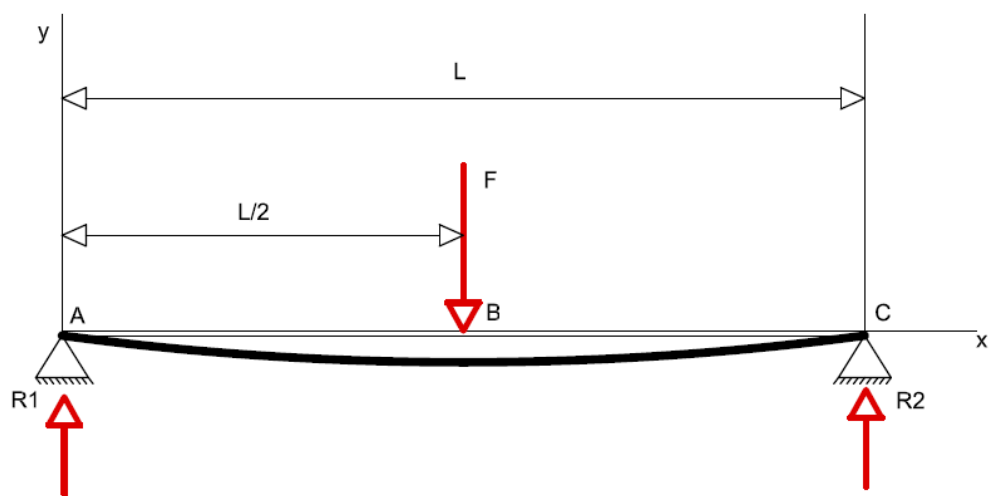


FIGURA 3.1 VIGA SIMPLEMENTE APOYADA
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Se procederá a hallar las reacciones;

$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2}$$

$$R_1 = \frac{m_p g}{2}$$

$$R_1 = \frac{(400 \text{ Kg})(9.8 \text{ m/s}^2)}{2}$$

$$R_1 = 1960 \text{ N}$$

$$R_2 = 1960 \text{ N}$$

Con estos datos se obtiene el diagrama de cortante;

$$V_{AB} = R_1$$

$$V_{AB} = 1960 \text{ N}$$

y

$$V_{BC} = -R_2$$

$$V_{BC} = -1960 \text{ N}$$

Entonces la figura 3.2 queda:

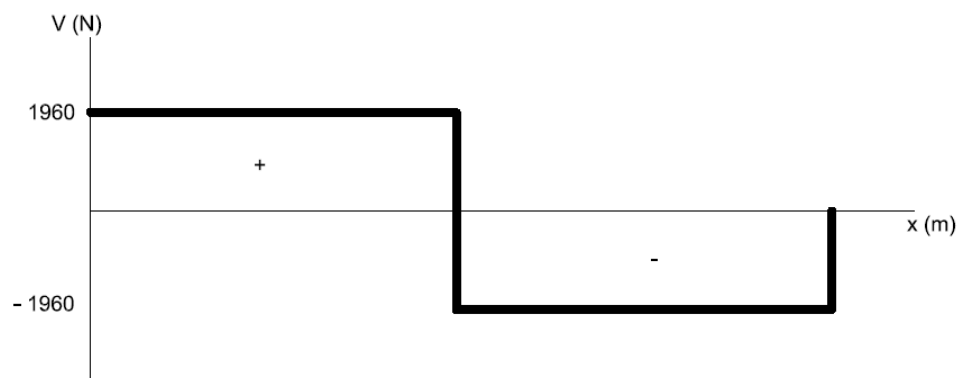


FIGURA 3.2 GRÁFICO CORTANTE VERSUS DISTANCIA
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

También se obtendrá la gráfica de Momento

$$M_{AB} = \frac{Fx}{2} \quad y \quad M_{BC} = \frac{F}{2}(l - x)$$

Donde se obtiene un momento máximo en la mitad, $x = l/2$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{F * \frac{l}{2}}{2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{Fl}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{(3920 \text{ N})(2.44 \text{ m})}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 2391.2 \text{ Nm}$$

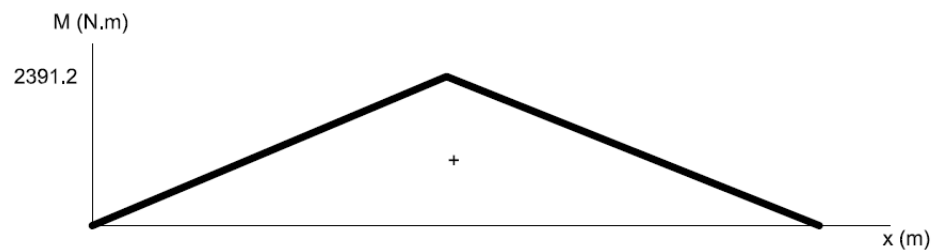


FIGURA 3.3 GRÁFICO MOMENTO VERSUS DISTANCIA
Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Para tener la deflexión máxima de viga se usará la siguiente ecuación:

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{F l^3}{48 E I_{viga}}$$

Donde

E : Es el módulo de Young

I_{viga} : Es la inercia de la viga

El signo negativo quiere decir que estará en contra del sistema de referencia.

Ahora lo que se realizará, es buscar una viga que esté cercana al requerimiento ya que en la misma debe servir de riel para un sistema. Por lo tanto se ha elegido una tipo *HEB* de acero A 36 de catálogo de vigas con sus propiedades (véase en Apéndice 1).

Donde

$$E = 2.2 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$I_{viga} = 450 \text{ cm}^4 = 4.50 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$y_{m\acute{a}x} = - \frac{(3920 \text{ N}) (2.44 \text{ m})^3}{48 (2.2 \times 10^{11} \text{ Pa})(4.50 \times 10^{-6} \text{ m}^4)}$$

$$y_{m\acute{a}x} = 0.0012 \text{ m}$$

$$y_{m\acute{a}x} = 1.20 \text{ mm}$$

Así con estos datos obtenidos se hallará el factor de seguridad

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde

S_y Es el esfuerzo de fluencia del material (ASTM A 36)

σ Es el esfuerzo máximo en la viga

Por tablas se obtiene que para la viga ASTM A36 sacado del Libro de Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley es:

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo se calcula con datos de la misma viga y la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{M_{\text{máx}} c}{I_{\text{viga}}}$$

Donde

c Es el punto más alejado desde el eje neutro

$$\sigma = \frac{(2391.2 \text{ Nm}) \left(\frac{0.100 \text{ m}}{2} \right)}{(4.5 \times 10^{-6} \text{ m}^4)}$$

$$\sigma = 53.14 \text{ MPa}$$

Por lo tanto se tiene un factor de seguridad de:

$$\eta = \frac{250 \text{ MPa}}{53.14 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 4.7$$

Ya se puede aprobar que resista la carga en la viga principal de soporte de producto, ahora se procederá a diseñar la viga que soportará esta viga.

Se partirá desde las reacciones debido a que estas se transmiten a la estructura, por lo tanto estas se convierten en las cargas y por ende como también es un apoyo simple, se utilizará el mismo procedimiento para diseñar, pero sólo se analizará una debido a simetría.

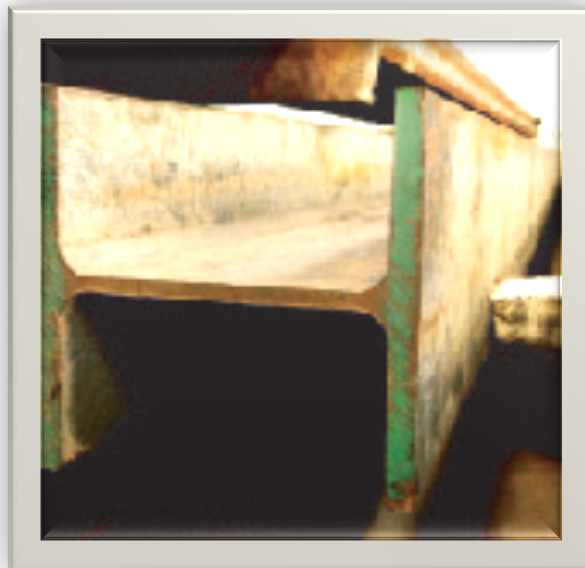


FIGURA 3.4 VIGA HEB
Tomado de: Catálogo Dipac, 2012
Diagrama de soporte estructural

En este caso se partirá sin especificaciones en particular, pero tomando en cuenta que debe ser de acero A36 por su facilidad comercial.

Se tiene una barra de l_2 de 1.80 m como en la siguiente figura 3.5.

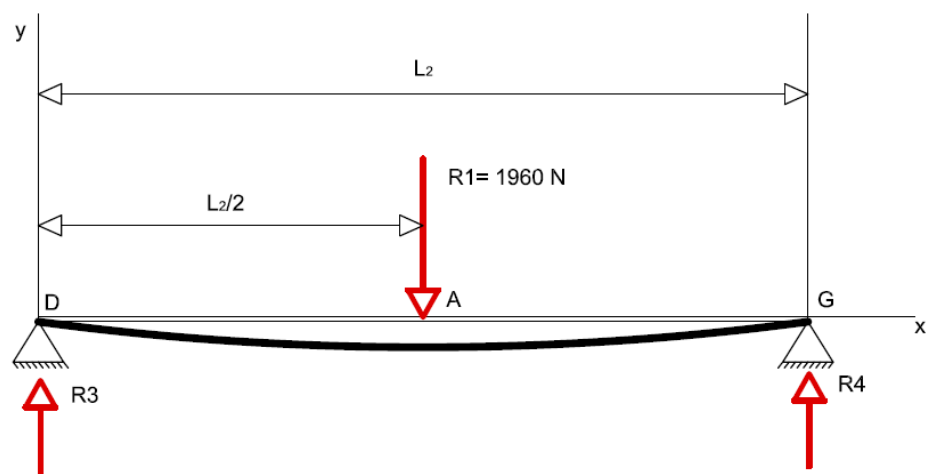


FIGURA 3.5 TUBO ESTRUCTURAL SIMPLEMENTE APOYADO

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Se procederá a hallar las reacciones;

$$R_3 = R_4 = \frac{R_1}{2}$$

$$R_1 = 1960 \text{ N}$$

$$R_3 = \frac{1960 \text{ N}}{2}$$

$$R_3 = 980 \text{ N}$$

$$R_4 = 980 \text{ N}$$

Con estos datos se puede obtener el diagrama de cortante;

$$V_{DA} = R_3$$

$$V_{DA} = 980 \text{ N}$$

y,

$$V_{AG} = -R_4$$

$$V_{AG} = -980 \text{ N}$$

Entonces la figura 3.6 queda:

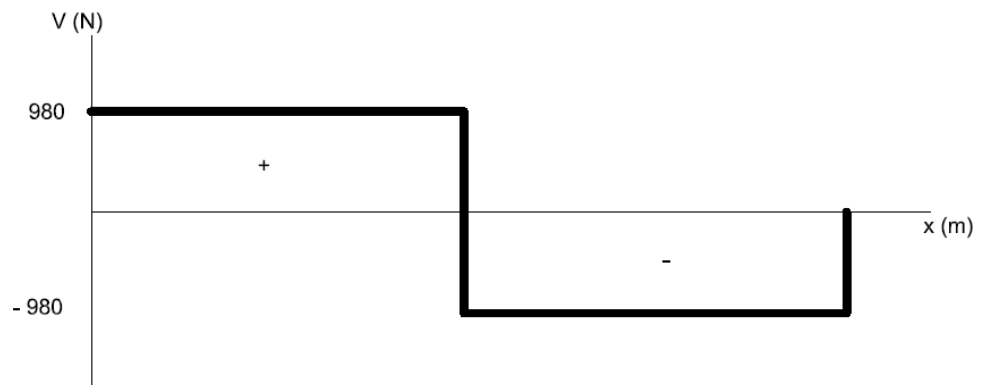


FIGURA 3.6 GRÁFICO CORTANTE VERSUS DISTANCIA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

También se obtendrá la gráfica de Momento

$$M_{AB} = \frac{R_1 x}{2} \quad y \quad M_{BC} = \frac{R_1}{2} (l_2 - x)$$

Donde se obtiene un momento máximo en la mitad, $x = l_2/2$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{R_1 * \frac{l_2}{2}}{2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{R_1 l_2}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{(1960 \text{ N})(1.80 \text{ m})}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 882 \text{ Nm}$$

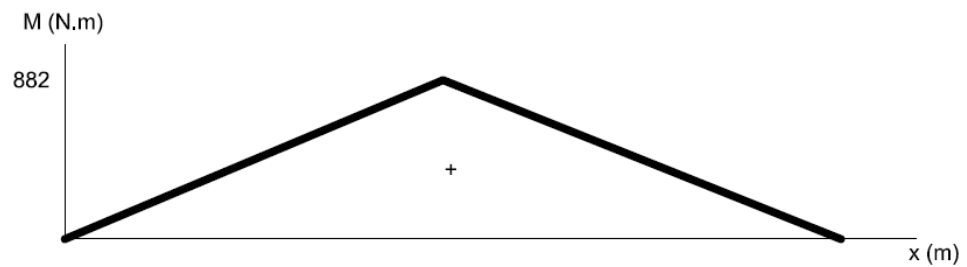


FIGURA 3.7 GRÁFICO MOMENTO VERSUS DISTANCIA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Para tener la deflexión máxima de barra se usará la siguiente ecuación:

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{R_1 l_2^3}{48 E I_{barra}}$$

Donde

E : Es el modulo de Young

I_{viga} : Es la inercia de la viga

Ahora se empezará a buscar una viga o barra que sea cercana al requerimiento. Por lo tanto se ha elegido un tubo cuadrado de acero ASTM A36 con un valor b de 60 mm y 2 mm de espesor (véase en Apéndice 2).

Donde

$$E = 2.2 \times 10^{11} Pa$$

$$I_{tubo} = 2.12 \times 10^{-7} m^4$$

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{(1960 N) (1.80 m)^3}{48 (2.2 \times 10^{11} Pa)(2.12 \times 10^{-7} m^4)}$$

$$y_{m\acute{a}x} = 0.004 m$$

$$y_{m\acute{a}x} = 4 mm$$

Así con estos datos obtenidos se hallará el factor de seguridad

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde

S_y : Es el esfuerzo de fluencia del material (ASTM A 36)

σ : Es el esfuerzo máximo en el tubo estructural.

Por tablas se obtiene que para la viga ASTM A36 tiene un esfuerzo de fluencia de:

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo se calcula con datos del miembro estructural y la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{M_{\text{máx-2C}}}{I_{\text{viga}}}$$

Donde

c Es el punto más alejado desde el eje neutro

$$\sigma = \frac{(882 \text{ Nm}) \left(\frac{0.03 \text{ m}}{2} \right)}{(2.126 \times 10^{-7} \text{ m}^4)}$$

$$\sigma = 62.23 \text{ MPa}$$

Por lo tanto se tiene un factor de seguridad de:

$$\eta = \frac{250 \text{ MPa}}{62.23 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 4.01$$

Sabiendo que la estructura con un tubo estructural aguanta la carga y peso de la misma entonces se realizará toda la estructura del mismo tubo estructural como se muestra en la figura 3.8.

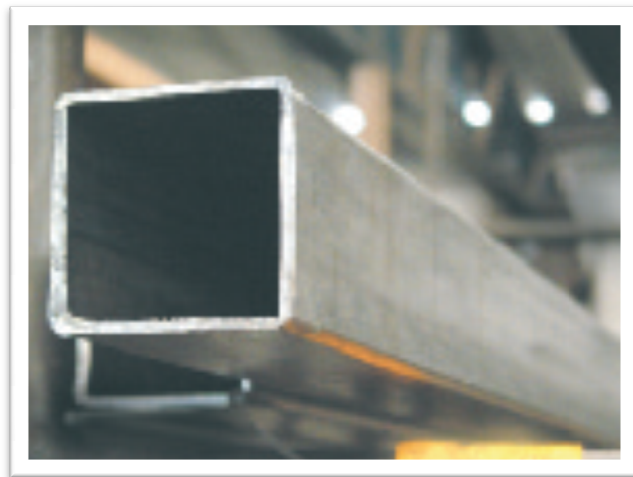


FIGURA 3.8 TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Tomado de: Catálogo Dipac, 2012

Para analizar el diseño y el estudio, se utilizará un software de diseño de piezas metálicas especializado en estructuras donde se

comprobará por medio de simulación los valores y será un bosquejo de cómo quedará como en la figura 3.9 (Ver apéndice 3 de estructura).

Entonces la estructura queda de la siguiente manera:

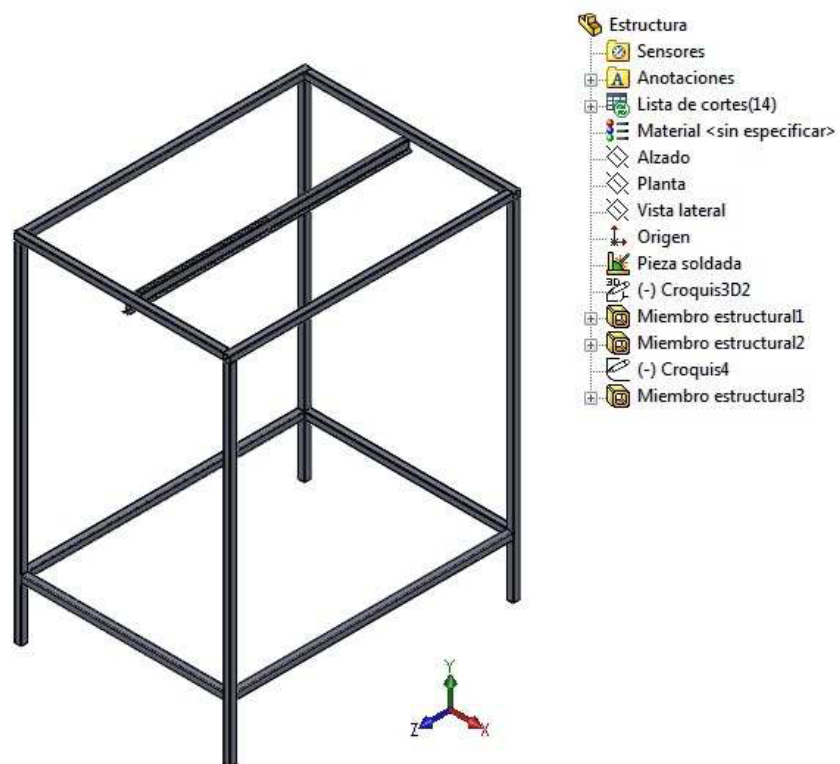


FIGURA 3.9 ESTRUCTURA BÁSICA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Selección del piso

Se procede a seleccionar un sistema de recolección en el piso para el polvo que no se logra recuperar por medio del sistema de extracción de ventilación.

Se selecciona una rejilla de acero en el piso de manera que el polvo caiga por las hendiduras y avance hasta una tolva, la cual direccionará el polvo hasta el centro y de ahí se recolectará por medio de un tacho que se podrá sacar para la reutilización del mismo.

De manera que por catálogo se seleccionará una rejilla

Espesor y ancho de la platina (mm)	Diámetros de Eje (mm)	Modelo	Dimensión	Peso Total de Rejilla (Kg)
2 x 30	6,0	30 x 30	1000 x 2000	46,80
3 x 30	6,0	30 x 60	1000 x 2000	55
3 x 30	6,0	30 x 100	1000 x 2000	50
4 x 30	6,0	30 x 60	1000 x 2000	65
4 x 30	6,0	30 x 100	1000 x 2000	62

FIGURA 3.10 ACERIMALLAS CATÁLOGO

Tomado de: Catálogo Acerimallas, 2011

Se seleccionó de la figura 3.10, por ergonomía para el operador y la máquina de aplicación una Rejilla electrosoldadas de 30mm por 100 mm que ocupe un área de todo el piso como se observa en la figura 3.11.

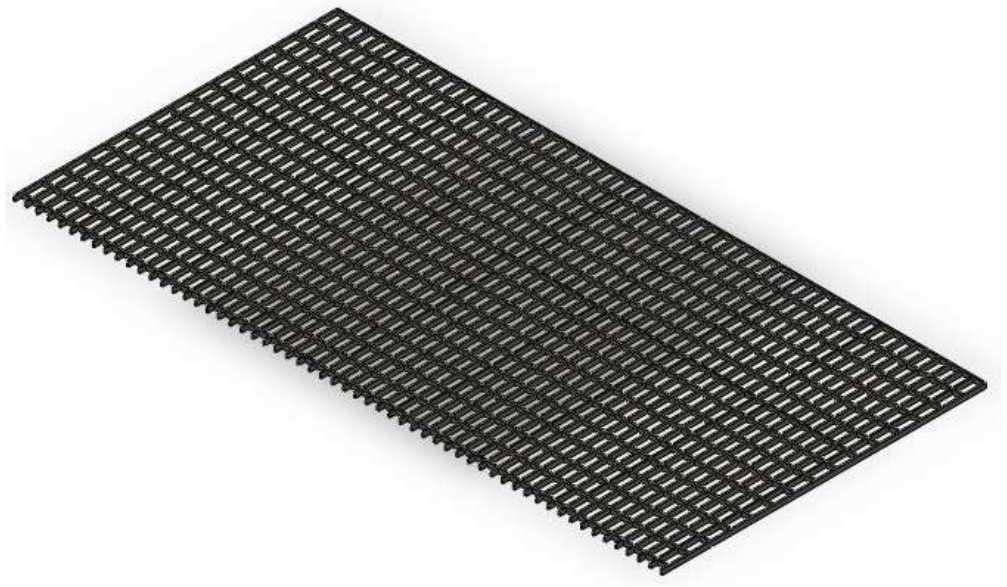


FIGURA 3.11 REJILLA METÁLICA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Diseño de tolva cónica de recolección.

La tolva se la diseñará de manera que el ángulo de reposo sea menor al ángulo de la tolva. El ángulo de reposo de cualquier material en grano o particulado es al ángulo formado entre la punta y la horizontal de la base como se muestra en la figura 3.12, cuando el material se estabiliza por sí mismo. Al acumular granel sólido sobre un plano, éste queda apilado en forma de cono.



FIGURA 3.12 ANGULO DE REPOSO

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

De manera experimental se encontró un rango de ángulos de reposo que serán de gran ayuda a la hora de diseñar la tolva. El rango se lo encontró de manera experimental haciendo uso de una cámara fotográfica y un envase donde poco a poco se disponía a echar el polvo en una superficie plana y paralela al piso. Tomando una serie de

fotos a la vez que se echaba el material particulado se pudo medir el ángulo en cada una y así sacar un promedio.



FIGURA 3.13 POLVO DE PINTURA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

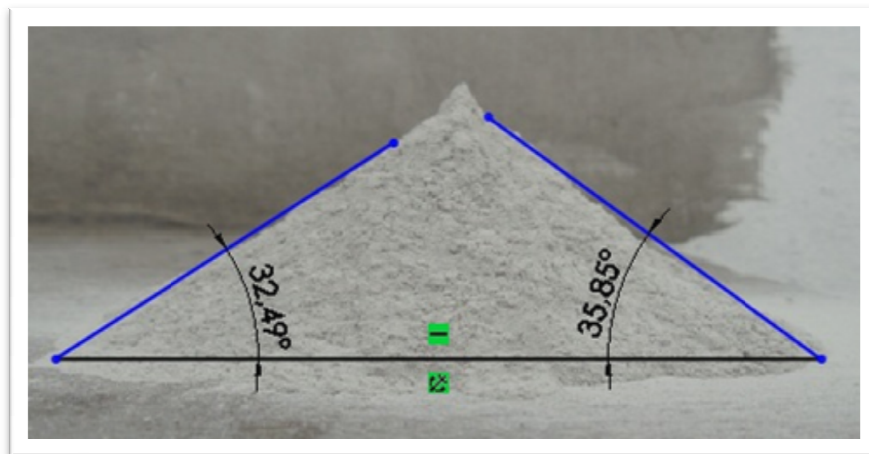


FIGURA 3.14 ÁNGULO DE REPOSO EXPERIMENTAL

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Rango de ángulo en reposo es:

$$\alpha_{\text{reposo}} = (30^\circ, 38^\circ)$$

Usando este rango se podrá diseñar que la tolva debe tener un ángulo cercano a 40° para que deslice fácilmente pero como se asumirá una superficie lisa y que las rejillas serán retiradas para limpieza rápida se lo diseñará con un ángulo de 25° .

Ahora lo que se tiene que decidir es la forma de la tolva y por facilidad de construcción se la hará de forma cuadrada.

Lo que da una tolva de la siguiente manera.

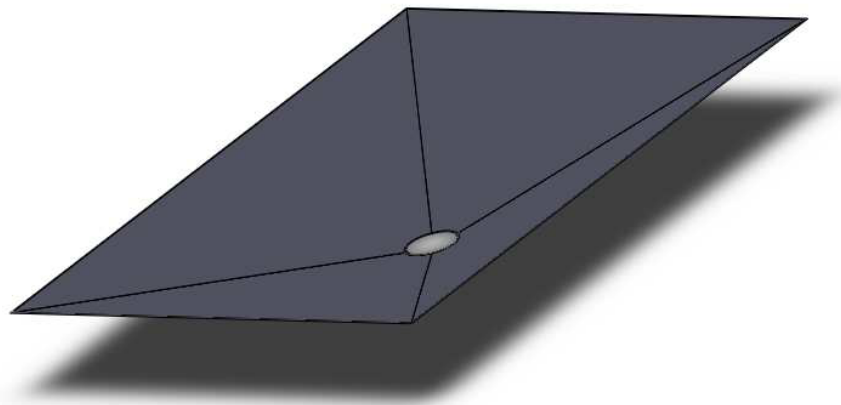


FIGURA 3.15 TOLVA DE PISO

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y RECUPERACIÓN DE POLVO DE PINTURA

Se procederá a diseñar un sistema que sea capaz de remover material particulado sobrante que queda en el ambiente mientras y después de la aplicación de la pintura en polvo, de manera que no sólo se pueda reutilizar sino también que no salga de la cámara de pintura, ya que esto afecta al aire exterior enrareciéndolo y el cual es respirado por personas que no van a tener la protección del operador de pintura dentro de la cámara y que como están en una empresa metalmecánica, estarán cerca.

Al sistema se le procederá a hacer un diagrama de flujo para saber de dónde empezar y dónde se quiere llegar. Se empezará por ubicar la campana de manera que sea lo más eficiente y genere bajos costos en general.

4.1. Diseño de la Campana de Extracción.

Para este diseño se usará datos bibliográficos del libro “Industrial Ventilation” de American Conference of Governmental Industrial Hygienists el cual da una buena pauta de cómo comenzar.

Se tiene como especificaciones que el foco de contaminante del aire está a aproximadamente un metro de distancia ‘x’ de la ubicación de la campana. Se elige preferentemente una campana de tipo de Apertura con brida o “Flanged Opening” basada en el apéndice 4, teniendo dos especificaciones: la primera es un condicional de factor de forma y la segunda una ecuación del caudal para su diseño.

Una de las recomendaciones del manual de ventilación dice que la campana que se usará debe estar en una posición lateral a la fuente de contaminación. Con esto se ayuda a una rápida extracción y que no afecte la visibilidad al momento de la aplicación.

Para el uso de la campana con apertura normal se tiene que cumplir lo siguiente:

$$\frac{W}{L} \geq 0.2$$

Donde $W=0.66$ m y $L=0.9$ m como se muestra en la figura 4.1, entonces:

$$\frac{W}{L} = \frac{0.66m}{0.9m} = 0.73$$

Como

$$0.73 \geq 0.2$$

Se puede utilizar la siguiente ecuación de diseño del caudal:

$$Q = 0.75V_i(10x^2 + S)$$

Donde S es el área de entrada de la campana la cual es de sección rectangular.

Se tiene:

$$L = 0.9 \text{ m}$$

$$W = 0.66 \text{ m}$$

$$S = L * W$$

$$S = (0.9m) * (0.66m)$$

$$S = 0.59m^2$$

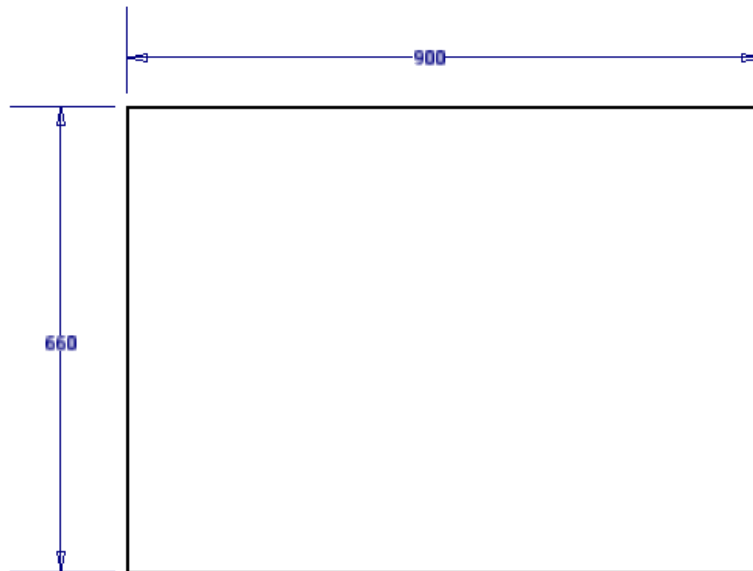


FIGURA 4.1 DIMENSIONAMIENTO DE CAMPANA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

La V_i es la velocidad de caída o la velocidad con la que cae la partícula. Esta velocidad se la encuentra usando una gráfica la cual se entra con la densidad de la partícula en gr/cm^3 y su tamaño de partícula en micras (μ) las cuales se tiene, basándose en las especificaciones del polvo de aplicación (véase en apéndice 5), los cuales son $1.5\ gr/cm^3$ y $40\ \mu m$.

Entonces una velocidad mayor de la velocidad de caída del polvo es:

$$V_i = 8\ cm/s = 0.08\ m/s$$

Con esto se puede usar la ecuación:

$$Q = 0.75V_i(10x^2 + S)$$

$$Q = (0.75) \left(0.08 \frac{m}{s} \right) [(10(0.9m)^2 + 0.59m^2)]$$

$$Q = 0.52 \frac{m^3}{s}$$

Pérdidas de Presión en la entrada de la Campana de extracción.

Para calcular las pérdidas de presión se debe entrar con valores de diseño estructural el cual según el libro de Ventilación industrial de ACGIH dice, que con el tipo de campana y su ángulo se puede definir básicamente la pérdida de presión de entrada de la campana.

Ángulo de diseño de aproximadamente 90°. Y con el apéndice 6 de pérdidas por entradas de campanas se entra con un ducto redondo y ángulo de 90° da:

$$F_h = 0.25$$

Y se tiene entonces que

$$h_0 = F_h * VP$$

Se obtiene VP con $V_{ducto} = 24 \text{ m/s}$ aproximadamente

$$VP = \left(\frac{V_{ducto}}{4005} \right)^2 \quad ; \text{ donde } V_{ducto} \text{ esté en } \frac{ft}{min} ;$$

Por lo tanto,

$$VP = \left(\frac{V_{ducto}}{4005} \right)^2 = \left(\frac{4724}{4005} \right)^2 = 1.391 \text{ inches water}$$

Y validando este valor con la figura 6 -16 del libro de Ventilación industrial de American Conference of Governmental Industrial Hygienists que da un valor de 1.28 in de agua directamente. Convirtiendo unidades;

$$VP = 1.391 \text{ in}_{agua} * \frac{10 \text{ mm}_{agua}}{0.39 \text{ in}_{agua}} = 35.67 \text{ mm}_{agua}$$

$$VP = 35.67 \text{ mm}_{agua}$$

O también usando figura MS-3 (Apéndice 7) del mismo libro con;

$$V_{Ducto} = 24 \text{ m/s}$$

y fórmula,

$$V_{Ducto} = 4.043\sqrt{VP}$$

Resulta,

$$VP = 35 \text{ mm}_{agua}$$

Entonces,

$$h_0 = F_h * VP$$

$$h_0 = 0.25 * 35 \text{ mm}_{agua}$$

$$h_0 = 8.75 \text{ mm}_{agua}$$

4.2. Diseño del ducto.

El diseño del ducto va ligado al diseño anterior debido a que dado el caudal de entrada de la mezcla aire-polvo, se puede diseñar el diámetro del ducto o bien las dimensiones.

Los ductos normalmente se diseñan de sección circular o de sección cuadrada. Lo que estriba en su elección o decisión son: las pérdidas de presión, fabricación. Así debido a las pérdidas se diseñará un ducto de sección circular.

Para lo cual se tiene que:

$$Q = VA$$

Donde Q es el caudal que pasará por dentro del ducto; V la velocidad del fluido y A el área transversal del ducto.

Se tiene que analizar que, un factor importante que se debe considerar, es la velocidad del fluido, ya que dependiendo de esta velocidad, puede que el material particulado no fluya con el aire. Los polvos industriales tienen una velocidad mínima de sustentación en el aire y estos valores ayudarán a la hora de diseñar.

Velocidades de sustentabilidad de polvos de 40 μm es de 17 m/s a 27 m/s basado en el artículo del Ingeniero Echeverri.

Donde queda un área de:

$$A_{Ducto} = \frac{Q}{V_{Sustentación}}$$

$$A_{Ducto} = \frac{0.52 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{26 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A_{Ducto} = 0.02 \text{ m}^2$$

Donde, como es un ducto circular el área está definida por:

$$A_{Ducto} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Despejando D del Ducto;

$$D_{Ducto} = \sqrt{\frac{4 * A_{Ducto}}{\pi}}$$

$$D_{Ducto} = 0,159 \text{ m}$$

Las tuberías de uso comercial son de 160 mm para ventilación.

$$V_{Ducto} = \frac{Q}{A}$$

$$V_{Ducto} = \frac{0.52 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi * (0.16 m)^2}{4}}$$

$$V_{Ducto} = 25.87 m/s$$

Pérdidas de Presión en Ductos

Se utilizará el libro de Ventilación industrial de ACGIH para analizar las pérdidas y para calcularlas se necesitará el diámetro de la tubería o ducto y las distancias de los tramos de tubería.

Haciendo uso de la tabla de pérdidas por ductos se hallan las pérdidas con 1,5 metros de tubería circular. Usando la figura MS 4 del libro de Ventilación industrial de American Governmental Conference of Industrial Hygienist en el apéndice 8, se entra con la velocidad del ducto y el diámetro del mismo.

$$k = 5 \text{ mm } H_2O / m$$

Por lo tanto;

$$h_d = kL$$

$$h_d = \left(5 \text{ mm } H_2O / m \right) (1,5 \text{ m})$$

$$h_d = 7.5 \text{ mm } H_2O$$

Pérdidas por accesorios

Se tiene 2 codos de 90° cada uno de 160 mm de diámetro y uno de 250 mm los cuales se asumen lisos.

Al igual que la pérdida en la campana extractora, el factor de pérdida en los codos de 90° se encuentra en función de la presión dinámica (VP). Por tal motivo se escoge aquel factor donde el radio de curvatura del ducto sea 1.25 veces el diámetro del ducto para los dos casos ya que la relación es muy cercana entre los diferentes codos Véase apéndice 9.

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

$$h_{\text{codo}-90^{\circ}} = 0.55 (35 \text{ mm H}_2\text{O})$$

$$h_{\text{codo}-90^{\circ}} = 19.25 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Y como son 3 codos entonces

$$\Delta P_{\text{Accesorios}} = 3 * h_{\text{codo}-90^{\circ}}$$

$$\Delta P_{\text{Accesorios}} = 3 * (19.25 \text{ mm H}_2\text{O})$$

$$\Delta P_{\text{Accesorios}} = 57.75 \text{ mm H}_2\text{O}$$

4.3. Diseño del ciclón.

Para el diseño del ciclón se ha tomado como referencias el libro de Air Pollution Control de C.David Cooper y F.C. Alley; Diseño Óptimo de ciclones de Echeverri como se muestra en la figura 4.2. También se basa en la toma de datos de laboratorio donde da el tamaño de partícula y su distribución.

Las densidades y demás propiedades del polvo o material particulado de la carta del fabricante. Y demás datos de libros de diseño de ventilación industrial.

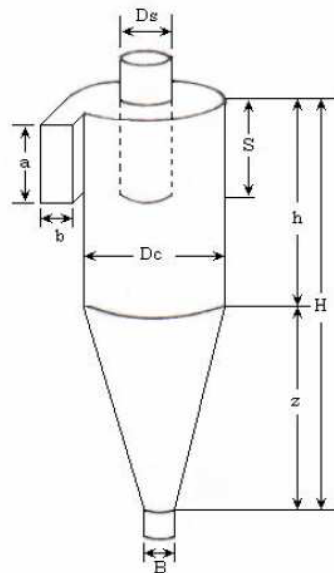


FIGURA 4.2 DIMENSIONAMIENTO DEL CICLÓN

Elaborado por: Echeverri, 2006

Una de las cosas principales para el diseño de un ciclón es denotar los datos iniciales y sus limitantes según las bibliografías como se muestra en la tabla 4.1:

Datos generales		
Caudal	0.52	m ³ /s
Viscosidad	0,067	kg/m-hr
Densidad de partícula*	1500	kg/m ³
Presión de Operación	1	atm
Temperatura	25	°C
Velocidad fluido*	17	m/s

*Sacado de Anexo de polvo de pintura electrostática

** Velocidad recomendada, Ver anexo

TABLA 4.1 DATOS GENERALES DE DISEÑO DE CICLON

Elaborada por: Christian Paredes, 2012

Como lo que se quiere es capturar la máxima cantidad de partículas al pasar por el ciclón, se diseñará, basado en uno del tipo de alta eficiencia del tipo específico de Stairmand como se detalla en la tabla 4.2, aunque se detallará una tabla de ciclones de alta eficiencia de diferentes autores fijándose que no varían mucho las dimensiones aunque éstas estén relacionadas. Y no se puede con uno de alta eficiencia debido a que las dimensiones afectan la velocidad de entrada la cual queda muy baja para su uso.

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.65	585.71
Número cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Número de vórtices	N	5.5	6.0	5.5

TABLA 4.2 TIPOS DE CICLONES

Elaborada por: Echeverri, 2006

Se detallan la distribución de tamaño de partícula y su porcentaje másico que da la muestra de laboratorio apéndice 10 y en la tabla 4.3:

Clases	μm	% Masa
1	0 a 5	1,26
2	5 a 10	5,60
3	10 a 15	6,73
4	15 a 20	11,20
5	20 a 25	5,07
6	25 a 30	5,81
7	30 a 35	6,51
8	35 a 40	7,10
9	40 a 45	7,48
10	45 a 60	14,94
11	60 a 80	12,70
12	80 a 100	8,55
13	100 a 120	2,57
14	120 en adelante	4,29

TABLA 4.3 DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

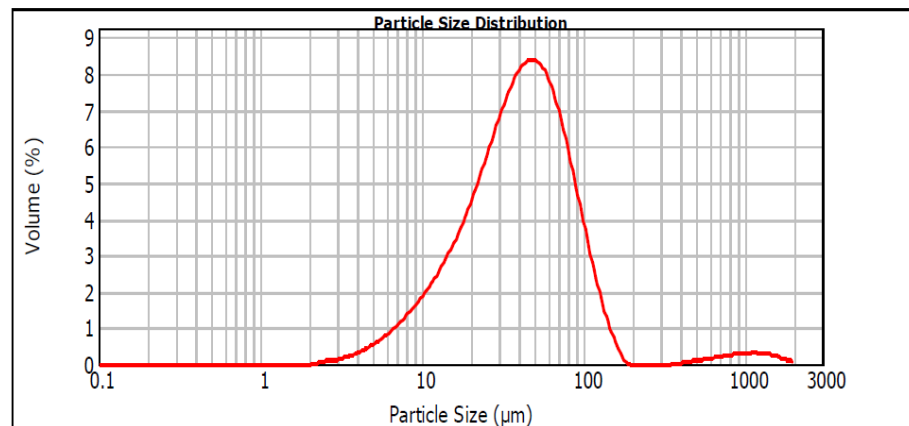


FIGURA 4.3 DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

Elaborado por: LEMAT, 2012

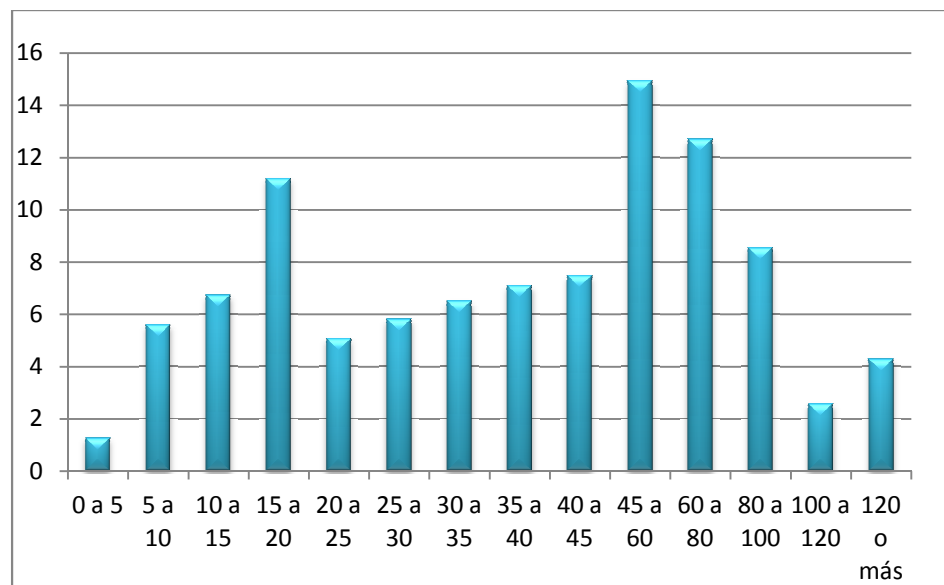


FIGURA 4.4 DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULA POR CLASES

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Según la información del paper de Echeverri da algunos datos importantes de diseño:

Parámetro	Valor
Diámetro del ciclón (D_c)	< 1.0 m
Caída de presión (ΔP)	< 2,488.16 Pa
Relación de velocidades (V_i/V_s)	< 1.35
Velocidad de entrada (V_i)	15.2 – 27.4 m/s

FIGURA 4.5 PARÁMETROS DE DISEÑO DE CICLONES

Elaborado por: Echeverri, 2006

Por lo cual como se tiene una velocidad de entrada de 17 m/s se procede a calcular las dimensiones del ciclón.

Teniendo caudal y velocidad de entrada se procederá a calcular el diámetro del ciclón debido a que todas las medidas del mismo están en función del diámetro:

Área del ducto de entrada

$$A_{Entrada} = \frac{Q}{V_i}$$

$$A_{Entrada} = \frac{0,52 \frac{m^3}{s}}{17 \frac{m}{s}}$$

$$A_{Entrada} = 0.03 \text{ m}^2$$

Y se tiene que el área del ducto de entrada al ciclón es:

$$A_{Entrada} = a * b$$

Donde

$$a = 0.5 Dc$$

$$b = 0.2 Dc$$

Entonces

$$A_{Entrada} = (0.5 Dc) * (0.2 Dc)$$

$$A_{Entrada} = (0.1) * (Dc)^2$$

Se despeja el diámetro del área de entrada al ciclón y se tiene:

$$Dc = \sqrt{\frac{A_{Entrada}}{0.1}}$$

$$Dc = 0.55 \text{ m}$$

Con este valor y usando la tabla 4.2 se obtendrá los valores de las dimensiones del ciclón.

Altura de entrada al ciclón (a):

$$a = 0.5 D_c$$

$$a = 0.5 * 0.55 = 0.28 \text{ m}$$

Ancho de entrada al ciclón (b):

$$b = 0.2 D_c$$

$$b = 0.2 * 0.55 = 0.11 \text{ m}$$

Altura de salida del ciclón (S):

$$S = 0.5 D_c$$

$$S = 0.5 * 0.55 = 0.28 \text{ m}$$

Diámetro de salida del ciclón (Ds):

$$D_s = 0.5 D_c$$

$$D_s = 0.5 * 0.55 = 0.28 \text{ m}$$

Altura parte cilíndrica del ciclón (h):

$$h = 1.5 D_c$$

$$h = 1.5 * 0.55 = 0.82 \text{ m}$$

Altura parte cónica del ciclón (z):

$$z = 2.5 D_c$$

$$z = 2.5 * 0.55 = 1.38 \text{ m}$$

Altura total del ciclón (H):

$$H = 4.0 D_c$$

$$H = 4.0 * 0.55 = 2.21 \text{ m}$$

Diámetro salida del polvo (B):

$$B = 0.375 D_c$$

$$B = 0.375 * 0.55 = 0.21 \text{ m}$$

Dimensión	Nomenclatura	Relación	Medidas (metros)
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1,00	0,55
Altura de entrada	a/Dc	0,50	0,28
Ancho de entrada	b/Dc	0,20	0,11
Altura de salida	S/Dc	0,50	0,28
Diámetro de salida	Ds/Dc	0,50	0,28
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1,50	0,83
Altura parte cónica	z/Dc	2,50	1,38
Altura total del ciclón	H/Dc	4,00	2,21
Diámetro salida partículas	B/Dc	0,38	0,21

TABLA 4.4 DIMENSIONES DE CICLÓN

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Como el diámetro menor a un metro ($D_c < 1\text{m}$) entonces no será necesario más de un solo ciclón.

Cálculo de la Eficiencia del Ciclón

Para el cálculo de la eficiencia del ciclón se fundamentará en la guía de diseño del libro Air Polución Control, el cual con los datos geométricos del ciclón, físicos y de laboratorio del fluido y el material particulado, da una guía de cálculo.

Primero se tiene que calcular mediante la ecuación 4.6 de Lapple.

$$d_{pc} = \left[\frac{9\mu b}{2\pi N_e V_i (\rho_p - \rho)} \right]^{1/2}$$

N_e : Número de revoluciones que el fluido da en el vórtice exterior.

V_i : Velocidad de entrada al ciclón.

ρ_p : Densidad de la partícula.

ρ : Densidad del fluido transporte.

μ : Viscosidad del fluido transporte

$$N_e = \frac{1}{a} \left[h + \frac{z}{2} \right]$$

$$N_e = \frac{1}{0.28 \text{ m}} \left[0.83 \text{ m} + \frac{1.38 \text{ m}}{2} \right]$$

$$N_e = 5.5 \text{ vueltas}$$

Entonces d_{pc} será:

$$d_{pc} = \left[\frac{9 * \left(0.0648 \frac{\text{Kg}}{\text{m} - \text{hr}} \right) * (0.11 \text{ m})}{2\pi(5.5) \left(17.00 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \right) (1500 - 1,2) \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} \right]^{1/2}$$

$$d_{pc} = 4.47 \mu\text{m}$$

Ahora se tiene que para el primer intervalo de tamaño de partícula es de 0 a 5 μm .

$$\eta_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{pc}}{d_{pj}} \right)^2}$$

Entonces para hallar la eficiencia en el primer intervalo queda:

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{4.47}{2.50} \right)^2}$$

$$\eta_1 = 0.238$$

Y este mismo multiplicado por su porcentaje de masa queda el porcentaje recolectado en ese intervalo ya que se tiene que cumplir que:

$$\eta_0 = \sum \eta_j m_j$$

$$\eta_{0,1} = 0.23 * 1.26 = 0.30$$

Por lo tanto para el primer intervalo queda:

μm	$\overline{dp_1} (\mu m)$	$\overline{dp_1}/d_{pc}$	η_j	%Masa	Porcentaje colectado
0 a 5	2,50	0,56	0,23	1,26	0,30

TABLA 4.5 EFICIENCIA PARA UN INTERVALO DE TAMAÑO DE PARTÍCULA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Y para toda la muestra:

μm	$\overline{dp_1}$ (μm)	$\overline{dp_1}/d_{pc}$	η_j	%Masa	Porcentaje colectado
0 a 5	2.50	0.65	0.238	1.26	0.30
5 a 10	7.50	1.68	0.738	5.60	4.13
10 a 15	12.50	2.80	0.887	6.73	5.97
15 a 20	17.50	3.92	0.939	11.20	10.51
20 a 25	22.50	5.04	0.962	5.07	4.48
25 a 30	27.50	6.16	0.974	5.81	5.66
30 a 35	32.50	7.28	0.981	6.51	6.39
35 a 40	37.50	8.39	0.986	7.10	7.00
40 a 45	42.50	9.51	0.989	7.48	7.40
45 a 60	52.50	11.75	0.993	14.94	14.83
60 a 80	70.00	15.67	0.996	12.70	12.65
80 a 100	90.00	20.15	0.998	8.55	8.53
100 a 120	110.00	24.62	0.998	2.57	2.57
120 en adelante	130.00	29.10	0.999	4.29	4.28

TABLA 4.6 EFICIENCIA PARCIALES POR TAMAÑO DE PARTÍCULA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

La eficiencia resulta de la suma de eficiencias parciales

$$\eta_0 = 94.80 \%$$

Para demostrar los cálculos obtenidos se tiene una simulación en el software ANSYS CFX, véase apéndice 11, 12, 13, 14.

Pérdidas de presión por Ciclón

Las pérdidas de presión ocasionadas por el ciclón se hallarán mediante la ecuación desarrollada por Shepherd y Lapple.

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho V_i^2 H_v$$

Donde H_v es el número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón que se halla mediante la ecuación:

$$H_v = K \frac{ab}{Dc^2}$$

Los autores de libros indican que el valor de K puede variar de 12 a 18 pero recomiendan usar un valor estándar de 16 para diseño.

$$H_v = 16 \frac{(0.28)(0.11)}{0.55^2}$$

$$H_v = 1.63$$

La pérdida de presión por el ciclón será:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \left(1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(289 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right) (1.63)$$

$$\Delta P = 282.64 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 28.8 \text{ mm}_{\text{agua}}$$

Según el dato bibliográfico $\Delta P < 2,488.16 \text{ Pa}$ es considerado un valor aceptable, por lo tanto está en un rango considerable.

4.4. Selección del Ventilador

Para la selección del ventilador se tienen los siguientes valores de pérdidas básicas de presión:

$$\Delta P_{\text{total}} = TP + \Delta P_{\text{campana}} + \Delta P_{\text{ducto}} + \Delta P_{\text{Ciclón}} + \Delta P_{\text{Accesorios}}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 35.67 + 8.75 + 7.5 + 28.8 + 57.75$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 138.47 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Y con un caudal de

$$Q_t = 0.52 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Se selecciona del catálogo de ventiladores Soler&Palau un ventilador CM-280 con las siguientes especificaciones mostradas en la figura 4.6 y en apéndice 15:

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Diámetro de la turbina: 288 mm. (11 5/16 inch).
Diámetro del eje: Clase I 19.05mm. (3/4 inch).
Área de salida: 0.072 m² (0.775ft²).
BHP máximos Clase I 2.14.
Armazón máximo de motor: Clase I 182 T
RPM máximas: Clase I 3450.
Peso del equipo: 32 Kg 70 Lbs.

FIGURA 4.6 CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO

Elaborado por: Catálogo de Soler&Palau, 2008



FIGURA 4.7 VENTILADOR CENTRÍFUGO

Elaborado por: Catálogo de Soler&Palau, 2008

Diseño de estructuras soportes.

Como se obtuvo un resultado aceptable comparando el resultado teórico con el simulado en el capítulo anterior, se procede a obviar el análisis teórico para analizar directamente por medio de software.

Se procederá a diseñar una estructura soporte para el ciclón y el ventilador, las cuales se tratará de hacer de un mismo material y forma. Se tendrá en cuenta factores importantes como son el peso y la forma de los mismo, los cuales se encontraron mediante software de diseño utilizado no solo para su dibujo sino también para hallar propiedades de la estructura y su simulación estática. Las propiedades de la estructura que se mostrarán a continuación, son características basadas en materiales y formas geométricas.

La simulación será una ayuda muy válida para elegir de manera óptima el material a utilizar con una buena resistencia y factor de seguridad aceptable.

Diseño de estructura del Ciclón

Para el ciclón se tiene un peso estimado de 85 Kg y una altura aproximada desde el piso de 1700 mm y una arista de 550 mm debido al diámetro del ciclón. Se utilizará para la estructura ángulos de 30mm por 30mm y 3mm de espesor los cuales irán soldados al ciclón para su sujeción (véase apéndice 16).

Y la estructura quedará de la siguiente manera en figura 4.8.

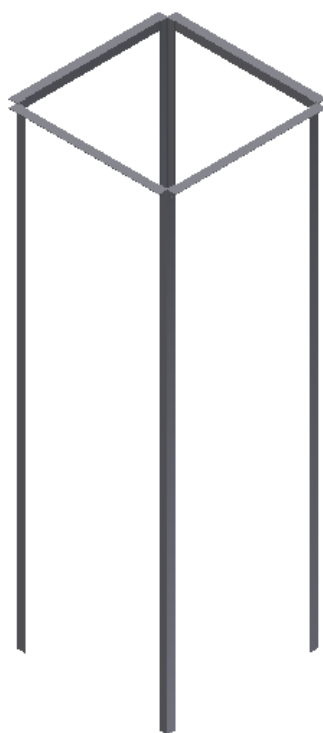


FIGURA 4.8 SOPORTE PARA CICLÓN

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Así mismo, se procede a diseñar con software, la estructura que resistirá el peso del ventilador con un peso de 25Kg pero que tiene que tener una altura de 2700mm aproximadamente con una arista de 800mm se utilizarán las mismas dimensiones de los estructurales y una plancha de 2mm de acero A36 (Véase apéndice 16 y 17).

La estructura queda de la siguiente manera en la figura 4.9:

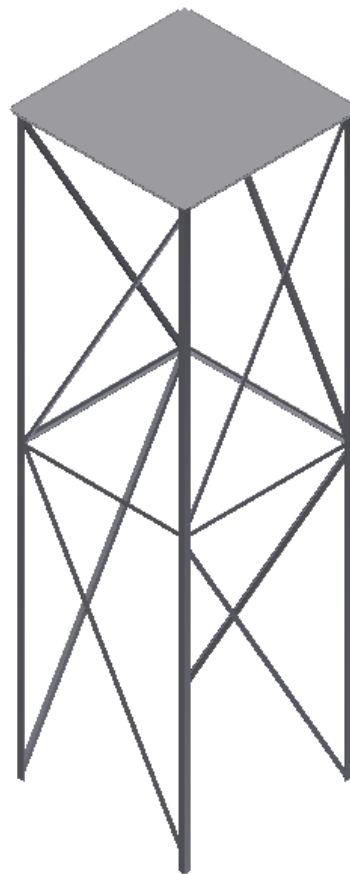


FIGURA 4.9 SOPORTE PARA VENTILADOR

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

CAPÍTULO 5

5. Costos

El análisis de los costos viene basado en todos los componentes de la cámara y del sistema de extracción de polvos por lo cual se procederá a un desglose de las partes.

Ciclón y estructura de soporte

Cant.	Item	Medidas	Peso Unitario [kg]	Peso Total	Precio Unitario	Subtotal
2	Plancha acero A36 2 mm	1220mmX 2440mm	46.74	93.48	49.07	98.14
2	Angulo estructural	L 30x30x3x6 000	8.13	16.26	9.50	19.00
	Mano de Obra y Montaje			109.74	0.80	87.79
Total Ciclón						204.93

TABLA 5.1 COSTOS DE CICLÓN Y ESTRUCTURA DE SOPORTE

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Costo Estructura de la Cámara						
Cant.	Item	Medidas	Peso Unitario [kg]	Peso Total	Precio Unitario	Subtotal
1	Viga HEB 100	100x6000	122.40	122.40	183.60	183.60
6	Tubo estructural	60x60x2x 6000	22.08	132.48	29.80	178.80
9	Plancha acero A36 2 mm	1220mmX 2440mm	46.74	420.66	49.07	441.63
2	Rejillas	1X2 M DE 30X100 MM	50.00	100.00	160.00	320.00
	Mano de Obra y Montaje			714.34	0.80	571.47
Total estructura						1695.50

TABLA 5.2 COSTO ESTRUCTURA DE LA CÁMARA

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Costo Campana de Extracción						
Cant	Item	Medidas	Peso Unitario [kg]	Peso Total	Precio Unitario	Subtotal
1	Plancha acero A36 2 mm	1220mmX 2440mm	46.74	46.74	49.07	49.07
	Mano de Obra y Montaje			28.71	0.80	22.97
Total Campana de Extracción						72.04

TABLA 5.3 COSTO CAMPANA DE EXTRACCIÓN

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Costo Ventilador, soporte y accesorios

Cant.	Item	Medidas	Peso Unitario [kg]	Peso Total	Precio Unitario	Subtotal
2	Codo	160mm 90°	1.80	3.60	25.00	50.00
1	Tubería Ventilación	160 mm x 2mmx1000	7.80	7.80	15.00	15.00
1	Conducto Cambio de sección	Ø160-270x 110mm	3.47	3.47	15.00	15.00
1	Ducto circular Manufacturado	Ø270mm	10.20	10.20	25.00	25.00
1	Ventilador	CM 250	32.00	32.00	1141.49	1141.49
1	Plancha acero A36 2 mm	1220mmX 2440mm	46.74	46.74	49.07	49.07
8	Ángulos	L 30x30x3x 6000	8.13	65.04	9.50	76.00
	Mano de Obra y Montaje			133.80	0.80	107.04
Total Accesorios y Tuberías						1478.60

TABLA 5.4 COSTO VENTILADOR, SOPORTE Y ACCESORIOS

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

A continuación se realizará un presupuesto de construcción general de la obra en la tabla 5.5.

**Presupuesto Construcción de Una Cámara de Pintura Electroestática
con recuperación de polvo**

MATERIALES			
Cantidad	Item	Precio	Subtotal
13	Plancha acero A36 2 mm	49.07	637.91
10	Ángulo	9.50	95.00
1	Viga HEB 100 (3m)	183.60	183.60
6	Tubo estructural	29.80	178.80
2	Rejillas	160.00	320.00
2	Codo	25.00	50.00
1	Tubería Ventilación	15.00	15.00
1	Conducto Cambio de sección	15.00	15.00
1	Ducto circular Manufacturado	25.00	25.00
1	Ventilador	1141.49	1141.49
Costo Materiales			\$ 2661.80
Costo Mano de Obra y Montaje			\$ 789.27
Subtotal			\$ 3451.07
IVA			\$ 414.13
Total			\$ 3865.20

TABLA 5.5 PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN

Elaborado por: Christian Paredes, 2012

Peso total estructura es aproximadamente de 990 Kg y se detallará también la ficha técnica realizada por software Apéndice 18.

CAPÍTULO 6

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Con este sistema diseñado se logra dar solución al problema de contaminación del aire ambiente en el lugar donde se realiza el trabajo de aplicación de pintura.
- Se estudio el problema basándonos en las características del polvo y el proceso y así estructurar un sistema de extracción de aire; ergonómico, sencillo y de bajo costo a invertir comparado con otros métodos de limpieza de aire y recolección de partículas.
- La utilización de los softwares AutoDesk Inventor® y SolidWorks® han permitido corroborar los datos teóricos obtenidos en el diseño estructural con lo cual puedo certificar los resultados.

- La utilización del software ANSYS® ha permitido también verificar el comportamiento del aire y de las partículas en suspensión en la cámara y en el ciclón.
- Se tiene una eficiencia en el sistema de extracción de aire con polvo de 94.8% que valida un beneficio en ahorro, seguridad industrial, contaminación ambiental.

6.2. Recomendaciones

- Usar este método simple para extracción de aire con material particulado de similares características para evitar contaminación ambiental a zonas cercanas así como también prevenir posibles sanciones gubernamentales.
- Implementar el método en empresas donde se haga trabajos de pintura electrostática como las metalmecánicas.
- Se recomienda evitar en lo posible movimiento de aire desde fuera hacia dentro de la cámara de aplicación en dirección de las aperturas al ambiente.
- Estar al tanto de la seguridad industrial de los operadores así como también el proceso de encendido del sistema de extracción y aplicación de pintura.

- Revisar las condiciones de mantenimiento del ventilador y accesorios como tuberías y codos.
- Tomar muestras de polvo con respecto a la humedad en ciertas épocas del año ya que estas pueden afectar el proceso.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

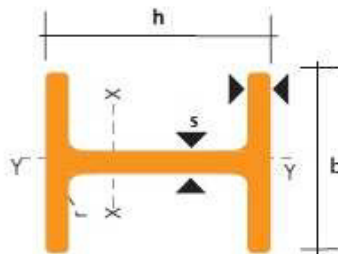
PERFILES LAMINADOS HEB

Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A 36
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00m y 12,00m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES					SECCION PESOS		TIPOS			
	h	b	s	t	r			Ix	Iy	Wx	Wy
	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	Kg/mt	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³
HEB 100	100	100	6.00	10.00	12	26.00	20.40	450	167	89	33.50
HEB 120	120	120	6.50	11.00	12	34.00	26.70	864	318	144	52.90
HEB 140	140	140	7.00	12.00	12	43.00	33.70	1510	550	216	78.50
HEB 160	160	160	8.00	13.00	15	54.30	42.60	2490	889	311	111.00
HEB 180	180	180	8.50	14.00	15	65.30	51.20	3830	1360	428	151.00
HEB 200	200	200	9.00	15.00	18	78.10	61.30	5700	2000	570	200.00
HEB 220	220	220	9.50	16.00	18	91.00	71.50	8090	2840	736	258.00
HEB 240	240	240	10.00	17.00	21	106.00	83.20	11260	3920	938	327.00
HEB 260	260	260	10.00	17.50	24	118.00	93.00	14920	5130	1150	395.00
HEB 280	280	280	10.50	18.00	24	131.00	103.00	19270	6590	1380	471.00
HEB 300	300	300	11.00	19.00	27	149.00	117.00	25170	8560	1680	571.00
HEB 320	320	300	11.50	20.50	27	161.00	127.00	30820	9240	1930	616.00



APÉNDICE 2

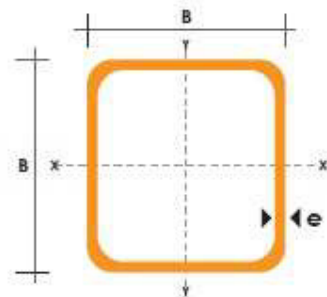
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales

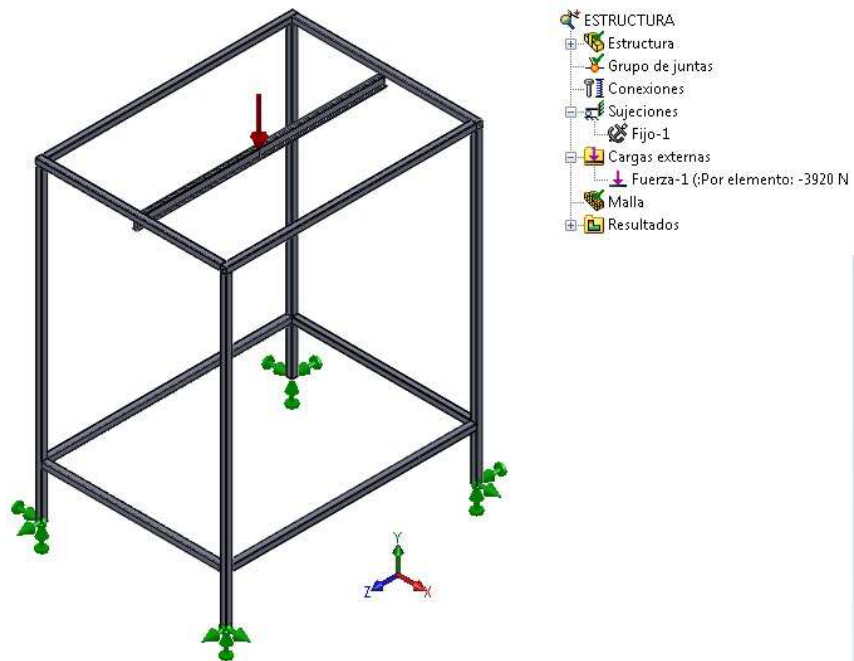
Norma	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6 mts.
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20mm a 100mm
Espesor	Desde 2,0mm a 3,0mm



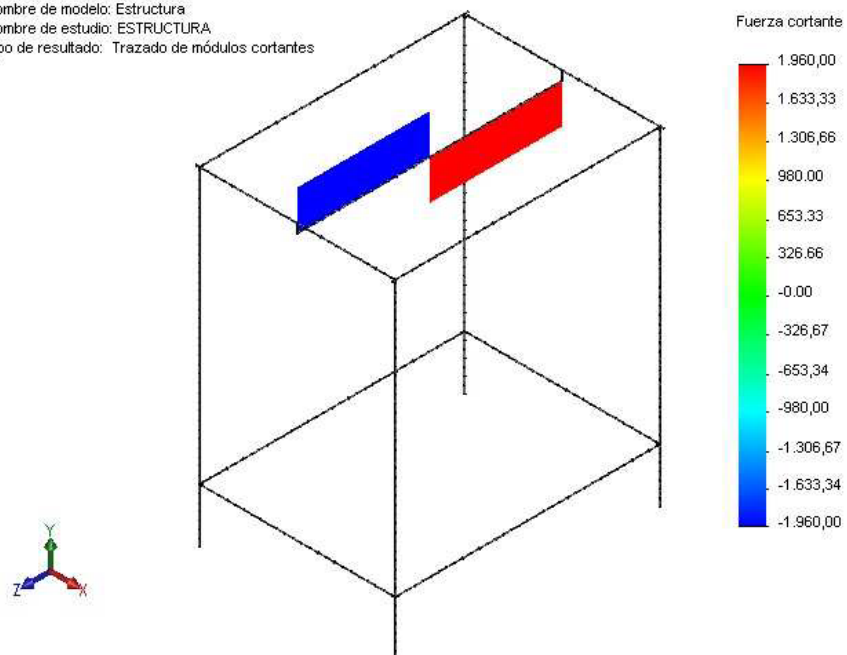
DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



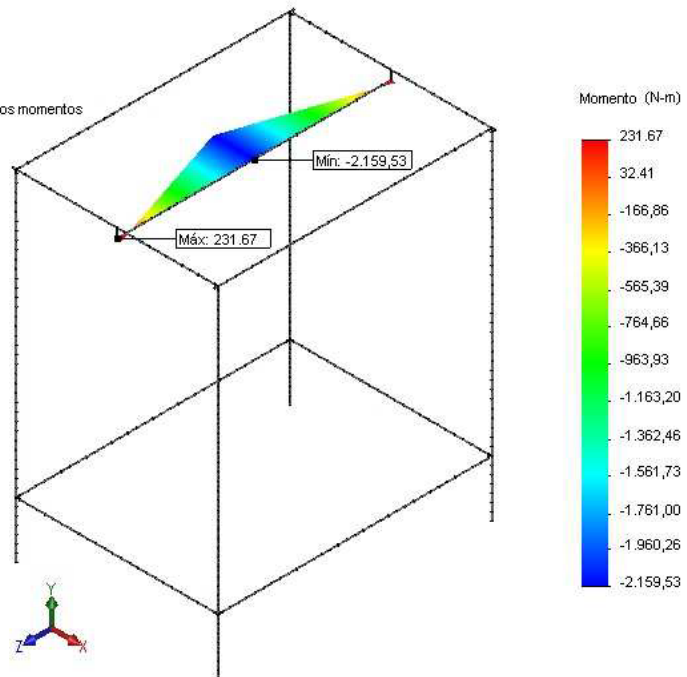
APÉNDICE 3



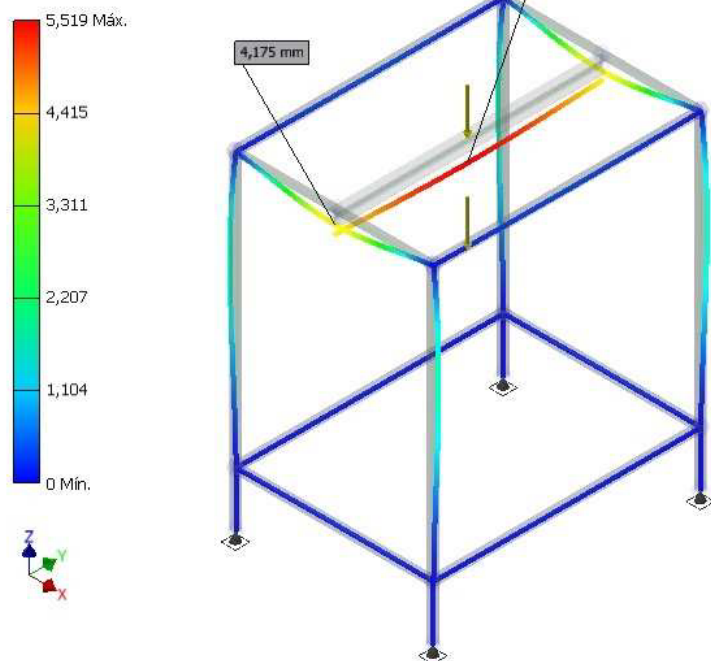
Nombre de modelo: Estructura
Nombre de estudio: ESTRUCTURA
Tipo de resultado: Trazado de módulos cortantes



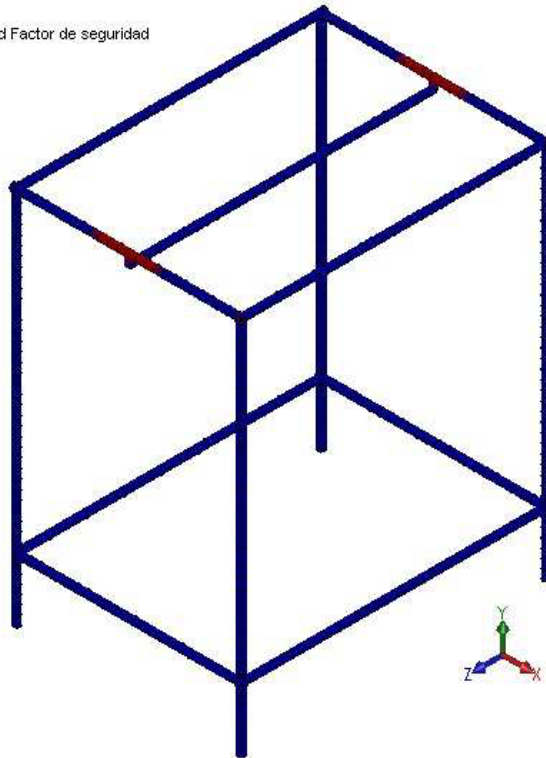
Nombre de modelo: Estructura
Nombre de estudio: ESTRUCTURA
Tipo de resultado: Trazado de módulos momentos



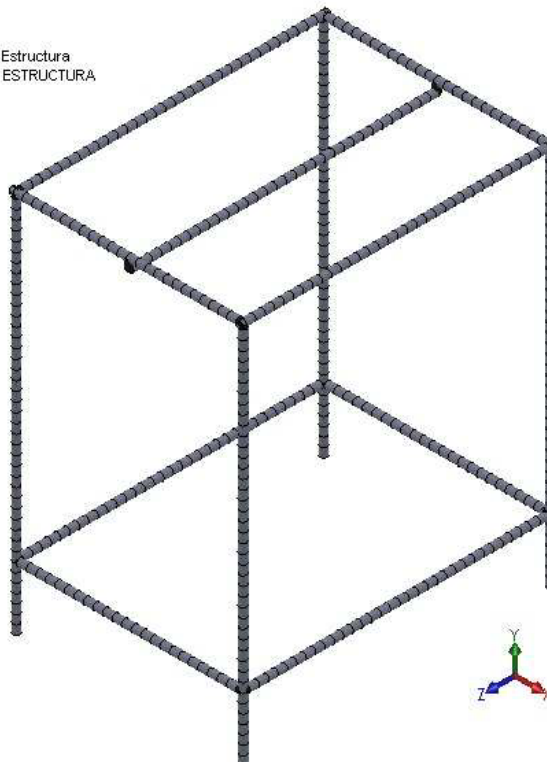
Tipo: Desplazamiento
Unidades: mm
08/08/2012, 0:44:20

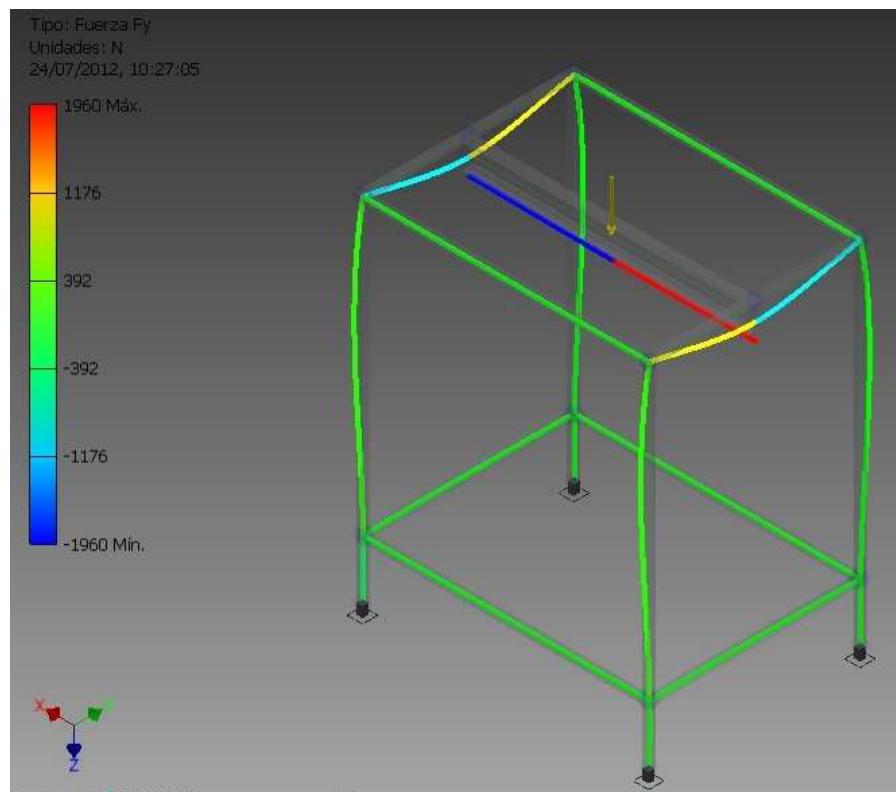


Nombre de modelo: Estructura
Nombre de estudio: ESTRUCTURA
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad
Criterio: Automático
Rojo < FOS = 4 - < Azul



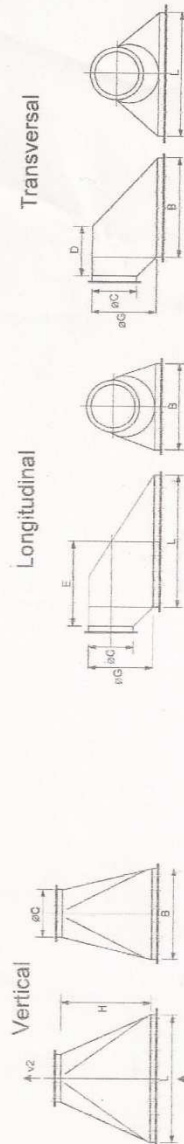
Nombre de modelo: Estructura
Nombre de estudio: ESTRUCTURA
Tipo de malla:





APÉNDICE 4

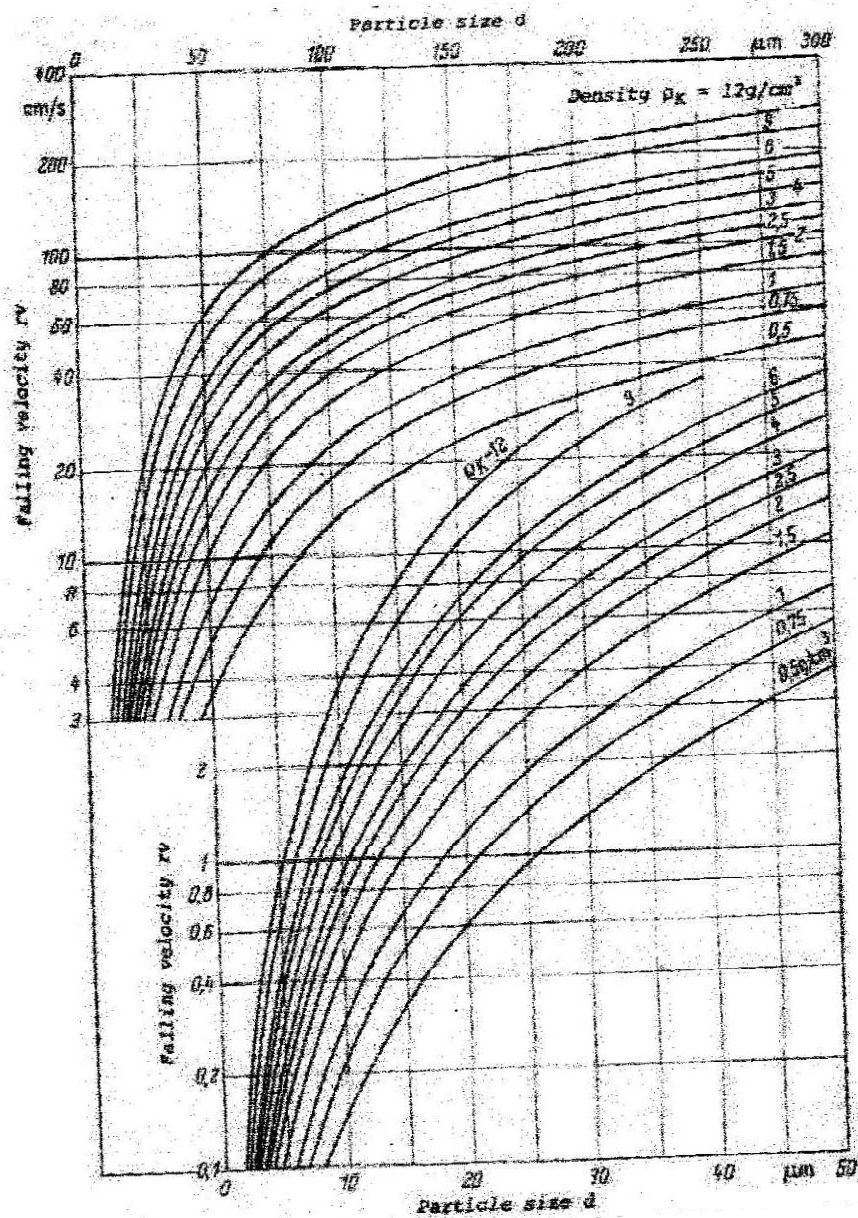
CATALOGO PARA FABRICACION DE CAMPANAS EXTRACTORAS [5]



Air Quantity m³/h	V1 m/s	V2 m/s	L mm	B mm	H mm	Ø C mm	Ø G mm	L mm	B mm	E mm	D mm
350	4.2	1.40	260	190	165	70.0	97	260	190	157.0	122.0
500	6.3	1.40	370	270	235	100.5	143	370	270	227.0	177.5
750	12.5	1.40	450	330	280	125.0	178	450	330	278.0	218.0
1000	16.6	1.40	520	380	325	143.5	207	520	380	323.5	253.5
1250	20.8	1.40	580	425	365	158.0	233	580	425	365.0	287.5
1500	25.0	1.44	630	460	400	172.0	253	630	460	396.0	311.0
1750	29.2	1.43	680	500	430	186.0	276	680	500	430.0	340.0
2000	33.3	1.39	740	540	470	198.0	299	740	540	471.0	371.0
2500	41.6	1.41	820	600	520	222.0	334	820	600	522.0	412.0
3000	50.0	1.40	900	660	570	244.0	368	900	660	574.0	454.0
3500	58.3	1.44	960	700	610	262.0	391	960	700	609.0	478.0
4000	66.6	1.40	1040	750	660	280.0	426	1040	750	666.0	526.0
4500	75.0	1.42	1100	800	700	298.0	449	1100	800	701.0	557.0
5000	83.3	1.42	1150	850	740	314.0	475	1150	850	739.0	589.0
6000	100.0	1.42	1250	930	800	344.0	524	1250	930	810.0	645.0

*Commercial Pipes and Bends
Sheet Thickness for Suction Hoods and Ducts: 3-4mm
Intake Velocity at Hoods according to Above Table: $V_1 \approx 1.4\text{m/s}$
Air Velocity in Dedusting Duct: $V_2 \approx 18\text{m/s}$

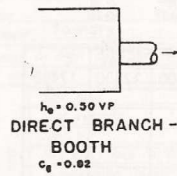
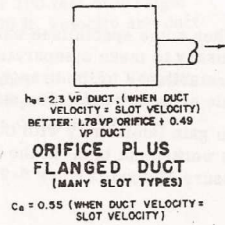
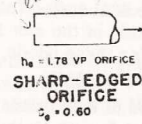
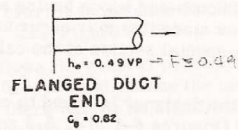
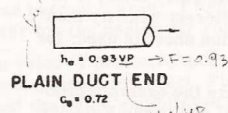
APÉNDICE 5



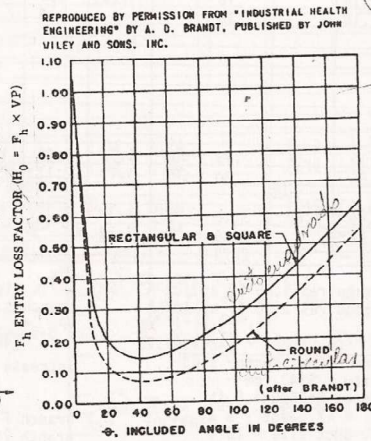
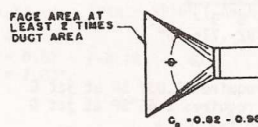
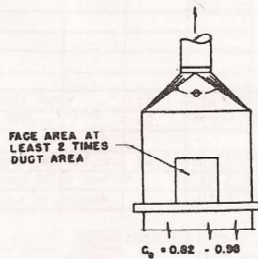
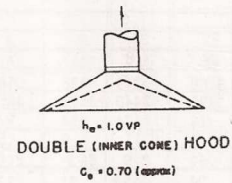
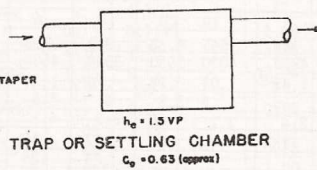
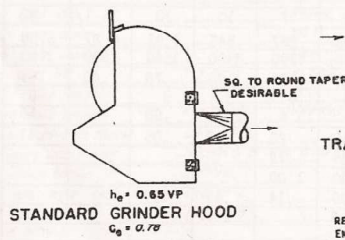
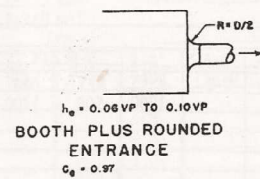
APÉNDICE 6

6-26

INDUSTRIAL VENTILATION



ANGLE	ENTRY LOSS		ENTRY COEFFICIENT	
	ROUND	RECTANGULAR	ROUND	RECTANGULAR
15°	0.15 VP	0.25 VP	0.93	0.69
30°	0.00 VP	0.16 VP	0.96	0.93
45°	0.06 VP	0.15 VP	0.97	0.93
60°	0.00 VP	0.17 VP	0.96	0.92
90°	0.15 VP	0.25 VP	0.93	0.89
120°	0.26 VP	0.35 VP	0.89	0.80
150°	0.40 VP	0.40 VP	0.84	0.82



$$h_e = \frac{1 - C_e^2}{C_e^2} \times VP$$

$$F_h = \frac{1 - C_e^2}{C_e^2}$$

$$h_e = F_h \times VP$$

$$Q = 4005 AC_e \sqrt{SP}$$

- F_h = ENTRY LOSS FACTOR
 VP = VELOCITY PRESSURE IN DUCT
 SP = STATIC PRESSURE AT THROAT, INCHES WATER GAGE
 h_e = ENTRY LOSS, INCHES WATER GAGE
 Q = AIR VOLUME, CFM
 A = CROSS SECTION AT THROAT, SQUARE FEET
 C_e = COEFFICIENT OF ENTRY
- ENTRY LOSS FOR COMPLICATED HOOD SHAPES:
1. BREAK HOOD INTO SIMPLE COMPONENTS
 2. CALCULATE h_e FOR EACH COMPONENT
 3. ADD VALUES OF h_e

MISCELLANEOUS VALUES

HOOD	ENTRY LOSS, F_h
ABRASIVE BLAST CHAMBER	1.0
ABRASIVE BLAST ELEVATOR	2.3
ABRASIVE SEPARATOR	2.3
ELEVATORS (ENCLOSURES)	0.69
FLANGED PIPE PLUS CLOSED ELBOW	0.8
PLAIN PIPE PLUS CLOSE ELBOW	1.60
TUMBLING MILLS (VARIES WITH DESIGN OF MILL)	AV. 2.0

HOOD ENTRY LOSS

Fig. 6-10

APÉNDICE 7

VELOCITY PRESSURE

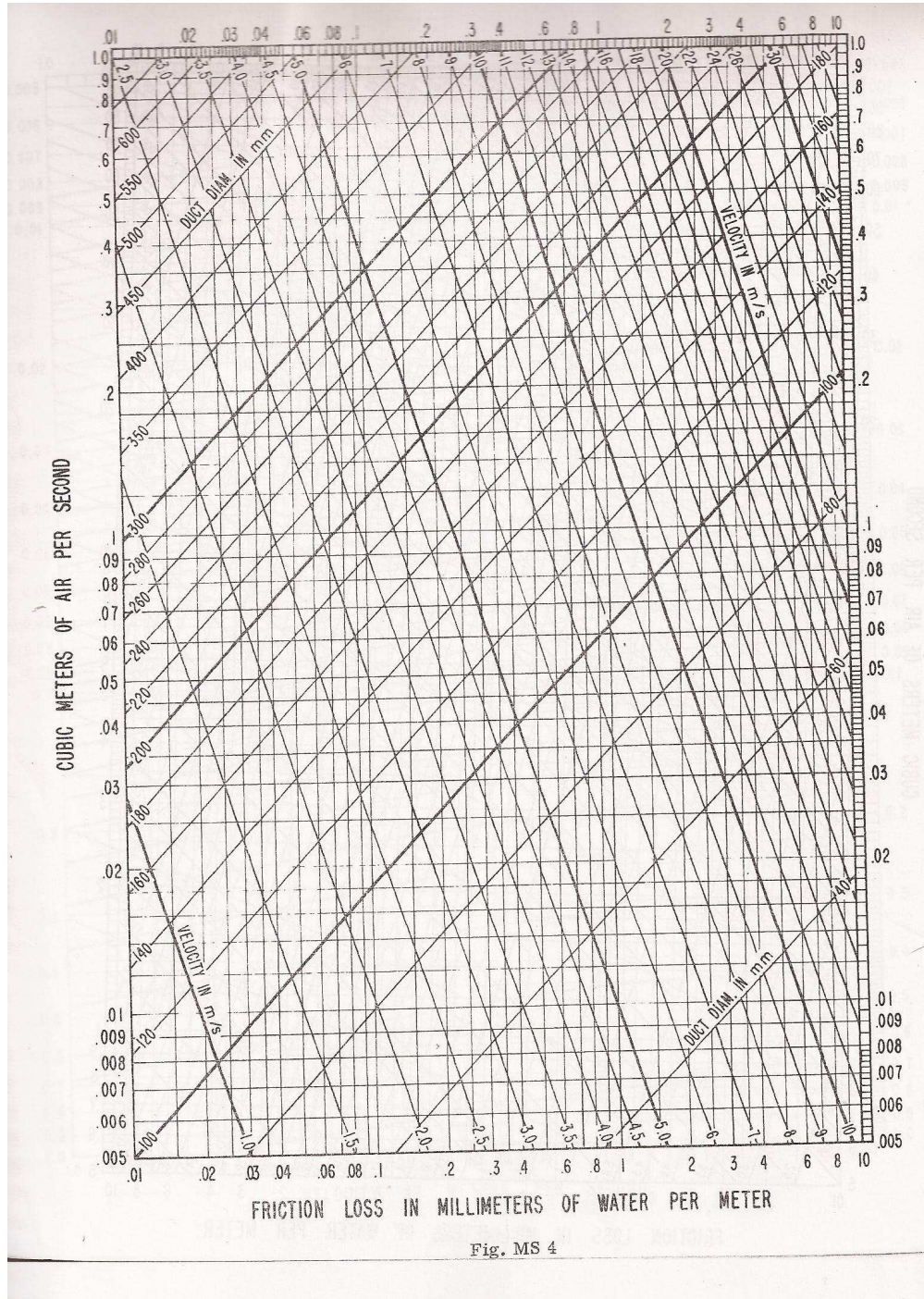
$$V = 4.043 \sqrt{VP} \quad \text{DENSITY OF AIR} = 1.2 \text{ Kg / m}^3$$

VP = VELOCITY PRESSURE IN mm OF WATER V = VELOCITY IN m / sec.

VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V
0.1	1.28	5.1	9.13	11.0	13.41	61.0	31.58	111.0	42.59	161.0	51.30
0.2	1.81	5.2	9.22	12.0	14.00	62.0	31.83	112.0	42.79	162.0	51.46
0.3	2.21	5.3	9.31	13.0	14.58	63.0	32.09	113.0	42.98	163.0	51.62
0.4	2.56	5.4	9.39	14.0	15.13	64.0	32.34	114.0	43.17	164.0	51.77
0.5	2.86	5.5	9.48	15.0	15.66	65.0	32.59	115.0	43.35	165.0	51.93
0.6	3.13	5.6	9.57	16.0	16.17	66.0	32.84	116.0	43.54	166.0	52.09
0.7	3.38	5.7	9.65	17.0	16.67	67.0	33.09	117.0	43.73	167.0	52.24
0.8	3.62	5.8	9.74	18.0	17.15	68.0	33.34	118.0	43.92	168.0	52.40
0.9	3.84	5.9	9.82	19.0	17.62	69.0	33.58	119.0	44.10	169.0	52.56
1.0	4.04	6.0	9.90	20.0	18.08	70.0	33.82	120.0	44.29	170.0	52.71
1.1	4.24	6.1	9.99	21.0	18.53	71.0	34.07	121.0	44.47	171.0	52.87
1.2	4.43	6.2	10.07	22.0	18.96	72.0	34.30	122.0	44.65	172.0	53.02
1.3	4.61	6.3	10.15	23.0	19.39	73.0	34.54	123.0	44.84	173.0	53.18
1.4	4.78	6.4	10.23	24.0	19.81	74.0	34.78	124.0	45.02	174.0	53.33
1.5	4.95	6.5	10.31	25.0	20.21	75.0	35.01	125.0	45.20	175.0	53.48
1.6	5.11	6.6	10.39	26.0	20.61	76.0	35.24	126.0	45.38	176.0	53.63
1.7	5.27	6.7	10.46	27.0	21.01	77.0	35.48	127.0	45.56	177.0	53.79
1.8	5.42	6.8	10.54	28.0	21.39	78.0	35.71	128.0	45.74	178.0	53.94
1.9	5.57	6.9	10.62	29.0	21.77	79.0	35.93	129.0	45.92	179.0	54.09
2.0	5.72	7.0	10.70	30.0	22.14	80.0	36.16	130.0	46.10	180.0	54.24
2.1	5.86	7.1	10.77	31.0	22.51	81.0	36.39	131.0	46.27	181.0	54.39
2.2	6.00	7.2	10.85	32.0	22.87	82.0	36.61	132.0	46.45	182.0	54.54
2.3	6.13	7.3	10.92	33.0	23.22	83.0	36.83	133.0	46.62	183.0	54.69
2.4	6.26	7.4	11.00	34.0	23.57	84.0	37.05	134.0	46.80	184.0	54.84
2.5	6.39	7.5	11.07	35.0	23.92	85.0	37.27	135.0	46.97	185.0	54.99
2.6	6.52	7.6	11.15	36.0	24.26	86.0	37.49	136.0	47.15	186.0	55.14
2.7	6.64	7.7	11.22	37.0	24.59	87.0	37.71	137.0	47.32	187.0	55.28
2.8	6.76	7.8	11.29	38.0	24.92	88.0	37.93	138.0	47.49	188.0	55.43
2.9	6.88	7.9	11.36	39.0	25.25	89.0	38.14	139.0	47.66	189.0	55.58
3.0	7.00	8.0	11.43	40.0	25.57	90.0	38.35	140.0	47.84	190.0	55.73
3.1	7.12	8.1	11.51	41.0	25.89	91.0	38.57	141.0	48.01	200.0	57.17
3.2	7.23	8.2	11.58	42.0	26.20	92.0	38.78	142.0	48.18	210.0	58.59
3.3	7.34	8.3	11.65	43.0	26.51	93.0	38.99	143.0	48.35	220.0	59.96
3.4	7.45	8.4	11.72	44.0	26.82	94.0	39.20	144.0	48.51	230.0	61.31
3.5	7.56	8.5	11.79	45.0	27.12	95.0	39.40	145.0	48.68	240.0	62.63
3.6	7.67	8.6	11.86	46.0	27.42	96.0	39.61	146.0	48.85	250.0	63.92
3.7	7.78	8.7	11.92	47.0	27.72	97.0	39.82	147.0	49.02	260.0	65.19
3.8	7.88	8.8	11.99	48.0	28.01	98.0	40.02	148.0	49.18	270.0	66.43
3.9	7.98	8.9	12.06	49.0	28.30	99.0	40.23	149.0	49.35	280.0	67.65
4.0	8.09	9.0	12.13	50.0	28.59	100.0	40.43	150.0	49.51	290.0	68.85
4.1	8.19	9.1	12.20	51.0	28.87	101.0	40.63	151.0	49.68	300.0	70.02
4.2	8.29	9.2	12.26	52.0	29.15	102.0	40.83	152.0	49.84	310.0	71.18
4.3	8.38	9.3	12.33	53.0	29.43	103.0	41.03	153.0	50.01	320.0	72.32
4.4	8.48	9.4	12.40	54.0	29.71	104.0	41.23	154.0	50.17	330.0	73.44
4.5	8.58	9.5	12.46	55.0	29.98	105.0	41.43	155.0	50.33	340.0	74.55
4.6	8.67	9.6	12.53	56.0	30.25	106.0	41.62	156.0	50.49	350.0	75.63
4.7	8.76	9.7	12.59	57.0	30.52	107.0	41.82	157.0	50.66	360.0	76.71
4.8	8.86	9.8	12.66	58.0	30.79	108.0	42.01	158.0	50.82	370.0	77.77
4.9	8.95	9.9	12.72	59.0	31.05	109.0	42.21	159.0	50.98	380.0	78.81
5.0	9.04	10.0	12.78	60.0	31.32	110.0	42.40	160.0	51.14	390.0	79.84

Fig. MS 3

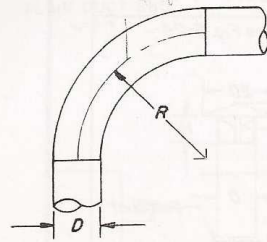
APÉNDICE 8



APÉNDICE 9

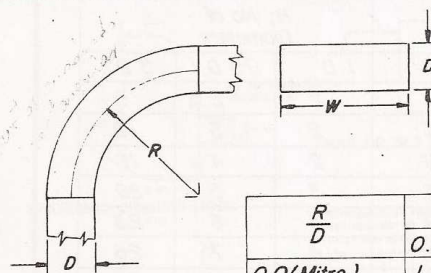
6-28

INDUSTRIAL VENTILATION



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

ROUND ELBOWS



Loss, Fraction of VP

$\frac{R}{D}$	Aspect Ratio, W/D					
	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
0.0 (Mitre)	1.50	1.32	1.15	1.04	0.92	0.86
0.5	1.36	1.21	1.05	0.95	0.84	0.79
1.0	0.45	0.28	0.21	0.21	0.20	0.19
1.5	0.28	0.18	0.13	0.13	0.12	0.12
2.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10
3.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10

SQUARE & RECTANGULAR ELBOWS

ELBOW LOSSES

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

DUCTWORK DESIGN DATA

DATE 1-66

Fig. 6-12

APÉNDICE 10

Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales LEMAT		INFORME DE ENSAYO CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	 Edición: 4
---	--	---	----------------

Hoja: 1 de 2
 N° Informe: 12-184

Fecha de emisión: 08/06/2012
 Número de Orden: OT-320-12

DATOS GENERALES DEL CLIENTE			
Nombre:	Christian Leopoldo Paredes Salinas		
Dirección:	AV. LA ATARAZANA		
Teléfono:	2397054	Correo electrónico:	NN
Persona de Contacto:	Christian Paredes		
		Fax:	N/C

DATOS DE LA MUESTRA					
Código de Muestra	Descripción de la muestra	Fecha de Recepción	Muestreo realizado por	Condiciones de la muestra	Fecha de Ensayo
12-0509	Polvo de pintura EPOXY	07/05/2012	Cliente ☒ Otros ☐	OK	06/06/2012

Ing. Carlos Parra M.
 Director Técnico (e)

Ing. Rodrigo Perugachí B.
 Director del Laboratorio (e)

LEMAT
 Laboratorio de Ensayos
 Metrológicos y de Materiales

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.
 Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.
 Guayaquil: Campus "Gustavo Galindo V.", Km 30,5 vía Perimetral, contiguo a la Cilla Santa Cecilia.
 Tics: (593 4) 2269293 - Teléfono: 2269375 - E-mail: lemat@espol.edu.ec
 MC2201 - 04



MASTERSIZER 2000

Result Analysis Report

Sample Name:
pintura prueba_1 - Average

Sample Source & type:
Paris

Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Epoxy

Measured by:
Laboratorio

Result Source:
Averaged

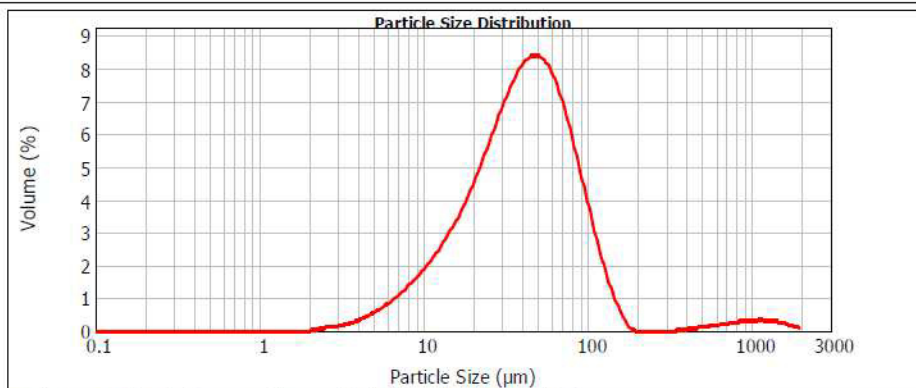
Measured:
Viernes, 18 de Mayo de 2012 14:40:02

Analysed:
Viernes, 18 de Mayo de 2012 14:40:04

Particle Name: Epoxy 0.01	Accessory Name: Sirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.580	Absorption: 0.01	Size range: 0.020 to 2000.000 μm	Obscuration: 13.68 %
Dispersant Name:	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 0.186 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0123 %Vol	Span : 2.018	Uniformity: 1.12	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.226 m^2/g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 26.579 μm	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 68.652 μm	

d(0.1): 12.800 μm d(0.5): 40.688 μm d(0.9): 94.916 μm

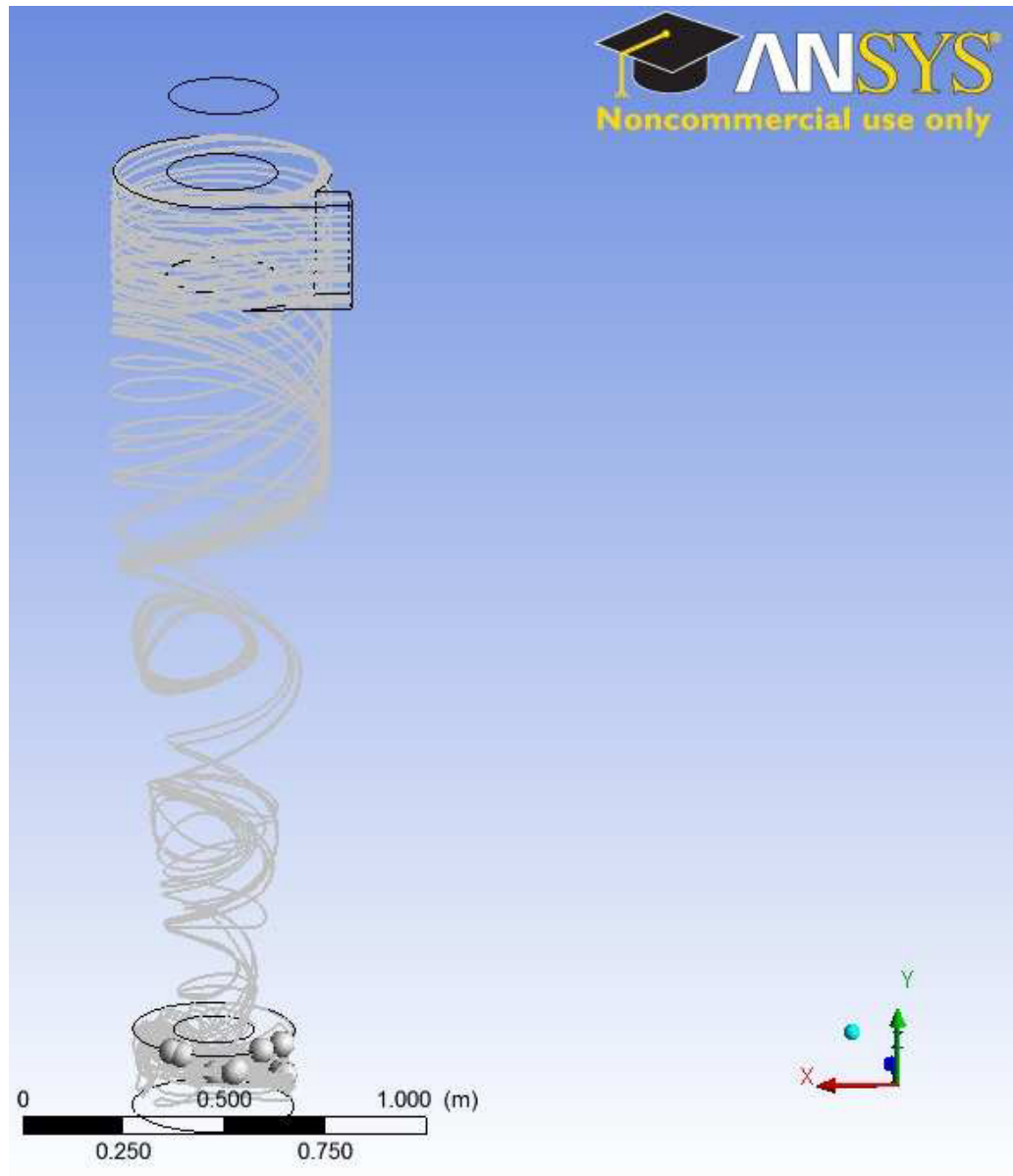


pintura prueba_1 - Average, Viernes, 18 de Mayo de 2012 14:40:02

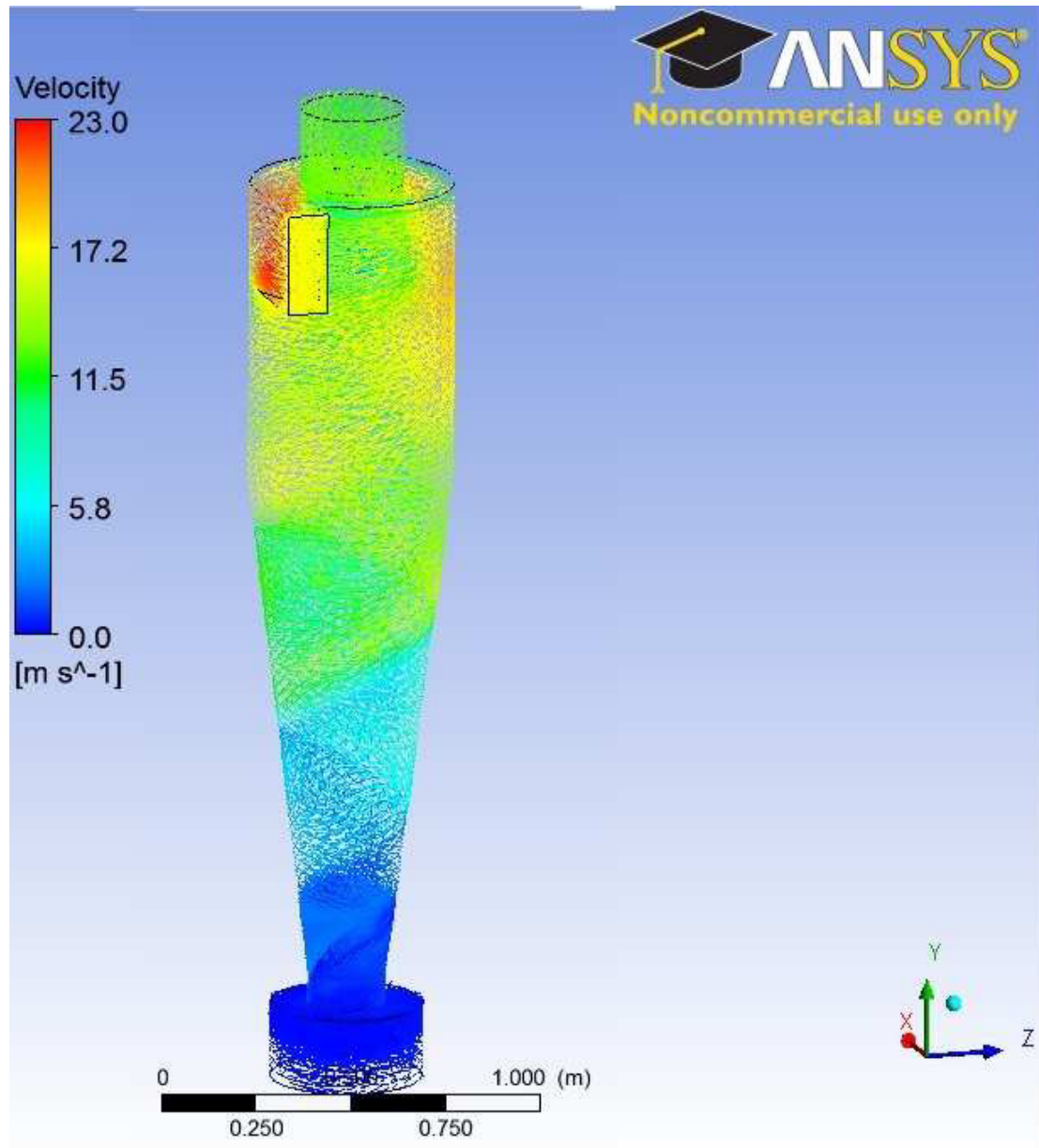
Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.086	0.00	11.482	2.22	120.226	1.59	1258.925	0.27
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	2.65	138.038	0.82	1445.440	0.22
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	3.14	158.489	0.26	1659.587	0.13
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	3.71	181.970	0.00	1805.461	0.04
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.963	4.35	208.930	0.00	2187.782	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.00	22.909	5.07	239.883	0.00	2511.888	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.10	26.303	5.81	275.423	0.00	2894.032	0.00
0.028	0.00	0.275	0.00	2.884	0.14	30.200	6.51	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.21	34.674	7.10	363.078	0.03	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.31	39.811	7.48	416.869	0.07	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.44	45.709	7.59	478.630	0.11	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.59	52.481	7.35	549.541	0.15	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.78	60.258	6.78	630.957	0.19	6606.034	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	1.00	68.183	5.92	724.438	0.23	7555.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	1.25	79.433	4.85	831.794	0.26	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	1.54	91.201	3.70	954.993	0.29	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	1.86	104.713	2.57	1098.478	0.29		
0.105	0.00	1.098	0.00	11.482	1.86	120.226	2.57	1258.925	0.29		

Operator notes:

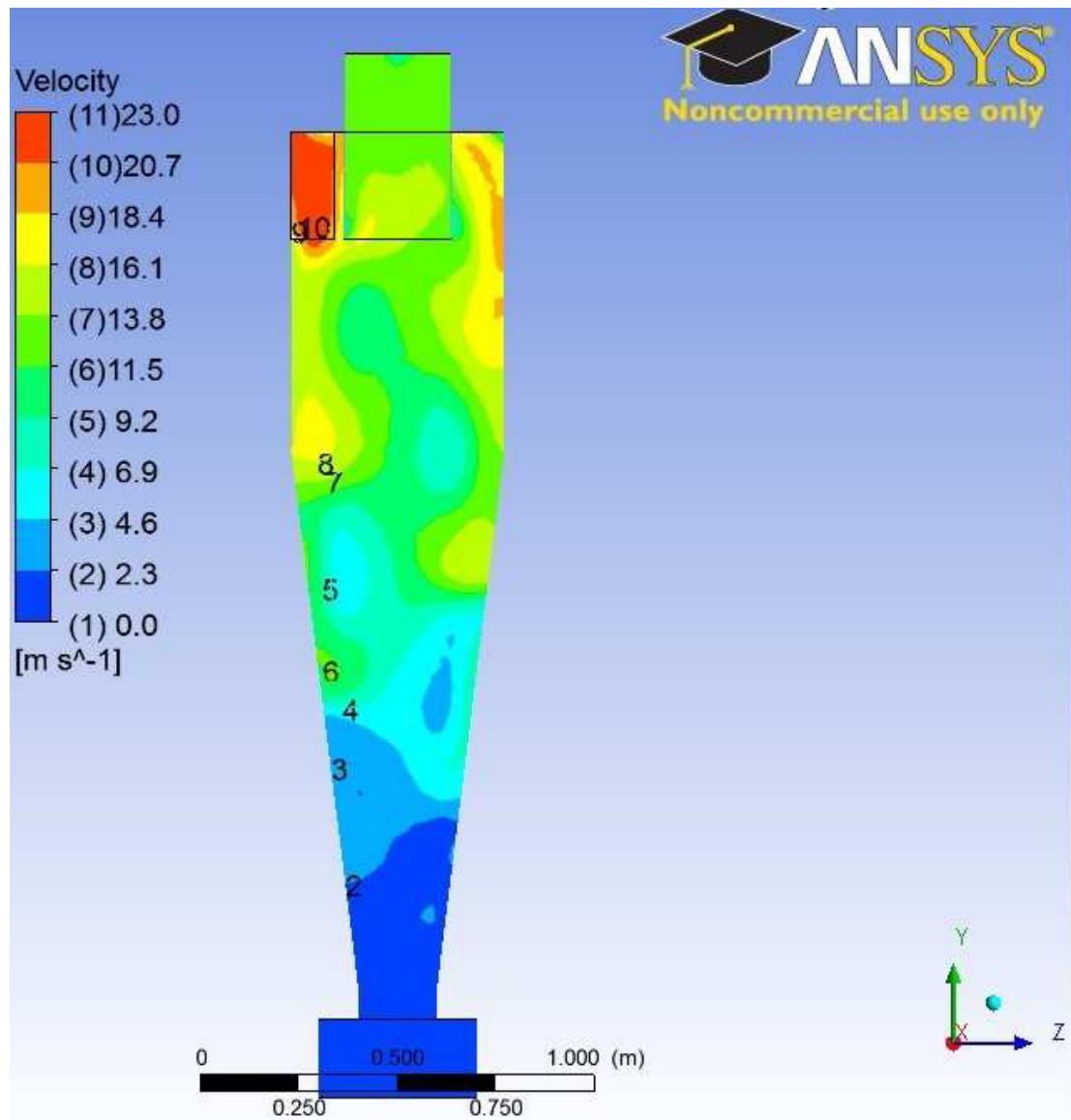
APÉNDICE 11



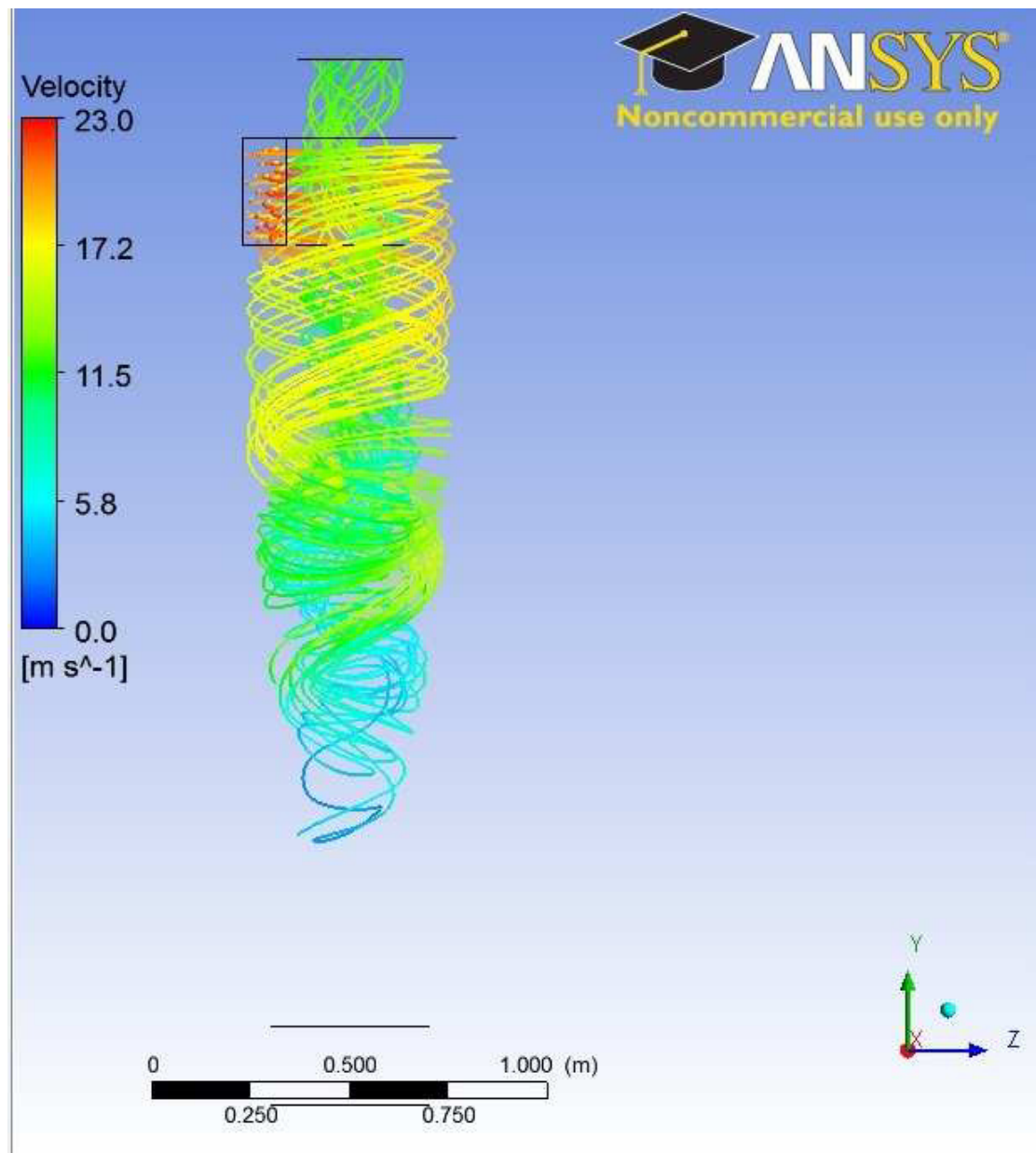
APÉNDICE 12



APÉNDICE 13



APÉNDICE 14



APÉNDICE 15



OPCIONES DE CONSTRUCCIÓN

MODELO: CM



Tipo: VENT SET

Tipo de turbina: alabes atrasados

Rotación: CW y CCW

Tamaños: 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900 y 1000.

Clases constructivas:

CLASE I: Todos los tamaños

Presión estática máxima: 177.8 mm c.a. (7.0 " c.a.)

CLASE II: Tamaño 315 al 1000.

Presión estática máxima: 279.4 mm c.a. (11.0" c.a.)

Accesorios disponibles:

Cubierta intemperie

Puerta de inspección

Aro toma de aire con opción aislamiento

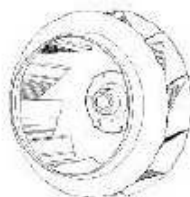
Malla succión

Brida y/o malla descarga

Cubierta protección chumaceras

Disco de enfriamiento

SERIE CM



El rodete impulsor del tipo alabes atrasados, es fabricado en lámina de acero rolada en frío, con un acabado en pintura poliéster de aplicación electrostática en polvo.

Las principales aplicaciones de este diseño de rodetes impulsores incluyen sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Clase II, turbina reforzada con soporte exterior en alabes.

CM 280



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Diámetro de la turbina: 288 mm. (11 5/16 inch).

Diámetro del eje: Clase I 19.05mm. (3/4 inch).

Área de salida: 0.072 m² (0.775ft²).

BHP máximos Clase I 2.14.

Armazón máximo de motor: Clase I 182 T

RPM máximas: Clase I 3450.

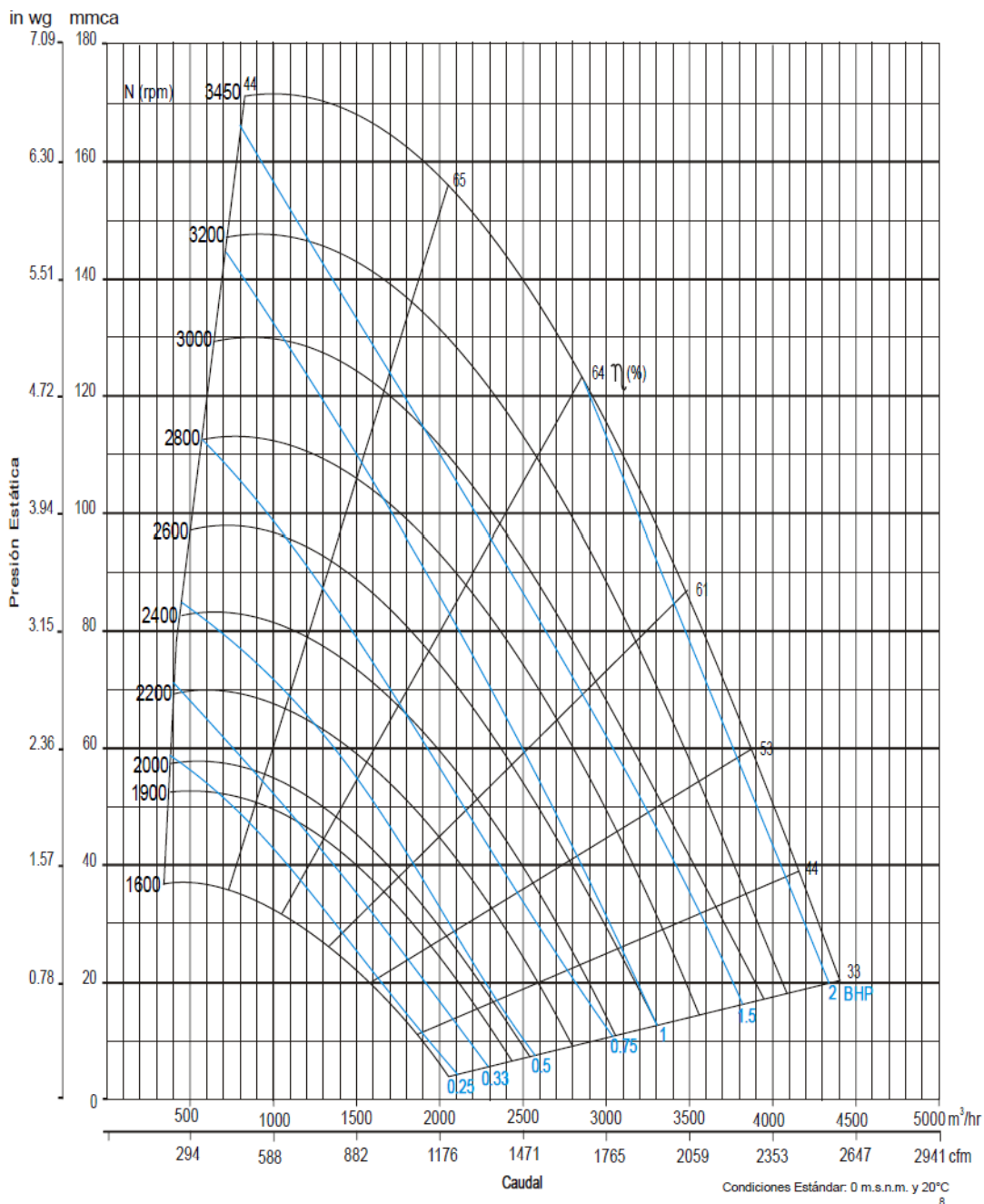
Peso del equipo: 32 Kg 70 Lbs.

CFM m ³ /hr	Vel. salida PPM	PRESION ESTÁTICA mmca - inwg.																	
		12.7mm/ 5"		25.4mm/1"		38.1mm/1.5"		50.8 mm/2"		63.5 mm/2.5"		76.2mm/3"		101.6mm/4"		127.0mm/5"		152.4mm/6"	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
542	700	1103	0.07	1425	0.13	1688	0.20	1916	0.28	2127	0.38	2326	0.47	2692	0.66	3019	0.85	3314	1.07
921		59		65		70		74		76		78		84		87		89	
619	800	1161	0.08	1466	0.15	1723	0.23	1946	0.30	2145	0.40	2335	0.51	2686	0.70	3008	0.92	3303	1.15
1053		61		66		70		74		76		78		84		87		89	
697	900	1227	0.09	1514	0.17	1762	0.25	1981	0.34	2177	0.44	2358	0.54	2692	0.75	3003	1.00	3293	1.20
1184		62		67		70		74		76		79		84		86		89	
774	1000	1297	0.10	1566	0.19	1805	0.28	2019	0.38	2212	0.47	2390	0.58	2712	0.80	3009	1.06	3290	1.30
1316		65		68		71		74		77		79		85		87		89	
851	1100	1369	0.13	1613	0.21	1852	0.30	2060	0.40	2250	0.50	2425	0.61	2741	0.86	3028	1.13	3297	1.40
1447		66		69		72		75		77		79		85		88		89	
929	1200	1445	0.15	1686	0.24	1904	0.35	2105	0.44	2291	0.55	2463	0.67	2775	0.90	3056	1.20	3316	1.50
1579		68		70		73		75		78		80		85		87		89	
1006	1300	1521	0.17	1753	0.28	1960	0.38	2154	0.50	2334	0.60	2503	0.72	2811	0.97	3088	1.26	3346	1.55
1711		69		72		74		75		78		80		84		87		89	
1084	1400	1597	0.20	1824	0.30	2021	0.40	2207	0.54	2382	0.66	2547	0.78	2850	1.00	3124	1.30	3375	1.60
1842		71		73		75		77		79		81		84		87		89	
1161	1500	1673	0.24	1896	0.35	2085	0.47	2263	0.60	2432	0.71	2593	0.84	2890	1.11	3161	1.40	3410	1.72
1974		73		74		76		78		80		81		84		87		89	
1238	1600	1750	0.27	1970	0.39	2152	0.50	2323	0.64	2486	0.78	2642	0.91	2933	1.18	3200	1.49		
2105		74		76		77		79		81		82		84		87			
1316	1700			2046	0.44	2223	0.56	2387	0.70	2544	0.83	2694	0.97	2979	1.26	3241	1.57		
2237				77		78		80		82		82		84		86			
1393	1800			2121	0.48	2295	0.60	2453	0.75	2604	0.89	2750	1.00	3027	1.35	3284	1.66		
2368				78		80		81		82		82		85		87			
1471	1900			2198	0.54	2369	0.68	2522	0.80	2668	0.98	2809	1.13	3078	1.50	3330	1.77		
2500				79		81		82		83		83		85		87			
1548	2000			2273	0.60	2443	0.75	2593	0.90	2734	1.00	2870	1.20	3131	1.50	3378	1.90		
2632				81		82		83		83		84		86		87			
1625	2100			2349	0.66	2518	0.81	2665	0.97	2802	1.13	2934	1.29	3188	1.64	3428	1.98		
2763				82		83		83		84		85		86		88			
1703	2200			2427	0.72	2595	0.89	2740	1.00	2873	1.22	3001	1.40	3247	1.70				
2895				83		84		84		84		85		87					
1780	2300			2504	0.79	2670	0.97	2814	1.14	2945	1.31	3070	1.48	3308	1.85				
3026				84		84		85		85		86		87					
1858	2400					2747	1.00	2890	1.23	3019	1.40	3141	1.60	3373	1.96				
3158						85		85		86		86		88					
1935	2500					2823	1.14	2965	1.37	3093	1.50	3212	1.70	3438	2.00				
3290						86		86		87		87		88					
2012	2600					2899	1.23	3041	1.43	3168	1.62	3285	1.80						
3421						86		87		87		88							

CM 280



CURVA CARACTERÍSTICA



APÉNDICE 16

PERFILES IMPORTADOS ANGULOS

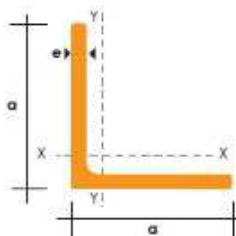
Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A 36 SAE 1008
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00 m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
AL 20X2	20	2	0.60	3.62	0.76
AL 20X3	20	3	0.87	5.27	1.11
AL 25X2	25	2	0.75	4.56	0.96
AL 25X3	25	3	1.11	6.68	1.41
AL 25X4	25	4	1.45	8.75	1.84
AL 30X3	30	3	1.36	8.13	1.71
AL 30X4	30	4	1.77	10.63	2.24
AL 40X3	40	3	1.81	11.00	2.31
AL 40X4	40	4	2.39	14.34	3.04
AL 40X6	40	6	3.49	21.34	4.44
AL 50X3	50	3	2.29	13.85	2.91
AL 50X4	50	4	3.02	18.33	3.84
AL 50X6	50	6	4.43	26.58	5.64
AL 60X6	60	6	5.37	32.54	6.84
AL 60X8	60	8	7.09	42.54	9.03
AL 65X8	65	8	5.84	35.25	7.44
AL 70X8	70	8	6.32	38.28	8.05
AL 75X8	75	8	6.78	40.65	8.64
AL 75X8	75	8	8.92	54.18	11.36
AL 80X8	80	8	9.14	55.95	11.60
AL 100X8	100	8	9.14	55.95	11.64
AL 100X8	100	8	12.06	74.05	15.36
AL 100X10	100	10	15.04	90.21	19.15
AL 100X12	100	12	18.26	109.54	22.56

También en galvanizado e inoxidable



APÉNDICE 17

PLANCHAS
PL



PLANCHAS

REDUCCION DE FRACCIONES DE PULGADAS A MILIMETROS					
PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS
1/128 =	0.20	25/64 =	9.92	27/32 =	21.43
1/64 =	0.40	13/32 =	10.32	55/64 =	21.83
3/128 =	0.80	27/64 =	10.72	7/8 =	22.23
1/40 =	0.64	7/16 =	11.11	57/64 =	22.62
1/32 =	0.79	29/64 =	11.51	29/32 =	23.02
1/25 =	1.02	15/32 =	11.91	59/64 =	23.42
3/64 =	1.19	31/64 =	12.30	15/16 =	23.81
1/20 =	1.27	1/2 =	12.70	61/64 =	24.21
1/16 =	1.59	33/64 =	13.10	61/32 =	24.61
5/64 =	1.98	17/32 =	13.49	63/64 =	25.00
3/32 =	2.38	35/64 =	13.89	1 =	25.40
7/64 =	2.78	9/16 =	14.29	11/10 =	27.00
1/8 =	3.18	37/64 =	14.68	11/8 =	28.60
9/64 =	3.57	19/32 =	15.08	18/16 =	30.20
5/32 =	3.97	39/64 =	15.48	11/4 =	31.70
11/64 =	4.37	5/8 =	15.88	15/16 =	33.30
3/16 =	4.76	41/64 =	16.27	13/8 =	34.90
13/64 =	5.16	21/32 =	16.67	17/16 =	36.50
7/32 =	5.56	46/64 =	17.07	11/2 =	38.10
15/64 =	5.95	11/16 =	17.46	19/10 =	39.70
1/4 =	6.35	45/64 =	17.86	15/8 =	41.30
17/64 =	6.75	23/32 =	18.26	111/16 =	42.90
9/32 =	7.14	47/64 =	18.65	13/4 =	44.40
19/64 =	7.54	3/4 =	19.05	113/16 =	46.00
5/16 =	7.94	49/64 =	19.45	17/8 =	47.60
21/64 =	8.33	25/32 =	19.84	115/16 =	49.20
11/32 =	8.73	51/64 =	20.24	2 =	50.80
23/64 =	9.13	13/16 =	20.64		
3/8 =	9.53	53/64 =	21.03		

DIMENSIONES EN (mm)			PESOS
ANCHO	LARGO	ESPESOR	KG
1220	2440	2	46.74
1220	2440	3	70.10
1220	2440	4	93.47
1500	2440	4	114.92
1220	2440	5	116.84
1500	2440	5	143.66
1800	2440	5	172.39
1220	2440	6	140.21
1500	2440	6	172.39
1800	2440	6	206.86
1220	2440	8	186.94
1500	2440	8	229.85
1800	2440	8	275.82
1220	2440	10	233.68
1500	2440	10	287.31
1800	2440	10	344.77
1220	6000	12	689.54

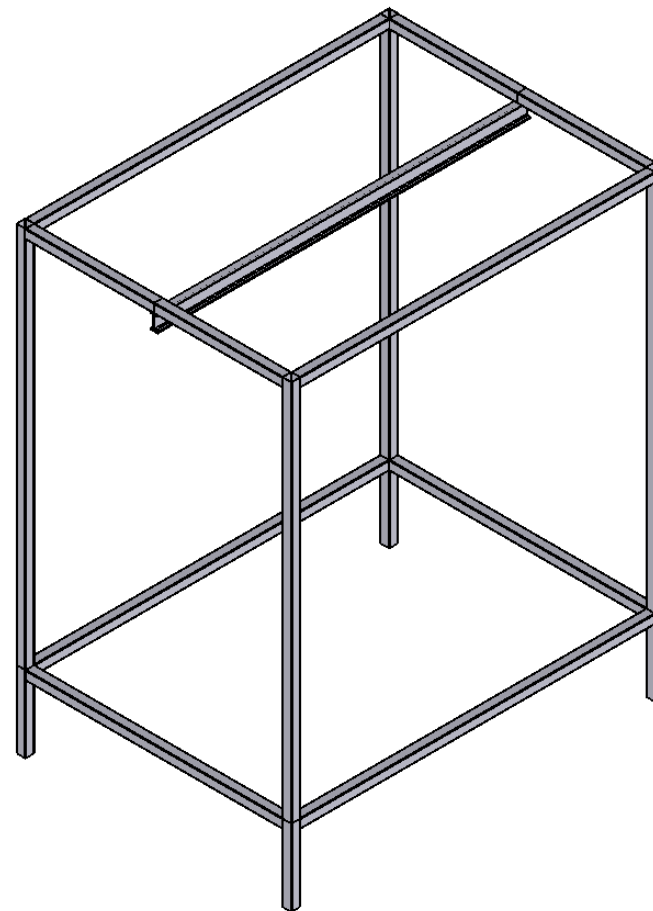
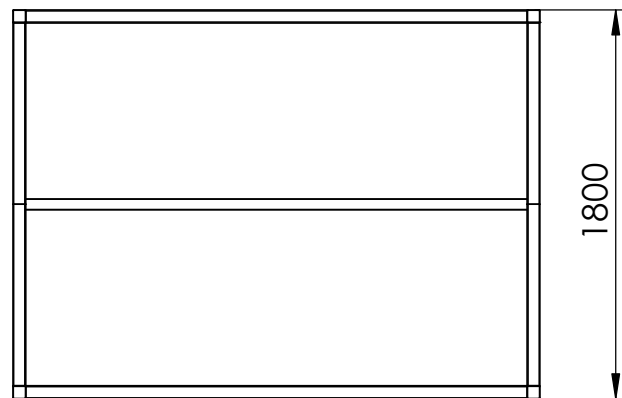
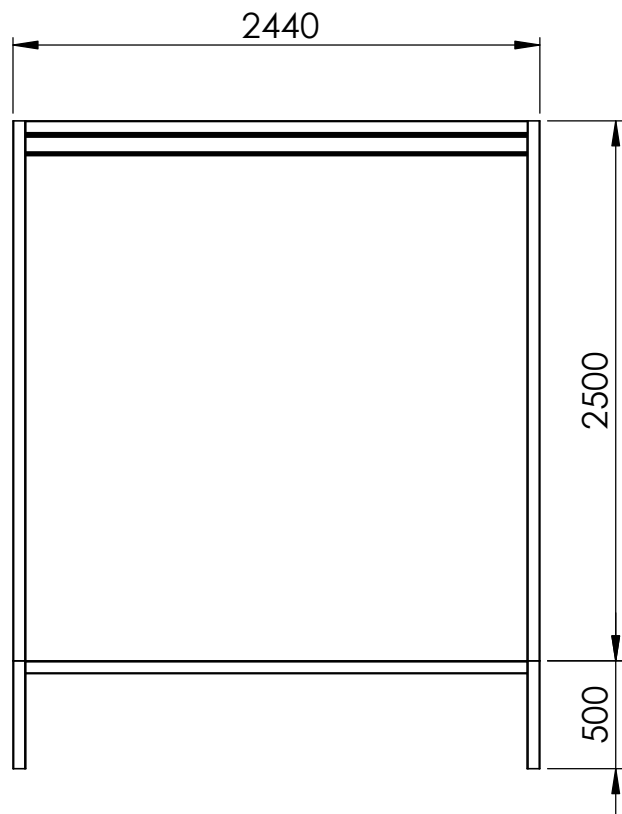
APÉNDICE 18



Propiedades físicas de DibujoFinal (Assembly Configuration -- Predeterminado)	
Sistema de coordenadas de salida: -- predeterminado --	
Masa = 989598.58 gramos	
Volumen = 126501866.09 milímetros^3	
Área de superficie = 96156482.25 milímetros^2	
Centro de masa: (milímetros)	
X = -528.37	
Y = -244.02	
Z = -1222.87	
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros^2)	
Medido desde el centro de masa.	
Ix = (0.56, 0.62, 0.55)	Px = 1376786133097.47
Iy = (-0.35, -0.42, 0.84)	Py = 2042645061638.65
Iz = (0.75, -0.66, -0.01)	Pz = 2390713324749.56
Momentos de inercia: (gramos * milímetros^2)	
(Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)	
Lxx = 2028647285161.67	Lxy = 405404510522.47
Lyx = 405404510522.47	Lyy = 1936572521857.90
Lzx = 207405143301.48	Lzy = 222754965539.01
	Lzz = 1844924712466.12
Momentos de inercia: (gramos * milímetros^2)	
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.	
Ixx = 3567440618383.72	Ixy = 532999397599.54
Iyx = 532999397599.54	Iyy = 3692713717904.34
Izx = 846819975254.39	Izy = 518061257413.23
	Izz = 2180128999889.75

BIBLIOGRAFÍAS

- Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, 8va Edición - Richard G. Budynas & J. Keith Nisbet.
- Mecánica de fluidos de Frank M. White, 6ta Edición.
- Air Pollution Control de C. David Cooper & F.C. Alley , 3ra edición.
- Industrial Ventilation de American Conference of Govermental Industrial Hygienists, 14va Edición.
- Diseño óptimo de Ciclones de Carlos Echeverri.
- Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, Norma de Calidad del Aire Ambiente, Libro VI Anexo 4, Ecuador, 2003
- Catálogo de Ventiladores Centrífugos de Soler & Palau Pág.2-5-6.
- Catálogo de Acero Dipac Pág. 8,12,15, 31
- Catálogo Acerimallas www.acerimallas.com.ec pág. 10-11.
- Manual Práctico de Ventilación de Salvador Escoda.
- Pinturas en Polvo de Ing. Jorge Omar Francescutti.
- Catálogo para fabricación de campanas extractoras HOLCIM-ECUADOR.
- Revista metal industrial ,http://www.asimet.cl/pintura_solida.htm
- Artículo de Pintura en Polvo de Carolina Llano Uribe.



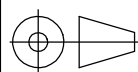
FIMCP - ESPOL

	FECHA	NOMBRE
Dibujó:	17/08/12	C. Paredes
Revisó:	18/04/12	Ing. Helguero

PROYECTO: Cámara de Pintura electrostática con recuperación de polvo

PLANO No:

1



PLANO No:

ESCALA:

CONTIENE:

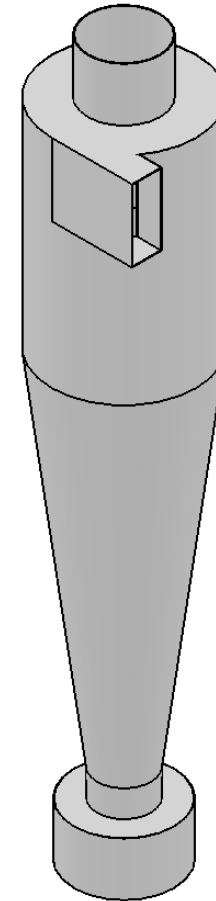
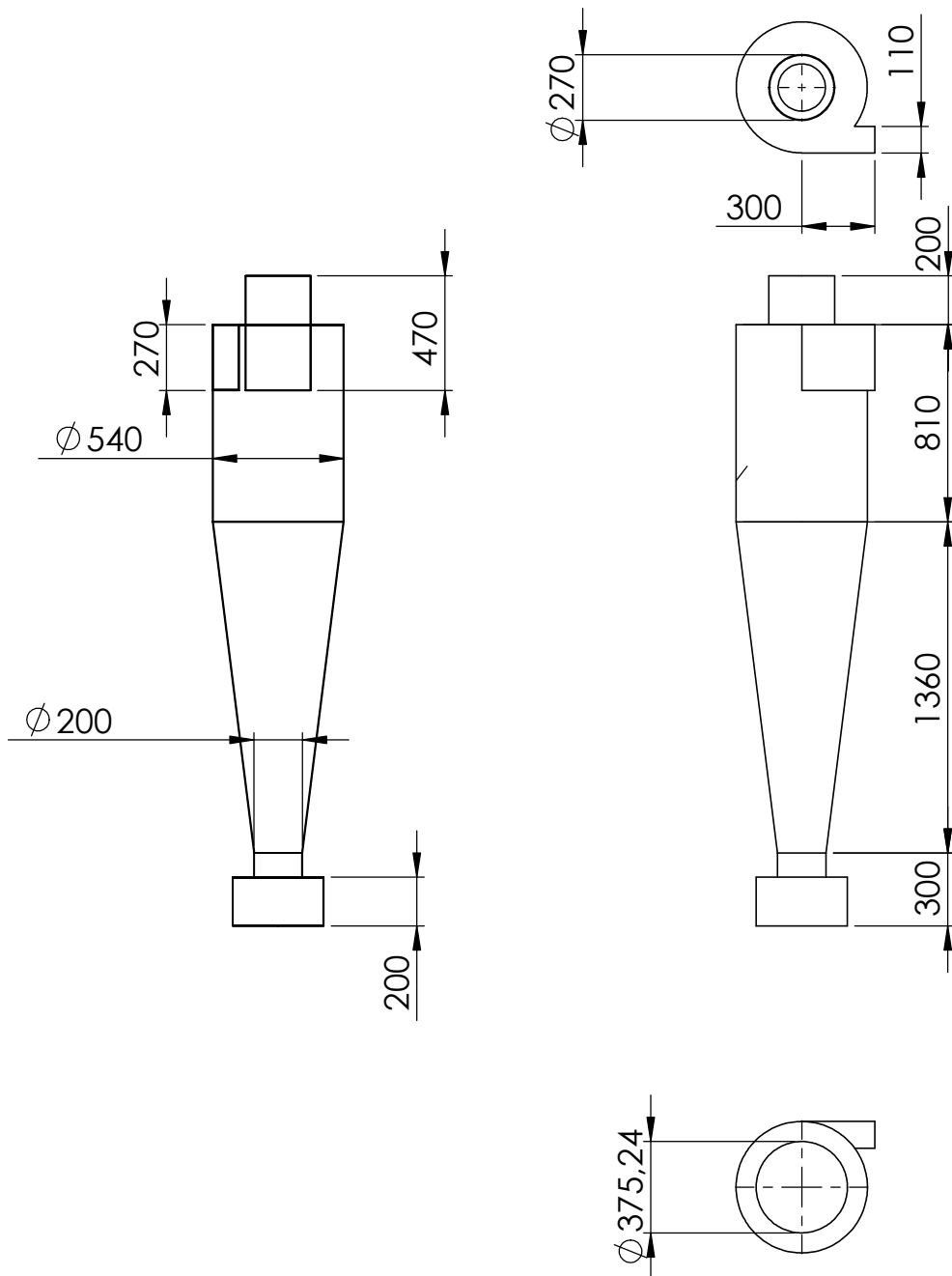
Estructura de cámara

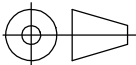
MATERIALES:

Acero ASTM A 36

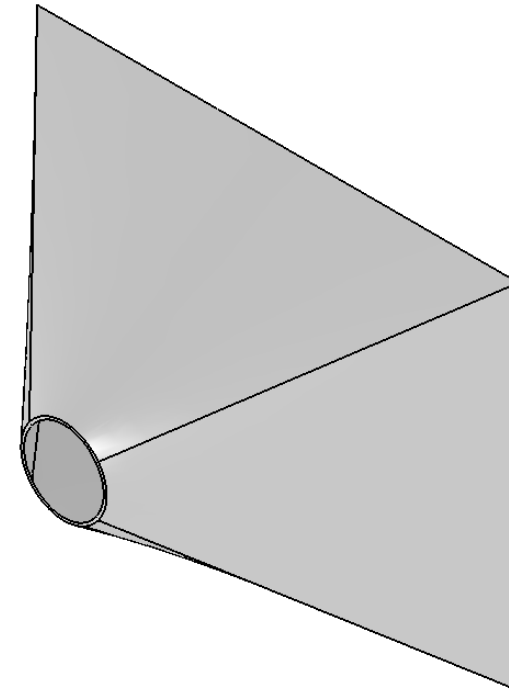
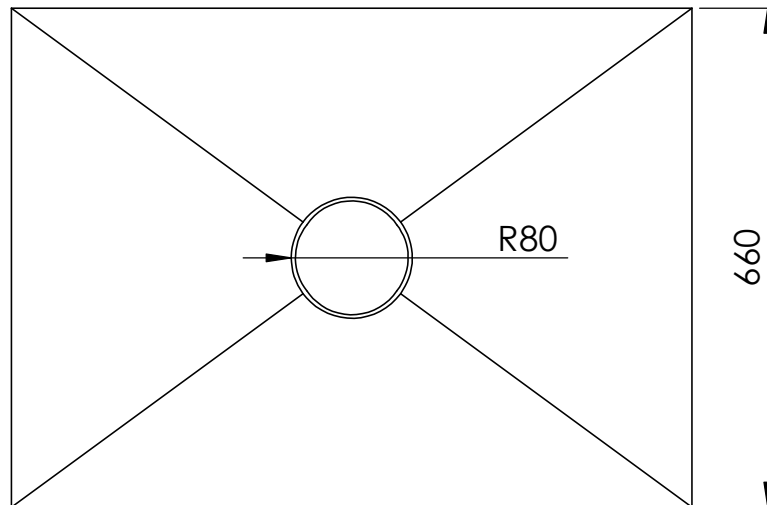
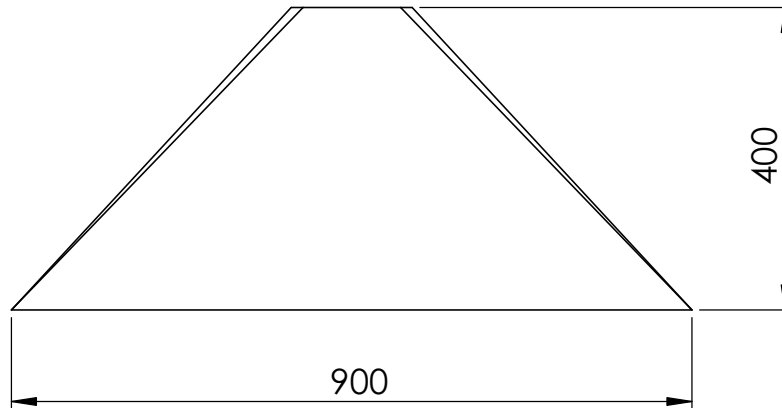
MASA (Kg):

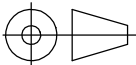
254.8

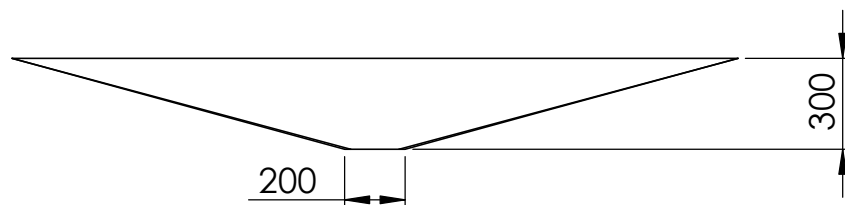
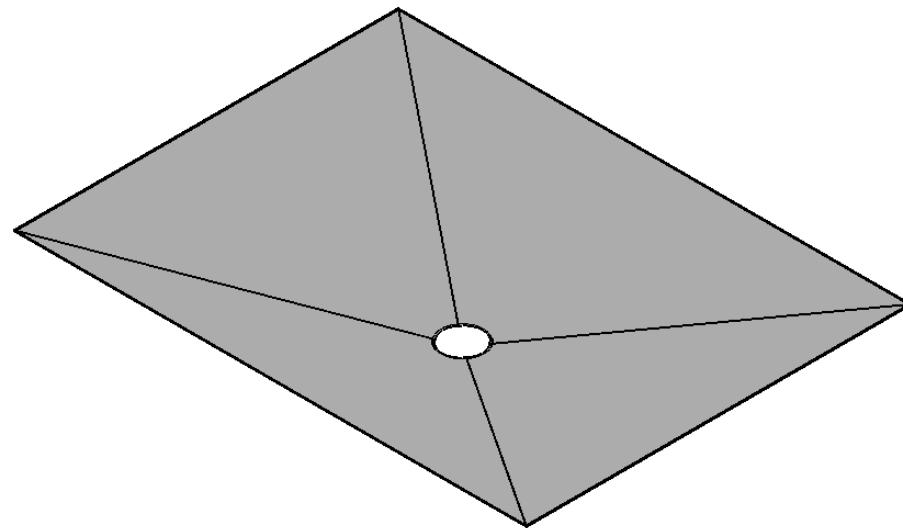
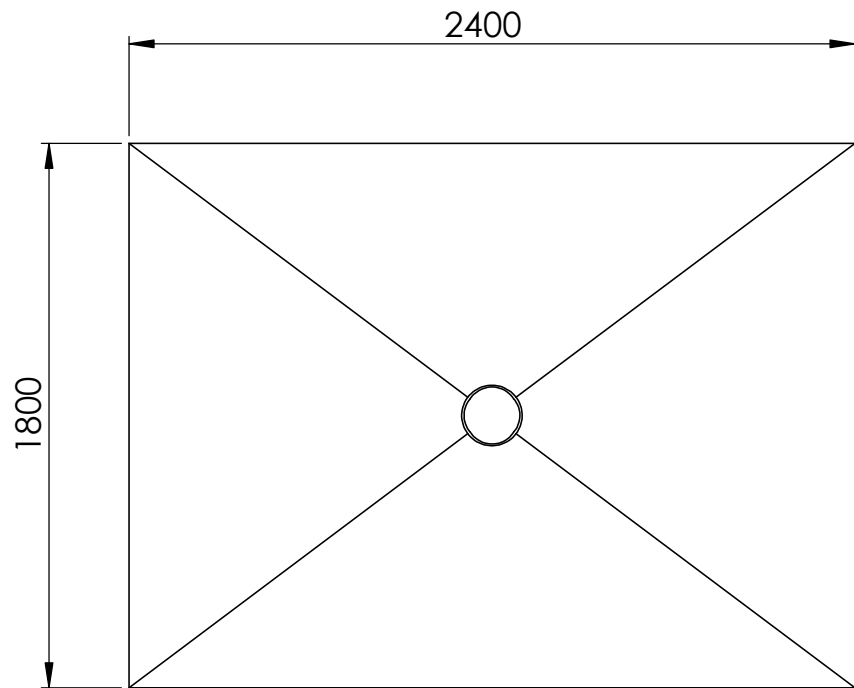


FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó: 17/08/12	C. Paredes
		Revisó: 18/04/12	Ing. Helguero
PROYECTO: Cámara de Pintura electrostática con recuperación de polvo		PLANO No:	
 PLANO No:	ESCALA:	CONTIENE: Ciclón	
		MATERIALES: Acero ASTM A 36	
		MASA (Kg):	93.48

2

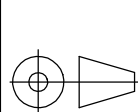


FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujó: 17/08/12	C. Paredes
Revisó: 18/04/12		Ing. Helguero	
PROYECTO: Cámara de Pintura electrostática con recuperación de polvo		PLANO No:	
 PLANO No:		3	
		MASA (Kg): 28.71	
ESCALA:		CONTIENE:	
		Campana de Extracción	
		MATERIALES:	
		Acero ASTM A 36	



FIMCP - ESPOL

PROYECTO: Cámara de Pintura electrostática con recuperación de polvo



ESCALA:

CONTIENE:

Tolva Piso

MATERIALES:

Acero ASTM A 36

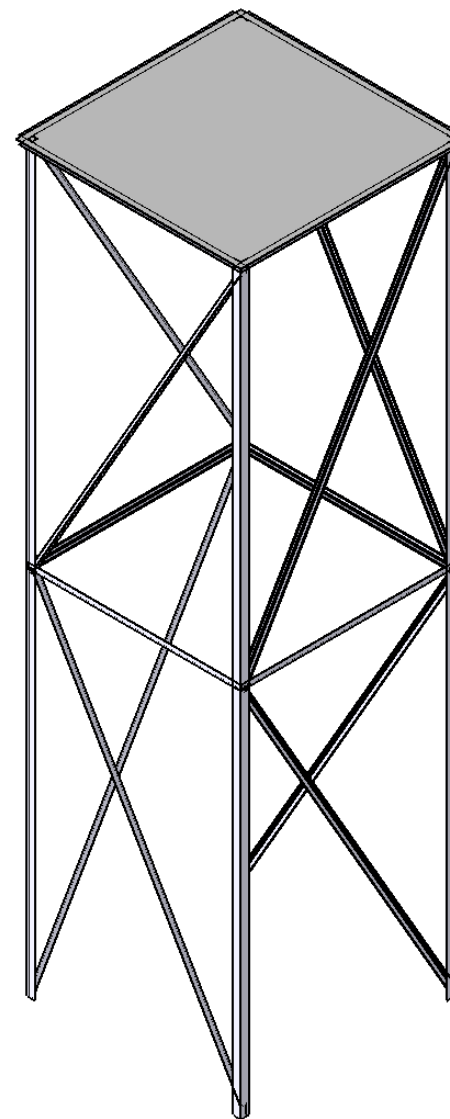
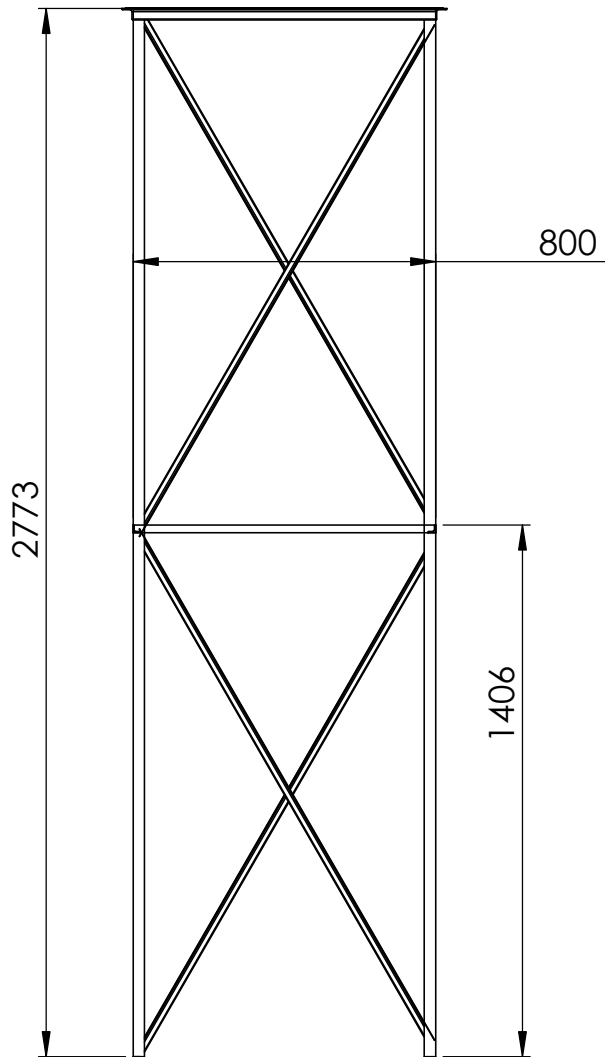
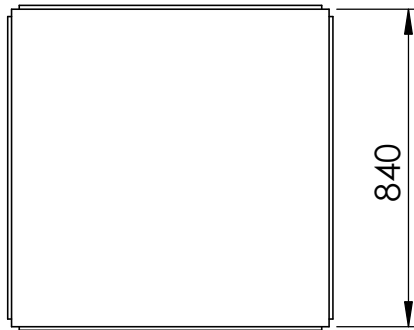
	FECHA	NOMBRE
Dibujó:	17/08/12	C. Paredes
Revisó:	18/04/12	Ing. Helguero

PLANO No:

4

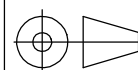
MASA (Kg):

93.48



FIMCP - ESPOL

PROYECTO: Cámara de Pintura electrostática con recuperación de polvo



ESCALA:

CONTIENE:

Soporte Ventilador

MATERIALES:

Acero ASTM A 36

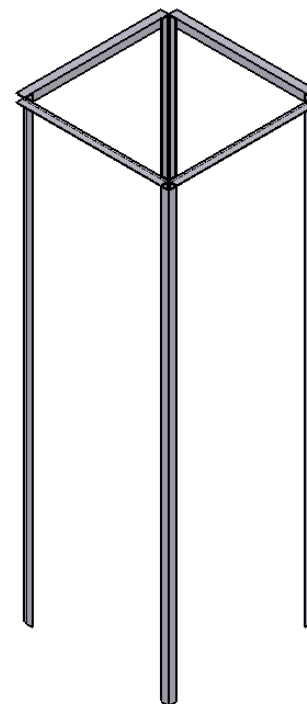
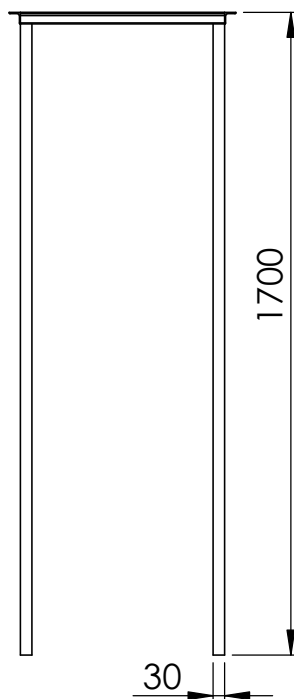
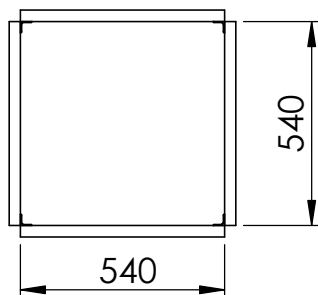
	FECHA	NOMBRE
Dibujó:	17/08/12	C. Paredes
Revisó:	18/04/12	Ing. Helguero

PLANO No:

5

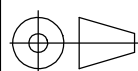
MASA (Kg):

101.8



FIMCP - ESPOL

PROYECTO: Cámara de Pintura electrostática con recuperación de polvo



ESCALA:

CONTIENE:
Soporte Ciclón

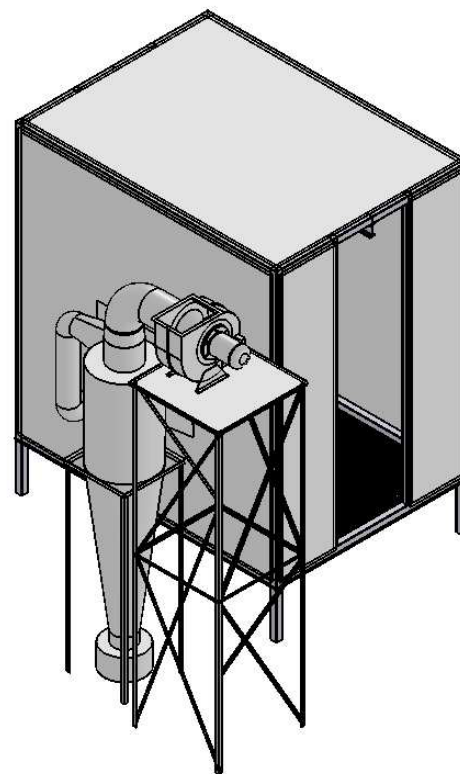
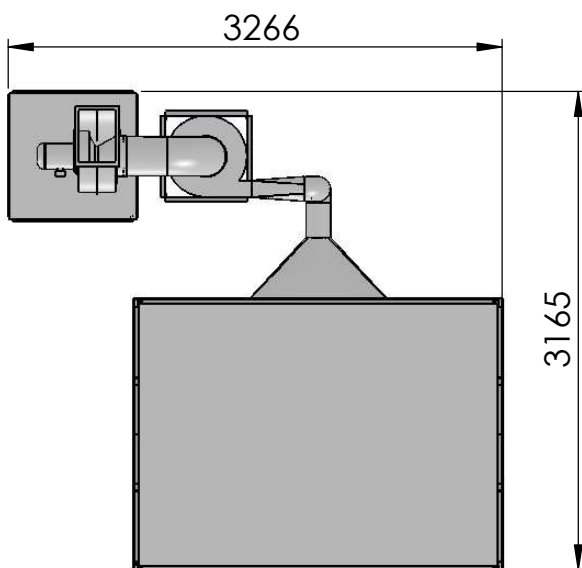
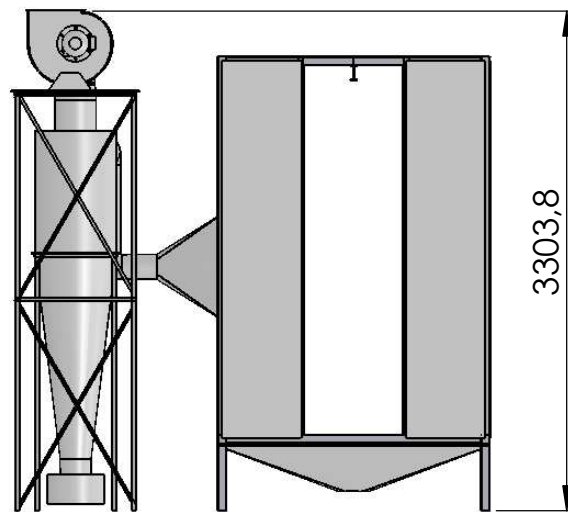
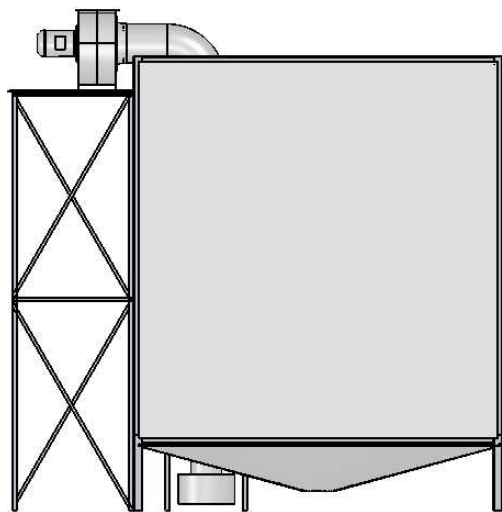
MATERIALES:
Acero ASTM A 36

	FECHA	NOMBRE
Dibujó:	17/08/12	C. Paredes
Revisó:	18/04/12	Ing. Helguero

PLANO No:

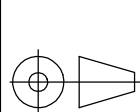
6

MASA (Kg):
16.26



FIMCP - ESPOL

PROYECTO: Cámara de Pintura electrostática con recuperación de polvo



ESCALA:

CONTIENE:

Plano General

MATERIALES:

Acero ASTM A 36

FECHA	NOMBRE
Dibujó: 17/08/12	C. Paredes
Revisó: 18/04/12	Ing. Helguero

PLANO No:

7

MASA (Kg):

983.4