



Universidad Tecnológica Nacional

FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA



**“CÁLCULO Y DISEÑO DE FILTRO DE
MANGAS (Tipo Pulse Jet)”**

PROYECTO FINAL

Correspondiente a la carrera de **Ingeniería Mecánica**

Presentado por:

Mauro Hernán Galíndez

Villa María Cba. - Argentina

Año - 2018



DEDICATORIA

Dedico esta Tesis a mis Padres cuyo esfuerzo y aliento fueron muy importante para mi carrera, a mi señora y mis dos hijos que me acompañaron en este largo camino, a mi hermana por su apoyo incondicional, a mi abuela Felisa que si bien ya no esta con nosotros sus consejos me animaron a seguir adelante, y a aquellas personas que de una u otra manera me alentaron para continuar en este camino de esfuerzo y sacrificio.

A todos ellos les agradezco profundamente y quiero decirles que sin su apoyo esto no hubiera sido posible. Gracias.



RESUMEN

En la presente tesis se realiza el diseño y cálculo de un filtro de mangas tipo “pulse jet”, aplicado en una planta de procesamiento de maní mas precisamente en el proceso de blanqueo; también se hace un análisis comparativo con otros sistemas colectores de polvo. Para tal fin es necesario que nos interioricemos en el conocimiento del producto, en su cadena productiva y en la importancia que tiene en la actualidad la implementación de sistemas que aseguren la calidad e higiene del mismo, como así también de todo el proceso involucrado.

El diseño de cualquier Sistema de Filtración requiere fundamentalmente el conocimiento del producto que se desea filtrar, sus propiedades físicas y químicas y las condiciones operativas del mismo, como temperatura, humedad y velocidad mínima de transporte; estos elementos nos orientaran en la selección del material filtrante. Por otro lado la maquinaria instalada nos determinara el caudal de aire requerido para cada proceso, y las perdidas de cargas originadas por la instalación.

Todos estos elementos que se mencionaron en el párrafo anterior, nos permitirán diseñar y calcular el Sistema de Filtración requerido, que es el desarrollo de este trabajo. Por otro lado se aborda el diseño del ventilador, en cuanto a su estructura soporte, eje, rodamientos y transmisión.



ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	Pág.	2
Resumen.....	Pág.	3
Índice de Contenido.....	Pág.	4
Abreviaturas y Simbología.....	Pág.	7
Índice de Ecuaciones.....	Pág.	11
Índice de Tablas.....	Pág.	13
Índice de Figuras.....	Pág.	14
Bibliografía.....	Pág.	16

CAPITULO 1

1. Introducción a la manufactura del maní.....	Pág.	17
1.1 Procesamiento del maní.....	Pág.	18
1.1.1 Cosecha y acondicionamiento.....	Pág.	19
1.1.2 Prelimieza.....	Pág.	19
1.1.3 Descascarado.....	Pág.	19
1.1.4 Selección y Calibrado.....	Pág.	20
1.1.5 Blanchado.....	Pág.	20
1.1.6 Almacenamiento del maní.....	Pág.	21

CAPITULO 2

2. Justificación de un Sistema Recolector de polvos.....	Pág.	22
2.1 Calidad del aire.....	Pág.	22
2.2 Técnicas y dispositivos de control para partículas líquidas y sólidas.....	Pág.	24
2.3 Colectores de Polvo.....	Pág.	27
2.4 Torres de limpieza húmeda.....	Pág.	27
2.4.1 Torres de aspersion.....	Pág.	30
2.4.2 Torres de aspersion ciclónica.....	Pág.	31
2.4.3 Torres de limpieza dinámica.....	Pág.	30
2.4.4 Torres de bandeja.....	Pág.	32
2.4.5 Torres de limpieza por Venturi.....	Pág.	33
2.4.6 Precipitador electrostático húmedo.....	Pág.	34



2.4.7	Otros tipos de torres lavadoras.....	Pág.	37
2.5	Sistemas secos.....	Pág.	38
2.5.1	Ciclones.....	Pág.	38
2.5.2	Colectores de polvo con Cartucho.....	Pág.	40
2.5.3	Filtros de Mangas.....	Pág.	42
2.5.4	Clasificación por su sistema de limpieza.....	Pág.	44
2.5.5	Colectores de mangas con limpieza por aire inverso.....	Pág.	48
2.5.6	Colectores de polvo tipo Plenum Pulse.....	Pág.	50
2.5.7	Otros tipos de filtros de mangas.....	Pág.	51

CAPITULO 3

3.	Teoría de Partícula y Medio Filtrante.....	Pág.	53
3.1	Comportamiento de la Partícula en Fluidos.....	Pág.	53
3.1.1	Fuerza de Arrastre.....	Pág.	54
3.1.2	Fuerza de Buoyantes.....	Pág.	56
3.1.3	Fuerza Gravitacional.....	Pág.	57
3.1.4	Fuerzas Externas.....	Pág.	58
3.1.5	Balance de Fuerzas en una Partícula.....	Pág.	58
3.2	Diámetro característico de la partícula.....	Pág.	59
3.3	Mecanismo de Colección de Partículas.....	Pág.	61
3.4	Características y Tipos de Medios Filtrantes.....	Pág.	63
3.4.1	Selección de la tela.....	Pág.	66

CAPITULO 4

4.	Consideraciones Preliminares de Diseño.....	Pág.	69
4.1	Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo.....	Pág.	69
4.2	Relación aire-tela.....	Pág.	71
4.3	Velocidad ascendente.....	Pág.	72
4.4	Caída de presión.....	Pág.	73
4.5	Arrastre a través del filtro.....	Pág.	75
4.6	Campana de captura.....	Pág.	80
4.7	Diseño de ductos.....	Pág.	81
4.8	Dimensionamiento de mangas.....	Pág.	85



4.8.1 Distancia entre mangas..... Pág. 86
4.8.2 Número de mangas por columna..... Pág. 86
4.8.3 Canastillas..... Pág. 87
4.8.4 Fijación de las mangas..... Pág. 88
4.8.5 Venturis..... Pág. 89
4.9 Tolva de descarga..... Pág. 90

CAPITULO 5

5. Diseño y calculo del filtro de mangas.....Pág. 91
5.1 Velocidad de asentamiento.Pág. 91
5.2 Relación aire-tela.....Pág. 92
5.3 Cantidad de aire requerido de acuerdo
al equipo a desempolvar..... Pág. 93
5.4 Área neta de filtración..... Pág. 94
5.5 Dimensión de la manga..... Pág. 94
5.6 Número de mangas..... Pág. 95
5.7 Velocidad ascendente..... Pág. 96
5.8 Pérdidas de carga..... Pág. 97
5.9 Dimensionamiento de los ductos..... Pág. 99
5.10 Selección del ventilador..... Pág. 103
5.11 Calculo de transmisión..... Pág. 105
5.12 Calculo del eje del ventilador..... Pág. 115
5.13 Selección y calculo de rodamientos..... Pág. 121
5.14 Selección de la electroválvulas del filtro..... Pág. 129
5.15 Cálculo estructural por elementos finito..... Pág. 131

ANEXO PLANOS..... Pág. 139



ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

ΔP :	Caída de presión total.
ΔPT :	Pérdida de Carga.
μ :	Viscosidad absoluta del fluido.
$\mu_g, 70^\circ F$:	Viscosidad absoluta del gas a temperatura ambiente.
Acfm:	Real pies cúbicos por minuto
ACGIH:	American Conference of Governmental Industrial Hygienist (Conferencia Americana de Higienistas Industriales)
a:	Longitud horizontal de panel (m).
A_i :	Área libre.
A_n :	Área Neta de Filtración.
A_{neta} :	Área neta de tela de filtración.
a_{SKF} :	Factor de ajuste de la vida.
β :	Velocidad de referencia.
C:	Capacidad de carga dinámica, KN.
C_e :	Coefficiente global de empuje.
CAM:	Cámara Argentina de Maní.
C_b :	Constante de flexión.
C_d :	Coefficiente de arrastre.
C_f :	Factor de corrección de Cunningham
CICA:	Centro de Información sobre Contaminación de Aire (México)
C_L :	Coefficiente de corrección por longitud.
C_m :	Número de mangas del filtro.
C_p :	Coefficiente de velocidad probable.
C_α :	Coefficiente de ángulo de contacto.
D:	Diámetro de la tubería. (m)
d_1 :	Diámetro de la polea menor.
Deq:	Diámetro equivalente.
$d_{g,masa}$:	Diámetro medio geométrico de masa.
Dm:	Diámetro de las mangas.
dp:	Diámetro de partícula.



EPA:	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos).
f :	Factor de fricción de Darcy. (adimensional)
F_{ac} :	Fuerza axial ejercida por las correas.
F_{ax} :	Fuerza total axial.
F_C :	Factor de pérdida de la campana.
F_f :	Fuerza de rozamiento.
g :	Aceleración de la gravedad $\approx 9,80665 \text{ m/s}^2$.
g :	Gramos.
gr :	Granos.
h :	Altura.
He :	Pérdidas a la entrada.
H_f :	Pérdida de carga debida a la fricción. (m)
h_{TV} :	Altura de presión total a entregar por el ventilador.
Hz :	Hertz
K :	Permeabilidad del filtro o de la capa de polvo.
K_1 :	Factor resistencia tela.
K_2 :	Factor resistencia partículas.
K_2 :	Permeabilidad de la capa de polvo.
K_e :	Valor extrapolado del filtro limpio.
K_f :	Coefficiente de reducción de resistencia a la fatiga.
K_{pa} :	Kilo Pascales.
K_s :	Pendiente, constante de las partículas de polvo, gas y tejido implicados en la filtración.
K_t :	Coefficiente de concentración de esfuerzo.
ku :	Factor por razón de transmisión.
KW :	Kilowatt.
L :	Longitud de la tubería. (m)
L_{10} :	Vida nominal (con un 90% de fiabilidad), millones de revoluciones.
L_{10h} :	Vida nominal (con un 90% de fiabilidad), horas de funcionamiento.
Le :	Carga másica o concentración de MP a la salida del dispositivo.
Li :	Carga másica o concentración de MP a la entrada del dispositivo.
L_m :	Longitud de la manga.
L_n :	Longitud de la correa.



λ :	Coefficiente de esbeltez.
m:	Exponente de la curva de fatiga.
mmH ₂ O:	Milímetros de columna de agua.
MP:	Material Particulado.
MP _c :	Razón de MP colectada.
MP _e :	Razón de MP entrante.
n:	Velocidad de giro, rpm.
N ₁ :	Potencia transmisible por correa.
N _D :	Potencia de diseño.
N _m :	Numero de Mangas.
P:	Carga dinámica equivalente del rodamiento, KN.
p:	Exponente de la ecuación de la vida.
P _d :	Presión Dinámica.
PEC:	Presión Estática de la Campana.
PEH:	Precipitador Electrostático Húmedo.
PES:	Precipitador Electrostático Seco.
P _j :	Presión del pulso de limpieza.
P _{min} :	Carga mínima.
PM10:	Partículas Menores a 10 micras.
Pot _a :	Potencia absorbida.
Pt.:	Presión Total.
PV:	Presión de velocidad.
q ₀ :	Presión dinámica básica.
Q _{aire} :	Caudal del aire con concentración de partículas.
Q _e :	Caudal de entrada.
q _z :	Presión dinámica de calculo.
Re:	Numero de Reynolds.
S:	Arrastre del filtro.
S ₀ :	Tensión estática de la correa.
S _a :	Esfuerzo alterno.
SAM:	Sector Agroindustrial Manisero.
Se:	Arrastre del filtro limpio.
S _e :	Esfuerzo equivalente.



S_{es} :	Esfuerzo equivalente para el esfuerzo cortante.
S_m :	Esfuerzo medio.
S_n :	Resistencia a la fatiga.
S_{ns} :	Resistencia a la fatiga para el esfuerzo cortante.
t :	Tiempo de operación.
T :	Temperatura.
T_C :	Par Torsor.
T_1, T_2 :	Fuerzas a la entrada de cada polea en el ramal de carga.
t_f :	Tiempo de filtración.
T_{fat} :	Fuerza límite de fatiga.
T_{fc} :	Fuerza normal en la correa por efecto de la fuerza centrífuga.
Ton :	Tonelada.
v :	Velocidad de la correa.
V :	Velocidad media del fluido. (m/s)
V_0 :	Velocidad básica de diseño.
V_a :	Velocidad ascendente.
V_f :	Velocidad de Filtración (Relación Aire – Tela)
V_t :	Velocidad de asentamiento.
W :	Modulo resistente.
W :	Densidad de área de polvo o densidad no real.
W_c :	Densidad de área de polvo reciclado
W_o :	Densidad de área de polvo últimamente depositado
W_t :	Acción resultante total sobre la estructura. (Kgf)
W_z :	Acción unitaria ejercida por el viento. (Kgf)
X_f :	Profundidad de la tela limpia del filtro.
X_p :	Profundidad de la capa de polvo.
Z :	Cantidad de correas.
η_v :	Rendimiento del Ventilador.
v_p :	Velocidad de partículas.
ρ :	Masa por metro de correa.
ρ_g :	Densidad del gas (aire).
ρ_L :	Densidad de la capa de polvo.
φ :	Coefficiente de tracción.

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ec. 3.1	Fuerza de arrastre.....	Pag. 54
Ec. 3.2	Fuerza de arrastre en flujo laminar.....	Pag. 55
Ec. 3.3	Coefficiente de arrastre.....	Pag. 55
Ec. 3.4 y 3.5	Coefficiente de arrastre corregido por el factor de Cunningham.....	Pag. 56
Ec. 3.6 y 3.7	Fuerza de Buoyantes.....	Pag. 57
Ec. 3.8 y 3.9	Fuerza gravitacional.....	Pag. 58
Ec. 3.10	Velocidad de asentamiento en régimen laminar.....	Pag. 59
Ec. 4.1 y 4.2	Relación aire-tela.....	Pag. 71
Ec. 4.3	Velocidad ascendente.....	Pag. 72
Ec. 4.4	Caída de presión a través del filtro de mangas.....	Pag. 73
Ec. 4.5	Ecuación de Darcy.....	Pag. 73
Ec. 4.6	Caída de Presión Total en términos de la ecuación de Darcy.....	Pag. 74
Ec. 4.7	Masa recolectada.....	Pag. 74
Ec. 4.8	Incremento del espesor.....	Pag. 75
Ec. 4.9	Caída de presión producida por el filtro limpio y la capa de polvo.....	Pag. 75
Ec. 4.10	Arrastre a través del filtro.....	Pag. 75
Ec. 4.11	Arrastre a través del filtro con constantes empíricas.....	Pag. 76
Ec. 4.12	Ecuación de arrastre de Dennis y Klemm.....	Pag. 77
Ec. 4.13	Caída de presión de un filtro de mangas tipo pulse-jet.....	Pag. 77
Ec. 4.14	Presión de limpieza de pulso.....	Pag. 78
Ec. 4.15	Caída de presión total del filtro en (pulg-H ₂ O).....	Pag. 78
Ec. 4.16 y 4.17	Permeabilidad de la capa de polvo (cm H ₂ O / m/s-Kg/m ²).....	Pag. 79
Ec. 4.18	Presión estática de campana.....	Pag. 80
Ec. 4.19	Diámetro equivalente de conducto rectangular.....	Pag. 83
Ec. 4.20	Relación largo – diámetro de la manga.....	Pag. 85
Ec. 4.21	Posición óptima del venturi respecto de la flauta.....	Pag. 89
Ec. 5.1	Rendimiento de un ventilador.....	Pag. 103



Ec. 5.2	Potencia absorbida por un ventilador.....	Pag. 103
Ec. 5.3	Potencia de diseño de una correa trapezoidal.....	Pag. 105
Ec. 5.4	Velocidad de una correa.....	Pag. 107
Ec. 5.5	Longitud de una correa.....	Pag. 108
Ec. 5.6	Ciclos de flexión de una correa.....	Pag. 109
Ec. 5.7	Potencia transmisible por correa.....	Pag. 109
Ec. 5.8	Cantidad de correas necesarias.....	Pag. 111
Ec. 5.9	Tensión de la correa.....	Pag. 112
Ec. 5.10	Vida útil de la correa.....	Pag. 112
Ec. 5.11	Eficiencia de la transmisión.....	Pag. 114
Ec. 5.12	Ecuación del esfuerzo cortante octaédrico.....	Pag. 117
Ec. 5.13	Momento torsor a transmitir por una chaveta.....	Pag. 121
Ec. 5.14	Longitud de la chaveta debido al esfuerzo cortante.....	Pag. 121
Ec. 5.15	Longitud de la chaveta debido al esfuerzo de compresión.....	Pag. 121
Ec. 5.16	Vida Nominal del rodamiento.....	Pag. 127
Ec. 5.17	Vida Nominal SKF del rodamiento.....	Pag. 128
Ec. 5.18	Presión dinámica básica.....	Pag. 133
Ec. 5.19	Presión dinámica de calculo.....	Pag.133
Ec. 5.20	Acción unitaria ejercida por el viento.....	Pag. 133
Ec. 5.21	Acción resultante total ejercida por el viento.....	Pag. 135

**INDICE DE TABLAS**

Tab. 1.1.	Participación del maní en el total de los cereales exportados.....	Pag. 17
Tab. 1.2.	Países destino de las exportaciones de maní.....	Pag. 18
Tab. 2.1.	Rango de partícula que atrapa en micras por equipo.....	Pag. 24
Tab. 2.2.	Relaciones de aire-tela recomendadas para diversos tipos de colectores de polvo.....	Pag. 44
Tab. 3.1.	Valores de C_f para aire a presión atmosférica.....	Pag. 56
Tab. 3.2.	Propiedades de las distintas telas.....	Pag. 66
Tab. 3.3.	Tipos y características de los acabados de telas comunes.....	Pag. 67
Tab. 3.4.	Tipos y características de los acabados para fibra de vidrio.....	Pag. 68
Tab. 4.1.	Cantidad de aire requerido en función del equipo a desempolvar.....	Pag. 70
Tab. 4.2.	Valores recomendados para las velocidades de captación.....	Pag. 80
Tab. 4.3.	Valores recomendados para las velocidades de transporte en conductos.....	Pag. 82
Tab. 4.4.	Diámetros equivalentes para conductos rectangulares.....	Pag. 83
Tab. 5.1.	Datos Preliminares de diseño.....	Pag. 91
Tab. 5.2.	Relaciones Gas-Tela para distintas aplicaciones.....	Pag. 92
Tab. 5.3.	Factor de aplicación según fabricantes.....	Pag. 93
Tab. 5.4.	Caudal requerido de aire para cada equipo.....	Pag. 94
Tab. 5.5.	Dimensiones, caudales y pérdidas de carga de tramos rectos.....	Pag. 100
Tab. 5.6.	Dimensiones, caudales y pérdidas de carga de accesorios.....	Pag. 102
Tab. 5.7.	Factores de servicio para correas.....	Pag. 106
Tab. 5.8.	Diámetros primitivos mínimos recomendados para poleas.....	Pag. 107
Tab. 5.9.	Factores de cálculo para correas de perfil normal.....	Pag. 109
Tab. 5.10.	Valores del coeficiente de ángulo de contacto.....	Pag. 111
Tab. 5.11.	Coeficientes para el calculo de la vida útil según el método GoodYear.....	Pag. 113
Tab. 5.12.	Características de válvulas y modelos.....	Pag. 130
Tab. 5.13.	Selección de la válvula.....	Pag. 130

**INDICE DE FIGURAS**

2.1-	Tamaños de partículas y ejemplos de partículas dispersas.....	Pag. 25
2.2-	Esquema de un dispositivo de control de la contaminación del aire.....	Pag. 26
2.3-	Clasificación de los colectores de polvo.....	Pag. 27
2.4-	Torre de limpieza húmeda.....	Pag. 28
2.5-	Torre de Aspersión.....	Pag. 30
2.6-	Torre de limpieza de aspersión ciclónica.....	Pag. 31
2.7-	Sección esquemática a través de una torre de platos perforados.....	Pag. 33
2.8-	Torre de Limpieza por Venturi con separador de ciclón y eliminador de rocío.....	Pag. 34
2.9-	Precipitador electrostático típico.....	Pag. 37
2.10-	Separador Ciclónico.....	Pag. 39
2.11-	Filtro Compacto con cartuchos montados verticalmente.....	Pag. 42
2.12-	Partes constitutivas de un filtro de mangas tipo Pulse-Jet.....	Pag. 43
2.13-	Sistemas de Sacudido mecánicos.....	Pag. 45
2.14-	Funcionamiento de un filtro de mangas con limpieza por sacudido mecánico.....	Pag. 46
2.15-	Montaje de las bolsas filtrantes.....	Pag. 47
2.16-	Funcionamiento de un filtro con limpieza por aire a la inversa.....	Pag. 49
2.17-	Montaje y construcción de filtros de aire inverso.....	Pag. 49
2.18-	Sección transversal de un sistema pulse-Jet.....	Pag. 51
3.1-	Coefficiente de arrastre para una esfera lisa en función del número de Reynolds.....	Pag. 54
3.2-	Acción de la Fuerza de arrastre.....	Pag. 55
3.3-	Fuerza de sustentación en diferentes fluidos.....	Pag. 57
3.4-	Balance de fuerzas.....	Pag. 58
3.5-	Esquema de un impactador de cascada.....	Pag. 60
3.6-	Mecanismos de recolección de la filtración por tela.....	Pag. 61
3.7-	Curvas de eficiencia fraccionaria de un filtro de tela.....	Pag. 63
3.8-	Tipos de telas de filtración.....	Pag. 64



3.9-	Etapas en la construcción de fieltros.....	Pag. 64
3.10-	Fibras de un filamento.....	Pag. 65
3.11-	Fibras de muchos filamentos.....	Pag. 65
3.12-	Las fibras de hilado.....	Pag. 65
3.13-	Las fibras de urdiembre.....	Pag. 65
3.14-	Las fibras de trama	Pag. 65
4.1-	Flujo ascendente y sección de Filtro de Mangas.....	Pag. 72
4.2-	Caudal de aire a través de la capa de polvo y de la tela.....	Pag. 74
4.3-	Curva típica de un filtro de mangas para diferentes grados de limpieza.....	Pag. 76
4.4-	Factor de pérdida FC en la entrada de la campana.....	Pag. 81
4.5-	Pérdida de carga (Pa/m) y (mmcda/m).....	Pag. 84
4.6-	Montaje recomendado de las mangas.....	Pag. 85
4.7-	Pellizco para manga.....	Pag. 86
4.8-	Numero de mangas por columna.....	Pag. 87
4.9-	Canastilla para mangas.....	Pag. 87
4.10-	Tipos de canastillas.....	Pag. 88
4.11-	Fijación de mangas con fleje metálico.....	Pag. 88
4.12-	Venturi para filtros de mangas Pulse-Jet.....	Pag. 89
4.13-	Ubicación de Venturi respecto a la flauta.....	Pag. 89
5.1-	Área de una manga.....	Pag. 95
5.2-	Dimensiones de la sección del filtro y distri. de mangas en [mm.].....	Pag. 97
5.3-	Recomendaciones para la selección del perfil de correas.....	Pag. 106
5.4-	Curva característica de tracción.....	Pag. 115
5.5-	Fuerzas sobre el eje.....	Pag. 116
5.6-	Fuerza axial actuante en un rotor en voladizo.....	Pag. 122
5.7-	Fuerzas axiales debido a una desalineación de poleas.....	Pag. 124
5.8-	Estructura soporte filtro de mangas.....	Pág. 131
5.9-	Esquema del procedimiento de cálculo.....	Pág. 132
5.10-	Característica de la construcción (Reglamento CIRSOC).....	Pág. 134
5.11-	Valores de coeficientes para construcciones prismáticas.....	Pág. 135
5.12-	Valores del coeficiente global de empuje C_e	Pág. 136
5.13-	Resultados de las tensiones sobre la estructura.....	Pág. 137
5.14-	Resultados de los desplazamientos.....	Pág. 137



BIBLIOGRAFIA

- 1- MANI: Informe Sectorial N° 1 (Lic. Carolina Blengino).
- 2- Maní, Guía Práctica para su Cultivo (Ing. Agr. Ricardo Pedelini INTA).
- 3- Guía básica a la tecnología de partículas. (Steven D. Kochevar, enero 2006).
- 4- Manual de Ingeniería Ambiental II (Elena Castro Martínez; Domingo Jiménez Beltrán).
- 5- Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias (*CONTRATO NO. 68-D-98-026 DE LA EPA ASIGNACIÓN DE TRABAJO NO. 0-08 Preparado por: Mr. Kenneth Woodard Integrated Policy and Strategies Group (MD-15) Air Quality Strategies and Standards Division U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711*).
- 6- Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire (EPA-452/F-03-059).
- 7- Handbook of Fabric Filter Technology. Volume 1. Fabric Filter System Study.
- 8- Controles de Materia Particulada (EPA 452/B-02-002).
- 9- Diseño de Tolvas para el Almacenamiento de Materiales Pulvulentos. Problemas asociados a la operación de descarga. (J.L. Amarós, G. Mallol, E. Sanchez, J. Garcia – ITC, AICE, Universitat Jaume I. Castellón. España.)
- 10- Operaciones de Transferencia de Masa (Robert E. Treybal-Mc Graw Hill)
- 11- Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas Segunda Edición (Claudio Mataix).
- 12- Manual Práctico de Ventilación (Salvador Escoda S.A.).
- 13- Cálculo y Diseño de sistemas de Ventilación (SODECA).
- 14- Manual Técnico de Instalación, Operación y Mantenimiento de Filtros de Mangas (VENTEC Ambiental Equipamientos e Instalaciones LTDA).
- 15- Diseño de Elementos de Maquinas (FAIRES).
- 16- Guía de Cálculo de Transmisión por Correa (Goodyear).
- 17- Catálogo General de Rodamientos (SKF)



CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN A LA MANUFACTURA DEL MANÍ.

Según indica la “Cámara Argentina de Maní”, el Sector Agroindustrial Manisero (SAM) esta radicado principalmente en la Provincia de Córdoba y constituye una economía regional emblemática para la Provincia, dedicada exclusivamente a la exportación ya que exporta el 95 % de su producción (estadísticas CAM sobre datos del año 2013). El maní es a la Provincia de Córdoba lo que la viña a Mendoza o la caña de azúcar a Tucumán.

En lo que respecta a la mano de obra, el Clúster manisero involucra cerca de 12.000 puestos de trabajo directos e indirectos, según datos tomados al año 2013. Los sectores vinculados con la producción manisera comprenden desde la fabricación de equipos y maquinaria agrícola industrial, hasta laboratorios de control de calidad, certificación y aseguramiento de la calidad, compañías de transporte, asesores de ingeniería, empresas de construcción y diversos servicios de comunicaciones e informática.

En cuanto a las exportaciones, el maní represento mas del 10% del total del monto de las exportaciones de la Provincia de Córdoba en el año 2012, alcanzando volúmenes de exportación cuya facturación supero los 1.000 millones de dólares. El volumen de estas exportaciones significo el 1,5% del total de las exportaciones argentinas de cereales del año 2013.

Participación del Maní en el Total de las Exportaciones			
Año	2011	2012	2013
Cereales (Ton)	28.347.514	36.554.206	30.040.257
Maní	529.613	479.487	460.036
% Participación	1,87%	1,31%	1,53%

Fuente: Sistema de Información Estadística del SeNaSA – Arg.

Tabla 1.1- Exportaciones del maní en relación a los cereales

El volumen de exportaciones, que antes era cíclico y concentrado en algunos meses del año, es ahora menos estacional y repartido a lo largo del año gracias a la inversión de depósitos de frio y la utilización de variedades con altos contenidos de acido oleico, lo que le da al producto terminado mayor estabilidad (shelf life).

Gracias a la gran inversión en tecnología y a los rigurosos procedimientos de control de calidad, Argentina ha logrado una excelencia en el producto final muy difícil de superar. Esto le permitió aumentar el destino de las exportaciones en más de un 26%, alcanzando para el año 2013 un



total de 106 países. Desplazando a China, India y los Estados Unidos, Argentina se ha consolidado como el mayor exportador mundial de maní.

Países destino de las exportaciones de maní	
AÑO	Cantidad de Países
2011	84
2012	97
2013	106

Tabla 1.2- Incremento de países entre 2011 y 2013

Todo el esfuerzo del sector y principalmente la excelencia de sus productos, ha permitido que mantenga un diferencial de precios que, a pesar de las fluctuaciones del mercado, implique un aumento en la generación de divisas del país, creciendo a una tasa de aumento de la actividad del 14,8% sobre la base del año 2008 según la estadística publicada por el INDEC.

1.1 Procesamiento del Maní

El producto final obtenido o que se espera obtener en este tipo de manufactura, es el maní apto para el consumo humano y en especial el maní “confitería”. Para lograr esto es necesario llevar a cabo una serie de cuidados y controles a lo largo de toda la cadena productiva, que garantice el nivel de calidad esperado del producto final y que cumpla con los estándares internacionales que exige el mercado actual.

La rentabilidad de un cultivo de maní, depende del rendimiento y de la calidad del producto cosechado. Los principales factores de manejo del cultivo, determinantes del rendimiento final y de la calidad de los granos cosechados, son entre otros:

- a) Elección del lote.
- b) Rotación de cultivos.
- c) Fertilidad del suelo.
- d) Laboreo del suelo.
- e) Elección del cultivar.
- f) Implantación del cultivo.
- g) Control de malezas.
- h) Control de insectos.
- i) Control de enfermedades.
- j) Riego suplementario.
- k) Arrancado.
- l) Cosecha.
- m) Secado
- n) Almacenamiento



A esta lista de la cadena productiva podemos agregar las distintas etapas del proceso productivo realizado en Planta, como son: prelimpieza, descascarado, selección y calibrado y blanchado. Para no ahondar en temas que escaparían a los objetivos de este trabajo, se hará una descripción breve de los procesos comenzando por la cosecha y acondicionamiento del maní.

1.1.1 Cosecha y acondicionamiento

La cosecha del maní se lleva a cabo una vez lograda la madurez del grano, el momento ideal es cuando la mayoría de las vainas a logrado su máximo peso y aun no han comenzado a desprenderse. La oportunidad del arrancado no solo esta relacionada con la madurez del cultivo, sino con las condiciones ambientales de ese periodo. Largos periodos de lluvia o elevada humedad ambiental durante el arrancado resultan en perdidas de rendimiento y deterioro de la calidad del maní.

Cuando el maní es arrancado, tiene una humedad que oscila entre 35 y 45%. Para un almacenamiento seguro es necesario disminuir esa humedad hasta 8 o 10%. Actualmente el secado del maní es uno de los pasos mas importantes en el proceso de obtención de maní de alta calidad.

En la Argentina hay dos sistemas de secado en uso. El “secado estacionario”, que se realiza en acoplados diseñados para tal fin y el “secado continuo”, que a diferencia del anterior se caracteriza por tener el material a secar en permanente movimiento. Con ambos sistemas se logra disminuir la humedad de las vainas con sus respectivas ventajas e inconvenientes.

1.1.2 Prelimpieza

El maní llega a las Plantas de proceso tal como ha sido arrancado del campo, por lo que trae consigo muchos elementos indeseados. El proceso de prelimpieza consiste en realizar una primera separación de impurezas y cuerpos extraños, tales como palos, alambres, piedras y metales que no se desean encontrar en la línea de producción. Generalmente la zona de prelimpieza se encuentra alejada de la zona de producción principal, debido a que este procedimiento es muy “sucio” y comprometería la calidad en la obtención del producto final. Luego del proceso de prelimpieza las vainas de maní son llevadas por medio de cintas transportadoras a celdas de almacenamiento, donde luego serán transportadas por cinta o carros a la zona de producción. La primer etapa en la zona de producción principal cuenta con una segunda etapa de limpieza antes de ingresar a la zona de descascarado.

1.1.3 Descascarado

Una vez que se ha obtenido la vaina limpia se la introduce a la descascaradora. Esta maquina cuenta con una serie de cilindros (de 3 a 8) cuya función es la de romper la vaina liberando el



grano de maní. Estos granos pasan luego por unos cajones de zarandas que separan los granos de maní de aquellas vainas que no se alcanzaron a romper, estas vainas retornan a la descascaradora por medio de una noria de retorno. Luego el maní pasa por unas trampas magnéticas donde quedan retenidos los metales ferrosos que puedan haber llegado hasta este punto del proceso. Finalmente los granos de maní siguen su camino hacia el proceso de selección calibrado.

1.1.4 Selección y calibrado

La calibración de los granos se lleva a cabo por medio de zarandas que poseen unos orificios normalizados y que determinaran el tamaño del maní. El maní tipo Runner es el maní descascarado con piel y presenta los siguientes tamaños: 38/42 - 40/50 - 50/60 - 60/70 - 70/80, estos números indican la cantidad de granos cada 100 gr., es decir que el valor 38/42 corresponde al tamaño que contiene entre 38 y 42 granos en 100 gr. y es al maní de mayor tamaño.

La selección de los granos de maní se lleva a cabo por medio de selectoras electrónicas que realizan la selección en función del color la textura y la forma. Estos equipos tienen una gran precisión y una elevada velocidad de trabajo, lo que permite obtener una excelente selección de grano. Antiguamente este trabajo se realizaba a mano por personas que separaban los granos no deseados, este proceso era llamado “picoteo” y aun es empleado en algunas industrias.

1.1.5 Blanqueado

Luego de que el maní ha sido calibrado y seleccionado se obtienen, según su presentación, los siguientes tipos: *MANI PARA LA INDUSTRIA ACEITERA*, *MANI TIPO CONFITERIA* y *MANI PARTIDO*.

El maní que pasa por el proceso de blanqueado es el maní tipo confitería, dentro del cual también tenemos el partido. Estos se descargan en tolvas que alimentan a un horno, donde atraviesan 4 zonas de calor con temperatura en forma ascendente entre 75° y 90°C. Luego atraviesa 2 zonas a temperatura ambiente, que permite la contracción del grano y el desprendimiento de la piel. Cuando sale del horno es llevado por sistema de transportes y cintas de elevación a una tolva que alimenta a las maquinas peladoras. Estas máquinas poseen unos rolos con superficie rugosa para retener y quitar la piel del grano de maní, una vez realizado este proceso, el maní toma un color característico semejante al marfil. Luego los granos pasan por otro proceso de selección, donde selectoras electrónicas bicromáticas de alta resolución, identifican pequeñas manchas o granos con daños visibles. El rechazo de la electrónica es transportado en elevador hasta la tolva que alimenta nuevamente al pelador. El maní aceptado es transportado hacia el elevador de embolsado, pasando luego por trampas magnéticas para la retención de posible metales ferrosos que



puedan llegar a este punto del proceso y separando el maní entero del partido, que se embolsaran por separado.

Por ultimo, el producto es cargado en contenedores de 20 o 40 pies según solicitud de cliente, en Big Bags o bolsas de 50 o 25 Kg. Cada lote producido es calado por laboratorios externos para realización de análisis químicos y físicos. Los lotes son estibados sobre tarima y estanterías Racks en el sector destinado para almacenamiento de maní blanched. El Big Bag es pesado manualmente con 1250 Kg. de capacidad.

1.1.6 Almacenamiento del maní

Para proteger la calidad e impedir la formación de mohos deberá mantenerse un ambiente con una humedad relativa entre 55% y 65%. Un solo valor de actividad acuosa puede corresponder a diferentes niveles de humedad en diferentes variedades de maní. Por tanto, los países productores deberán determinar para cada una de sus variedades de maní, el nivel de humedad que corresponda a un valor seguro de actividad acuosa, indicado en el Código. Estos valores de humedad podrán después utilizarse como normas locales para el control en el campo. No deberá almacenarse maní a una distancia menor de 0,50 metros (1 1/2 pies) de cualquier pared exterior. Deberá mantenerse un programa activo destinado a detectar y controlar los riesgos que presentan las paletas húmedas, paredes y suelos húmedos, humedad en la parte superior durante el almacenamiento, condensación, carga y descarga en condiciones de humedad, factores, todos ellos que conducen a la absorción de humedad y formación de mohos. Puede impedirse la formación de mohos toxígenos procediendo a embalar los productos de manera que se hayan desecado hasta el "grado seguro de actividad CAC/RCP 22-1979 Página 16 de 16 acuosa" o almacenándolos a una temperatura suficientemente baja para impedir la formación de moho. Los productos de maní expuestos durante el almacenamiento pueden mantenerse o desecarse hasta un "grado seguro de actividad acuosa" controlando la humedad relativa del aire circulante.

Cuando se use el almacenamiento refrigerado, se debe tener en cuenta que la actividad acuosa del maní descascarado aumenta conforme sube la temperatura, cosa que no debe olvidarse cuando se cambian las temperaturas de almacenamiento. Cuando la temperatura de almacenamiento del maní se cambie, por ejemplo, maní frío que se transfiere a una zona de alta humedad o viceversa, deberá tenerse mucho cuidado en evitar que la humedad se condense sobre el maní.



CAPITULO 2

2. JUSTIFICACIÓN DE UN SISTEMA RECOLECTOR DE POLVOS.

Es importante conocer toda la cadena productiva del maní para poder comprender la importancia que tiene mantener las buenas condiciones de higiene del producto, desde su manipulación en la granja hasta el transporte, proceso de producción y almacenamiento. Actualmente las normas y estándares internacionales referidas a este punto son muy estrictas, por lo que para competir a ese nivel resulta más que necesario, sino fundamental, la implementación de un sistema sanitario integral, que contemple entre otras cosas la “calidad del aire”. Aquí entran en juego los sistemas de desempolvados como los colectores de polvo, que tienen la función de controlar y garantizar la “calidad del aire”, lo que permite al personal de Planta trabajar bajo condiciones de salubridad y que el producto final (en este caso el maní) llegue en óptimas condiciones de limpieza al consumidor final.

2.1 Calidad del aire.

La calidad del aire está regulada en cada país por reglas y normas determinadas por organismos e instituciones nacionales. En nuestro país la **Ley Nacional 20.284/73** de preservación del recurso aire define a la contaminación del aire como:

“...la presencia en la atmósfera de cualquier agente físico, químico o biológico o de combinaciones de los mismos en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, seguridad o bienestar de la población, o perjudiciales para la vida animal y vegetal, o impidan el uso y goce de las propiedades y lugares de recreación”.

Por su parte, la **Ley del aire limpio de los Estados Unidos de Norteamérica** se refiere a: *“...la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes en cantidad y duración tales que sean o tiendan a ser perjudiciales a la salud o el bienestar humanos, la vida de los animales o plantas, o que interfieran el goce de la vida o la propiedad”.*

Los contaminantes se clasifican en Biológicos, Físicos y Químicos; estos pueden provenir de distintas fuentes tales como:

- a) **Fuentes Puntuales**, una fuente puntual se refiere a una fuente en un punto fijo, con ubicación georeferenciable. Existe una gran cantidad y variedad de fuentes estacionarias de contaminación del aire: plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo, fábricas, etc.



- b) **Fuentes de área**, las fuentes de área se refiere a una serie de fuentes pequeñas, numerosas y dispersas, que no pueden ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales, pero que en conjunto pueden afectar la calidad del aire en una región, por ejemplo: el uso de madera para cocinar o calentar la casa, las imprentas, las estaciones de servicio, y las tintorerías, etc.
- c) **Fuentes Móviles**, las fuentes móviles incluyen a las diversas formas de transporte tales como automóviles, camiones y aviones, etc. Son fuente de CO, NO_x, COVs y MP. La principal fuente móvil de contaminación del aire es el transporte terrestre por la cantidad siempre creciente de vehículos, y de ellos los motores gasoil por su mayor emisión de material particulado.
- d) **Fuentes Naturales**, Además de las actividades humanas, los fenómenos naturales y la vida animal y vegetal pueden aportar cantidades relevantes de contaminantes al aire. Se reconocen dos fuentes naturales significativas, que son comúnmente consideradas en los inventarios de emisiones atmosféricas: **Emisiones Biogénicas**: Conjunto de emisiones de origen vegetal, que varía en su composición según las especies consideradas, consistentes en distinto tipos de COVs, tales como terpenos, alcoholes, aldehídos y cetonas. **Emisiones de Suelos**: El óxido nitroso (N₂O) es producido naturalmente en los suelos como parte de los procesos de desvitrificación (eliminación microbiológica del nitrógeno del suelo). Dicha emisión se incrementa en zonas agrícolas debido al uso de fertilizantes nitrogenados. Las emisiones de NO_x provenientes de los suelos constituyen un 16% de la cantidad global de NO_x en la tropósfera.

En nuestro caso nos interesa saber cuales son los contaminantes que debemos filtrar y que características tienen. Esto por un lado nos permitirá seleccionar el correcto sistema de filtrado y por otro lado nos dirá los cuidados que deberemos tener.

El material particulado (MP) que podemos encontrar se presenta en dos grandes categorías, **sedimentables** (partículas mayores a 100 µm.) y **en suspensión** (partículas menores a 100 µm). Dentro del MP en suspensión tenemos la fracción inhalables PM₁₀ (partículas menores a 10 µm). Y la fracción respirable PM_{2,5} (partículas menores a 2,5 µm).

Más del 80% de las MP, tienen un origen natural como: arrastre de polvo por el viento, incendios forestales, erupciones volcánicas, pólenes y Microorganismos. Las partículas gruesas están compuestas por sustancias de origen mineral, la composición química de las mismas incluye silicatos y



elementos como aluminio, potasio, hierro, calcio, otros del grupo alcalino-térreos y otros de transición. También se han encontrado en esta fracción cantidades importantes de compuestos orgánicos y algunos carbonatos. Como ejemplo de estas podemos citar: polvo ambiental, polen, cenizas volantes, carbón y operaciones de agricultura. Por otro lado las partículas finas contienen considerables cantidades de sulfatos, amonio, nitrato, carbón elemental, y compuestos orgánicos condensados. Como ejemplo podemos citar humos y polvos metalúrgicos, procesos de combustión como escape de vehículos y chimeneas.

2.2 Técnicas y dispositivos de control para partículas líquidas y sólidas

El material particulado incluye pequeñas partículas líquidas y sólidas y también es referido como humo, polvo, vapor o neblina. Las partículas con menos de 10 y 2,5 micrómetros de diámetro son reconocidas como contaminantes criterio. Estas pequeñas partículas tienen un efecto mucho mayor sobre la salud humana que las partículas más grandes. Las técnicas de control para las partículas se centran en capturar las partículas emitidas por una fuente contaminante.

Antes de elegir un dispositivo de control de partículas se deben considerar muchos factores. Usualmente, las partículas son recogidas y encauzadas por un canal o chimenea. Las características de la corriente de partículas afectan la elección del dispositivo de control. Estas características incluyen la variedad del tamaño de las partículas en la corriente de escape, la tasa de flujo del escape, temperatura, contenido de humedad y propiedades químicas del flujo de la corriente de escape como capacidad explosiva, acidez, alcalinidad e inflamabilidad.

Los dispositivos de control más usados para controlar la emisión de partículas son: Precipitadores electrostáticos, Filtros, Lavadores Venturi, Cámaras de sedimentación, Ciclones, Filtros de Papel, Filtros de Tela.

A modo orientativo se presenta el siguiente cuadro, donde se indica el rango de partícula a atrapar en función de la tecnología de retención utilizada.

EQUIPO	RANGO DE PARTICULA QUE ATRAPA EN MICRAS
Precipitadores electrostáticos	0.01 a 90
Torres empacadas	0.01 a 100
Filtros de papel	0.005 a 8
Filtros de tela	0.05 a 90
Lavadores de gases	0.05 a 100
Separadores centrifugo	5 a 1000
Cámaras de sedimentación	10 a 10000

Tabla 2.1

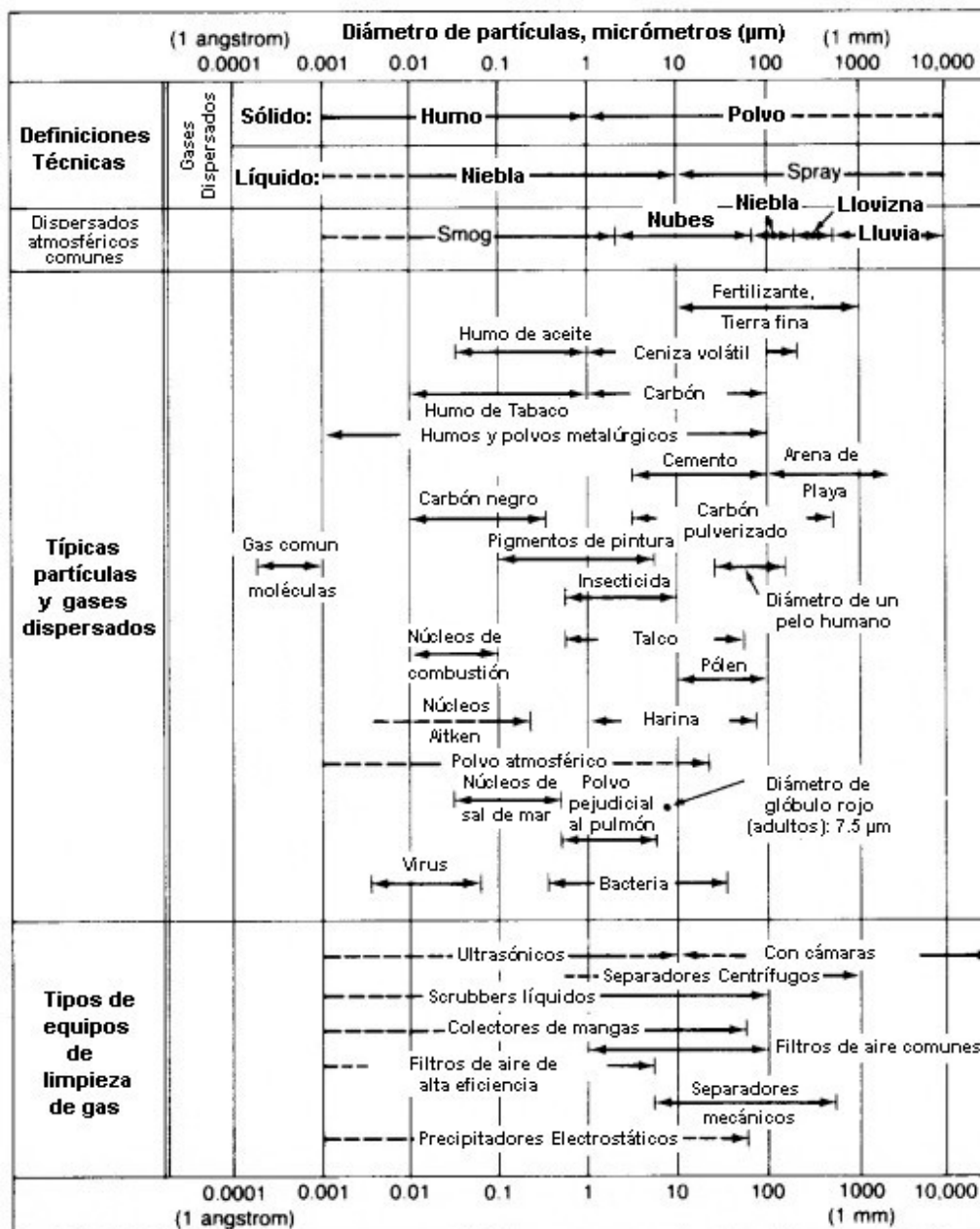


Figura 2.1. -Tamaños de partículas y ejemplos de partículas dispersas.

Muchos aparatos colectores trabajan mejor con MP gruesa que con MP fina, esto se debe a la distribución de tamaño de partículas. Como se ilustra en la Fig. 2.1, las partículas que pueden ser recolectadas, pueden ser mucho más pequeñas que el diámetro de un pelo humano (50 a 150 µm), y aun más pequeñas que el diámetro de un glóbulo rojo de un humano adulto (aproximadamente de 7.5 µm). Si la MP emitida consiste de en su mayor parte de partículas mayores a 20 µm, entonces la tarea de colección es mucho más fácil que si la distribución de MP está promediada alrededor de partículas menores a 5 µm. En los dos casos, probablemente se debe usar dos tipos diferentes de dispositivos de control. Si las temperaturas y humedades de las dos corrientes del gas son realmente diferentes, entonces también deben ser usados diferentes dispositivos de control. Un solo dispositivo de control de



MP, generalmente trabaja mejor en partículas grandes, más densas y las colecta con una eficiencia superior que si trabajara con partículas más ligeras y más pequeñas. Por consiguiente, el dispositivo exhibirá una eficiencia superior con partículas de mayor tamaño que con partículas más pequeñas.

Para determinar la eficiencia global de la colección del dispositivo es usualmente importante saber algo acerca de la distribución de tamaño de partículas. En todos los casos, la eficiencia de colección de MP se basa en el porcentaje de masa entrante de MP que es quitada de la corriente del gas. La eficiencia de colección se calcula como:

$$\eta = \frac{MP_c}{MP_e} \times 100 \%$$

Donde:

η : Eficiencia de colección de partículas. [%]

MP_c : Razón de MP colectada.

MP_e : Razón de MP entrante.

Los equipos de control de contaminación del aire operan en una corriente continua de aire o gas contaminado. El flujo polvoriento de gas fluye dentro del dispositivo, y la mayor parte de las partículas son separadas de la corriente del gas y coleccionadas como sólidos, mientras que el gas aparentemente limpio continúa a través del dispositivo, tal como se observa en la *Fig. 2.2*

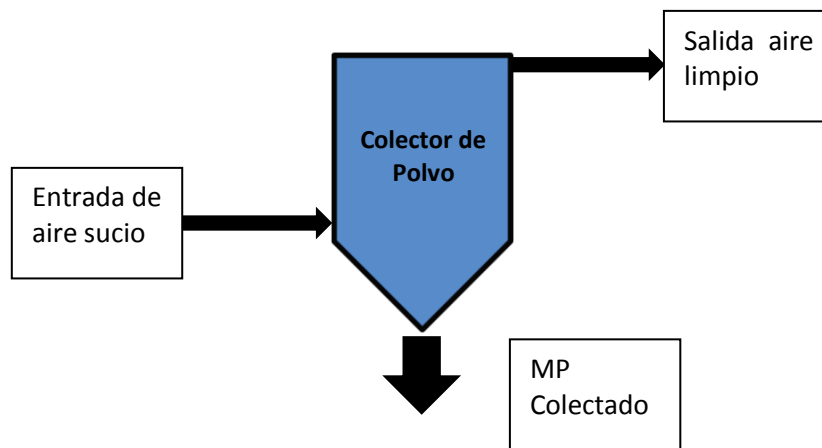


Figura 2.2. -Esquema de un dispositivo de control de la contaminación del aire.

El flujo volumétrico de gas, normalmente es el mismo a la entrada y a la salida del dispositivo. Por eso la eficiencia de colección puede calcularse también basada en las cargas máscas (o las concentraciones) de partículas en la entrada y la salida de la corriente de gas:

$$\eta = \frac{L_i - L_e}{L_i} \times 100 \%$$

Donde:

L_i : Carga másica o concentración de MP a la entrada del dispositivo. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

L_e : Carga másica o concentración de MP a la salida del dispositivo. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

2.3 Colectores de Polvo

El colector de polvo es un sistema que mejora la calidad del aire liberado por procesos industriales o comerciales mediante la recolección de polvo y otras impurezas de un gas o aire. En términos generales, podemos clasificar a los colectores de polvo en dos grandes grupos, húmedos y secos tal como se indica en la *Fig. 2.3*

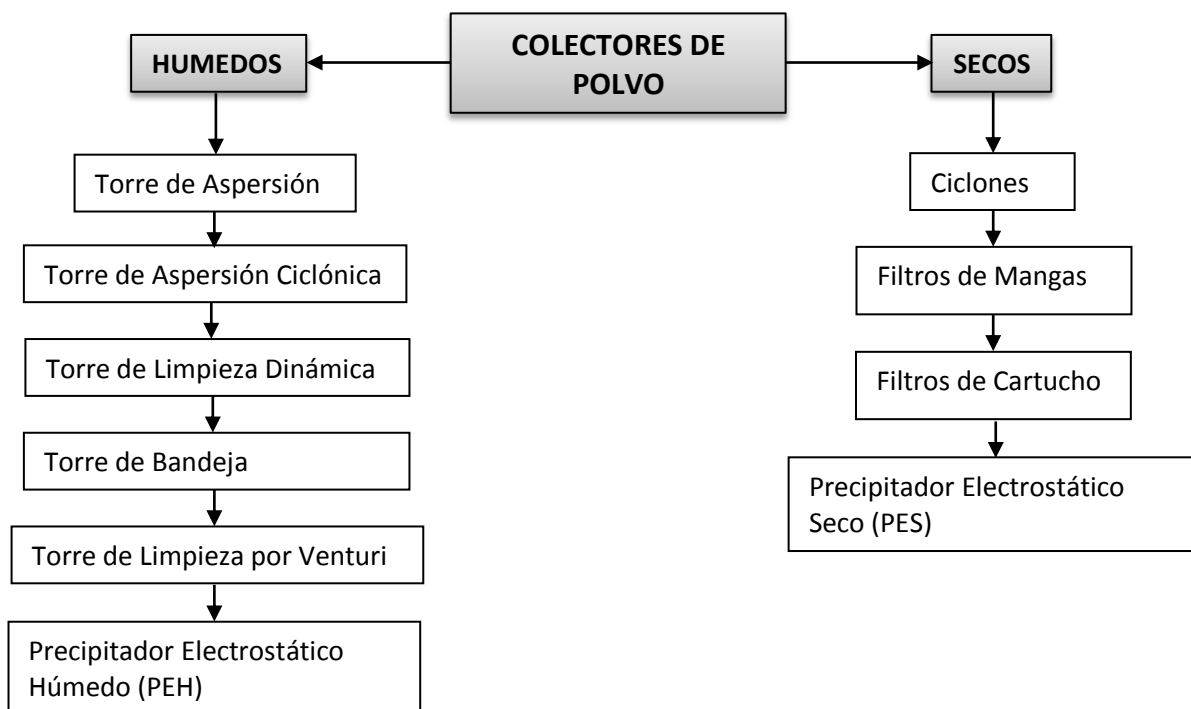


Figura 2.3. Clasificación de los colectores de polvo

A continuación se describirá cada uno de ellos para conocer sus características principales, principio de funcionamiento y sus ventajas y desventajas. Comenzaremos por la descripción de las torres de limpieza húmedas, que comprenden desde la torre de aspersión hasta la torre de limpieza por Venturi.

2.4 Torres de Limpieza Húmeda

Son dispositivos de control de la contaminación del aire que remueve MP y gases ácidos de las corrientes de gases residuales de fuentes fijas. Los contaminantes son removidos principalmente a través del impacto, difusión, intercepción y/o absorción del contaminante sobre pequeñas gotas de líquido. El líquido conteniendo al contaminante, es a su vez recolectado para su disposición. Hay

numerosos tipos de torres de limpieza húmedas las cuales remueven tanto el gas ácido como la MP. Mientras que un ciclón mueve entre 10 y 50 μm , una torre lavadora (también llamado así) puede mover partículas entre 0.2 y 10 μm .

Las eficiencias de recolección de las torres de limpieza húmedas varían con la distribución del tamaño de partícula de la corriente del gas residual. En general, la eficiencia de control disminuye a medida que el tamaño de la MP disminuye. Las eficiencias de recolección también varían con el tipo de torre de limpieza utilizada. Las eficiencias de control varían desde más del 99% en torres de limpieza por Venturi hasta 40-60% (o menores) en torres de aspersión sencillas.

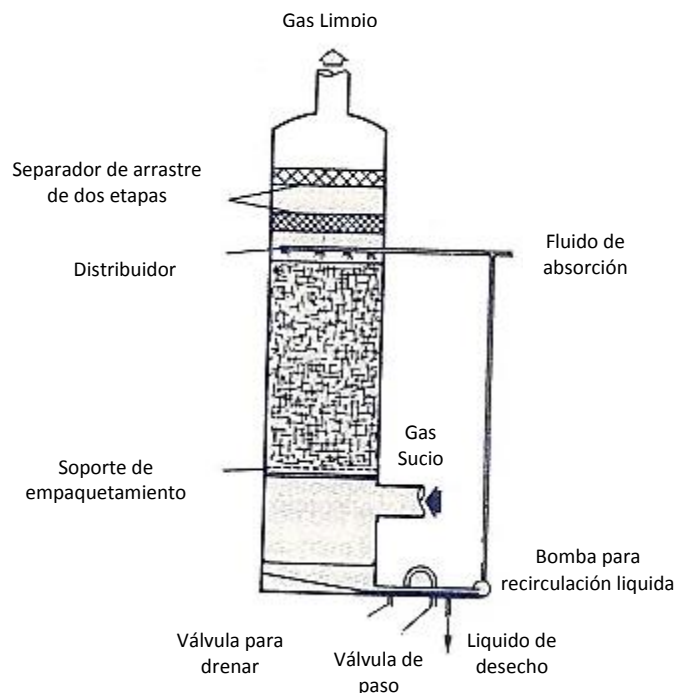


Figura 2.4. -Torre de limpieza húmeda

2.4.1 Ventajas y desventajas

Los sistemas de torres de limpieza tienen ciertas ventajas sobre los precipitadores electrostáticos y los filtros de mangas. Las torres de limpieza húmedas son más pequeñas y compactas que los filtros de mangas o los precipitadores. Tienen costos de compra más bajo y costos equiparables de operación y mantenimiento. Y son particularmente útiles en la remoción de MP con las siguientes características:

- Material pegajoso y/o higroscópico (materiales que absorben agua fácilmente);
- Materiales combustibles, corrosivos y explosivos;
- Partículas que son difíciles de remover en su forma seca;
- MP en presencia de gases solubles; y
- MP en las corrientes de gases residuales con alto contenido de humedad.



Las torres de limpieza húmedas tienen numerosas aplicaciones industriales incluyendo calderas industriales, incineradores, procesadores de metales, producción de sustancias químicas, producción de asfalto y producción de fertilizantes.

La desventaja principal de las torres de limpieza es que la mayor eficiencia de control se logra a expensas de una mayor caída de presión a través del sistema. Existe un consumo elevado de agua por la evaporación, particularmente cuando el gas que está siendo “limpiado” se encuentra a alta temperatura. Otra desventaja es que las temperaturas y razones de flujo de gas residual son más bajas que en los precipitadores electrostáticos o en los filtros de mangas. Los diseños actuales tienen razones de flujo de aire de más de $47 \text{ m}^3/\text{s}$ (100,000 acfm) y temperaturas de hasta 400°C . Además generan residuos en forma de lodo, el cual requiere tratamiento y/o disposición. Por último, pueden resultar problemas de corrosión, a menos que la humedad añadida sea removida de la corriente de gas.

2.4.2 Principio de funcionamiento

La materia particulada hace contacto con las pequeñas gotas de líquido en las torres de limpieza húmedas a través de varios mecanismos. El impacto es el principal mecanismo de captura. Cuando el gas residual se aproxima a una gota de agua, éste fluye a lo largo de las líneas de corriente alrededor de la gota. Las partículas con suficiente inercia mantienen su trayectoria de flujo y se impactan con la gota. Debido a su masa, las partículas con diámetros mayores de $10 \mu\text{m}$ son generalmente recolectadas por impacto. El flujo turbulento aumenta la captura por impacto.

Las partículas dominadas por las fuerzas de arrastre del fluido siguen la corriente del gas residual. Sin embargo, las partículas que pasan suficientemente cerca de una gota de agua son capturadas por intercepción; captura debida a la tensión superficial de la gota. Las partículas de aproximadamente 1.0 a $0.1 \mu\text{m}$ de diámetro son sujetas a intercepción. Si se aumenta la densidad de las gotas en la aspersion, se aumenta la intercepción.

Las partículas de tamaño muy pequeño están sujetas al movimiento Browniano; movimiento irregular causado por colisiones aleatorias con moléculas de gas. Estas partículas son capturadas por las gotas de agua a medida que se difunden a través del gas residual. La recolección debida a la difusión es más importante para partículas menores de $0.5 \mu\text{m}$ de diámetro.

Los mecanismos de captura que se utilizan con menos frecuencia incluyen la condensación y la electrostática. En la limpieza por condensación, se satura una corriente de gas con vapor de agua y se captura la partícula cuando el agua se condensa sobre la partícula. En la limpieza electrostática, se aumenta el contacto colocando una carga electrostática en la partícula, en la gota o en ambas.



2.4.3 Torres de aspersión

Es el tipo más simple de torres de limpieza húmedas. En una torre de aspersión, el aire cargado de MP entra a una cámara donde hace contacto con el vapor de agua producido por boquillas de aspersión. Las torres pueden colocarse tanto en la trayectoria vertical como en la horizontal del flujo de gas residual. La aspersión del líquido puede dirigirse en contra del flujo del gas, en la misma dirección del flujo del gas, o perpendicular al flujo de gas. La figura 1.6 muestra un ejemplo de una cámara de aspersión vertical a contra corriente. El flujo de gas entra al fondo de la torre y fluye hacia arriba. El agua es asperjada hacia abajo desde las boquillas montadas en las paredes de la torre o montadas en un arreglo al centro de la torre. Las pequeñas gotas de agua capturan las partículas suspendidas en el flujo de gas por medio de impacto, interceptación y difusión. Las gotas lo suficientemente grandes para caer por gravedad se recolectan al fondo de la cámara. Las gotas que permanecen atrapadas en el flujo del gas son recolectadas en un eliminador de rocío corriente arriba de las boquillas.

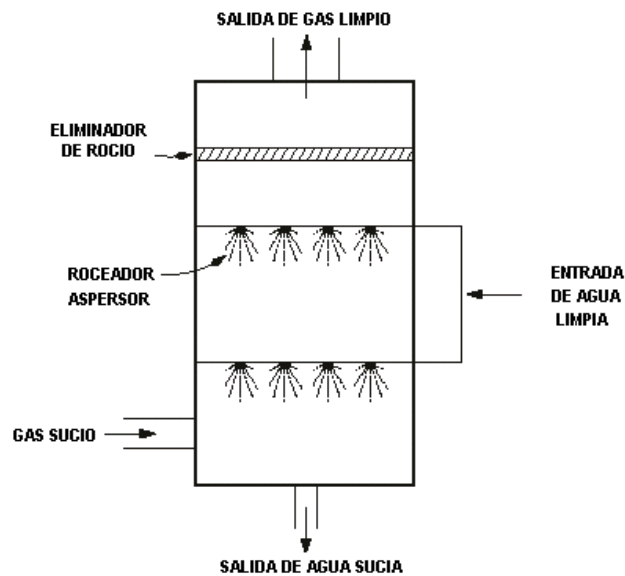


Figura 2.5. -Torre de Aspersión.

Las torres de aspersión dependen principalmente de la recolección de partículas por impacto; por lo tanto, tienen eficiencias de recolección altas para MP gruesa. Las eficiencias de remoción típicas para una torre de aspersión pueden ser tan altas como 90% para partículas de más de 5 μm . Las eficiencias de remoción para partículas de 3 a 5 μm de diámetro varían de 60 a 80%. Por debajo de 3 μm , las eficiencias de remoción declinan a menos de 50%. Las aplicaciones de las torres de aspersión incluyen el control de emisiones de MP de operaciones de molienda, operaciones con pigmentos y control de polvo en plantas de fertilizante. Las torres de aspersión también pueden ser empleadas para el control de MP en secadores de agregados en las plantas de asfalto.

Las torres de aspersión tienen costos de compra más bajos que las otras torres de limpieza húmedas. Además, las torres de aspersión tienen generalmente un consumo menor de electricidad y no son propensas al ensuciamiento, de manera que su costo de operación también es más bajo. Los costos de operación de las torres de aspersión aumentan en aplicaciones para MP fina, porque dichos sistemas requieren de una razón de líquido a gas altas (más de 20 galones por 1000 pies cúbicos). Los flujos de gas típicos para torres de aspersión son de 1 a 47 m³/s estándar (1,500 a 100,000 scfm).

2.4.4 Torre de aspersión ciclónica

La torre de aspersión ciclónica difiere del diseño de la torre de aspersión en que la corriente del gas residual fluye a través de la cámara en un movimiento ciclónico. Su funcionamiento es similar al del ciclón, pero difieren en que en la torre de aspersión ciclónica, existe un rociador. El movimiento ciclónico es producido al posicionar la entrada del gas tangencial a la pared de la cámara limpiadora o al colocar aspas giratorias dentro de la cámara de limpieza. La entrada del gas es ahusada, de manera que su velocidad aumenta a medida que entra en la torre. El líquido limpiador es rociado desde unas boquillas en una tubería central (de entrada tangencial) o desde la parte superior de la torre (aspas giratorias). En la *Fig. 2.6* se muestra un diagrama de una torre de aspersión ciclónica con una entrada tangencial. Las gotas de líquido atrapadas en la corriente de gas experimentan una fuerza centrífuga que resulta del movimiento rotatorio de la corriente de gas, causando que migren hacia las paredes de la torre. Las gotas se impactan contra la pared de la torre y caen al fondo de la misma. Las gotas que permanecen atrapadas en el gas residual pueden ser removidas con un eliminador de rocío.

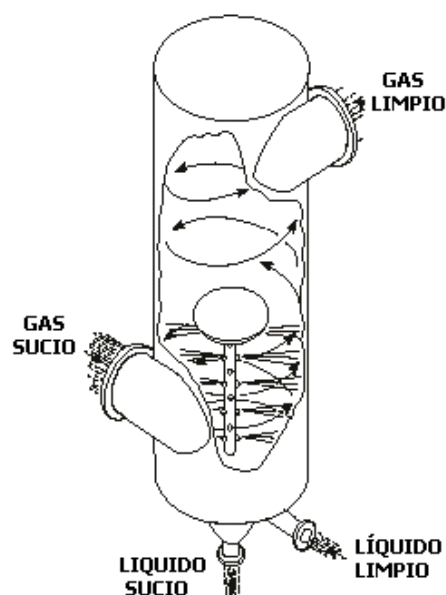


Figura 2.6. -Torre de limpieza de aspersión ciclónica.



2.4.5 Torres de limpieza dinámica

Las torres de limpieza dinámica se conocen también como torres de limpieza asistidas mecánicamente o desintegradores. Este tipo de torre de limpieza es similar a las torres de aspersion, pero con la adición de un rotor impulsado por electricidad que corta el líquido limpiador en gotas finamente dispersas. El rotor puede colocarse dentro o fuera de la torre, conectado por un conducto. Un eliminador de rocío o un separador ciclónico remueven el líquido y la MP capturada. La mayoría de los sistemas de limpieza dinámicos humidifican el gas residual corriente arriba del rotor para reducir la evaporación y la deposición de partículas en el área del rotor.

Las torres de aspersion dinámicas remueven eficientemente la MP fina, pero la adición de un rotor al sistema de limpieza aumenta los costos de mantenimiento. La MP grande desgasta los rotores y la corriente de gas húmeda los corroe. En ocasiones un ciclón precede a una torre dinámica para remover la MP grande del flujo de gas residual. El consumo de electricidad también es alto en este tipo de torres, de 4 a 10 kW por $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (1,000 acfm). Las torres dinámicas generalmente pueden tratar razones de flujo de gas entre 0.5 y $24 \text{ m}^3/\text{s}$ (1,000 y 50,000 scfm). Las eficiencias de recolección para las torres dinámicas son similares a aquellas de las torres de aspersion ciclónica. Los costos de compra, de operación y mantenimiento, son moderadamente más altos que los costos de las torres de aspersion sencillas debido al rotor.

2.4.6 Torres de bandejas

Las torres de limpieza de bandejas consisten de una torre vertical con varias bandejas perforadas montadas horizontalmente dentro de la torre. El gas entra a la torre por el fondo y viaja hacia arriba a través de orificios en las bandejas, mientras que el líquido limpiador fluye desde arriba y a través de cada bandeja. El gas se mezcla con el líquido que fluye sobre las bandejas, proporcionándose más contacto gas-líquido que en los diseños de las torres de aspersion. La velocidad del gas previene que el líquido fluya hacia abajo a través de las perforaciones en la bandeja. Las bandejas de impacto se lavan continuamente para limpiarlas de las partículas recolectadas por el líquido que fluye. Las torres de bandejas están diseñadas para permitir acceso a cada una de las bandejas para limpieza y mantenimiento. La MP grande puede tapar las perforaciones, por lo tanto, algunos diseños colocan deflectores de impacto corriente arriba de cada perforación para remover la MP grande antes de que el gas residual entre por la abertura. A este tipo de torre de bandeja se le refiere como torre de limpieza de bandeja de impacto o torre de limpieza de impacto.

Las torres de bandejas no remueven efectivamente las partículas submicrométricas, sin embargo son posibles eficiencias de recolección de 97% para partículas de más de $5 \mu\text{m}$. Las torres de



bandejas también remueven eficazmente los gases solubles; por lo tanto, son útiles cuando se debe remover MP y gases contaminantes. Las aplicaciones típicas incluyen los hornos para cal, calderas que queman bagazo y cortezas y las industrias de metales secundarios. Las razones de flujo de gas para los diseños de torres de bandejas están generalmente entre 0.5 y 35 m³/s (1,000 y 75,000 scfm). La relación de líquido a gas es baja comparada con la de las torres de aspersion y las torres de limpieza por venturi, porque el líquido de limpieza está esencialmente estático. Los costos de compra y de operación y mantenimiento de las torres de bandejas y de impacto son moderadamente más altos que los de las torres de aspersion sencillas.

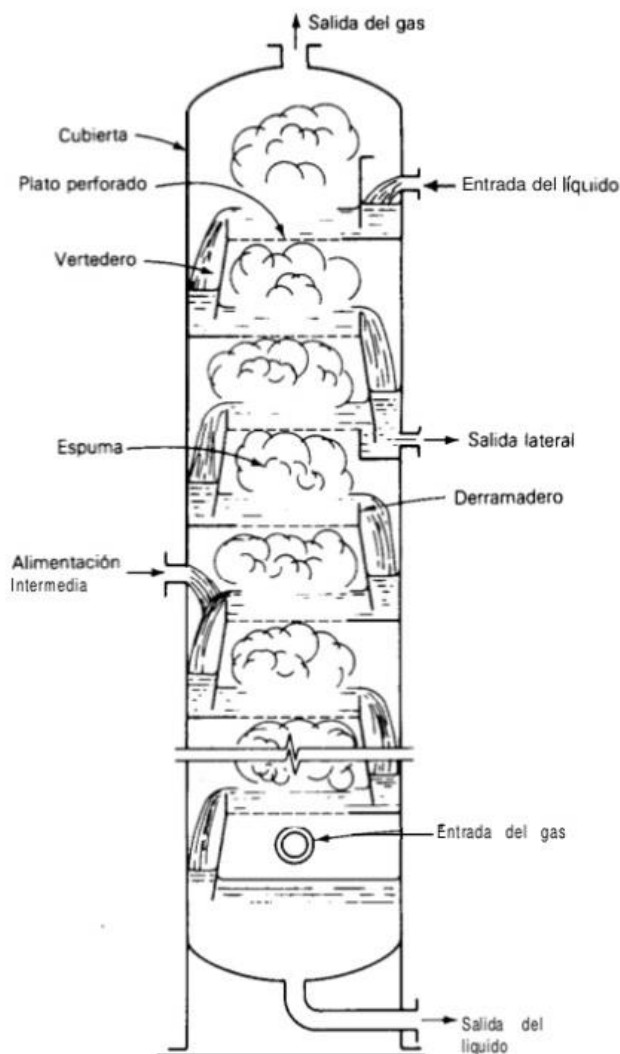


Figura 2.7. -Sección esquemática a través de una torre de platos perforados.

2.4.7 Torres de limpieza por Venturi

Una torre de limpieza por Venturi tiene un canal de flujo “convergente y divergente”. En este tipo de sistema, el área de la sección transversal del canal disminuye y luego aumenta a lo largo del canal. En la figura 1.8 se muestra una torre de limpieza por Venturi. Al área más angosta se le refiere

como la “garganta”. En la sección convergente, la disminución del área causa que la velocidad del gas residual y la turbulencia aumenten. El líquido de limpieza es inyectado dentro de la torre de limpieza ligeramente corriente arriba de la garganta o directamente en la sección de la garganta. El líquido limpiador es atomizado por la turbulencia en la garganta, mejorando el contacto gas-líquido. La mezcla gas-líquido se desacelera a medida que se mueve a través de la sección divergente, causando impactos adicionales de partículas y gotas de agua y la aglomeración de las gotas. Las gotas de líquido son entonces separadas de la corriente de gas en una sección de arrastre, que típicamente consiste de un separador ciclónico y un eliminador de rocío.

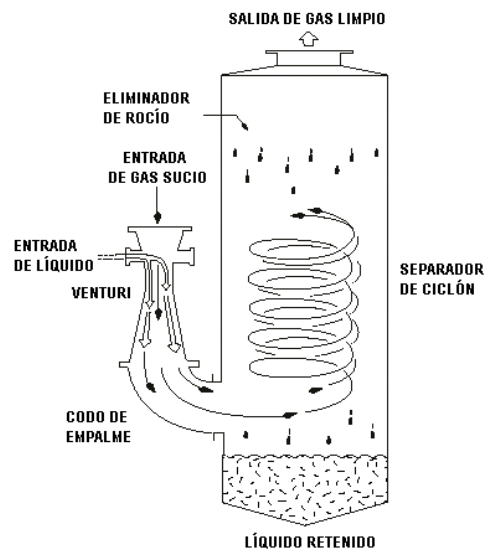


Figura 2.8. -Torre de Limpieza por Venturi con separador de ciclón y eliminador de rocío.

Las torres de limpieza por Venturi son más costosas que las torres de aspersión ciclónicas o que las torres de limpieza de bandejas, pero las eficiencias de recolección de MP fina son más altas. Las altas velocidades del gas y la turbulencia en la garganta del Venturi dan como resultado altas eficiencias de recolección, fluctuando desde 70% hasta 99% para partículas mayores a 1 μm de diámetro y más de 50% para partículas sub micrométricas. Al aumentar la caída de presión en una torre de limpieza por Venturi, aumenta la eficiencia pero la demanda de energía del sistema también aumenta dando lugar a costos operacionales más altos. Los costos de compra y los de operación y mantenimiento son moderadamente más altos que los costos de torres de limpieza de aspersión sencillas.

2.4.8 Precipitador electrostático húmedo (PEH)

Los PEH se utilizan frecuentemente para controlar las neblinas ácidas y pueden proporcionar un control incidental de compuestos orgánicos volátiles. Las eficiencias típicas de equipos nuevos varían entre 99 y 99.9%. Aunque son varios los factores que determinan la eficiencia de recolección de los PEH, el más importante es el tamaño del PEH. El tamaño determina el tiempo de tratamiento;



entre más tiempo permanezca una partícula en el PEH, es más probable que ésta sea atrapada. Al maximizar la fuerza del campo eléctrico, se maximiza la eficiencia de recolección del PEH, la eficiencia de recolección también se ve afectada en cierto grado por la resistividad del polvo, la temperatura del gas, la composición química (del polvo y del gas) y por la distribución del tamaño de las partículas.

Los PEH se utilizan en situaciones en las cuales los precipitadores electrostáticos secos (PES) no son apropiados, tal como cuando el material por recolectarse está húmedo, pegajoso, es inflamable, es explosivo o tiene una resistividad alta. Además, a medida que las altas eficiencias de recolección se han vuelto más deseables, las aplicaciones de los PEH han aumentado. Muchos de los precipitadores electrostáticos (PE) más antiguos son del diseño tubo-alambre, las cuales consisten de un solo tubo colocado en la parte superior de una chimenea (EPA, 1998). Los PEH son comúnmente utilizados en la industria textil, las industrias de productos de la madera, la industria metalúrgica, incluyendo los hornos de coque, y en plantas de producción de ácido sulfúrico, entre otras, aunque también se utilizan otros tipos de PE.

Características de las Emisiones:

- a. Flujo de Aire: Los flujos de aire típicos para los PEH del tipo tubo-alambre varían de 0,5 a 50 metros cúbicos por segundo (m^3/s) (1.000 a 100.000 pies cúbicos estándares por minuto).
- b. Temperatura: Los PEH del tipo tubo-alambre están limitados a operar a temperaturas menores de aproximadamente 80 a 90°C.
- c. Cargamento de Contaminante: Las concentraciones típicas a la entrada de un PEH del tipo tubo-alambre son de 1 a 10 gramos (g)/ m^3 (0,5 a 5 gramos (gr)/scf). Es común dar un pretratamiento a la corriente residual, normalmente por aspersión de agua o torre de lavado, para bajar la temperatura y la concentración de la corriente contaminada a un rango más manejable. Los flujos altamente tóxicos con concentraciones mucho menores de 1 g/ m^3 (0,5 gr/scf), también son controlados en ocasiones por PEH.
- d. Otras Consideraciones: La resistividad del polvo no es un factor para los PEH, debido a la alta humedad de la atmósfera que reduce la resistividad de la mayoría de los materiales. El tamaño de las partículas es un factor de menor importancia para los PEH que para aquéllos en seco. Se pueden recolectar eficientemente partículas mucho más pequeñas con los PEH



debido a que la resistividad no importa, así como a la reducción en la pérdida por el rencauzamiento de las partículas ya atrapadas.

Ventajas:

Los PEH del tipo tubo-alambre y otros PE en general, debido a que actúan únicamente sobre el particulado por eliminar, y sólo impiden el flujo de la corriente de gas de manera mínima, tienen bajas de presión muy pequeñas (típicamente menores de 13 mm (0,5 pulgadas) de columna de agua). Como resultado, los Hoja de Datos EPA-CICA Precipitador Electrostático Húmedo (PEH) 4 Tipo Tubo-Alambre requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos. Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas, aún con partículas muy pequeñas. Los costos de operación son relativamente bajos. Los PE son capaces de operar bajo presiones altas (hasta los 1.030 kPa (150 libras por pulgada cuadrada, psi)) o al vacío, y razones de flujo relativamente grandes se pueden manejar de manera efectiva.

Los PEH pueden recolectar partículas pegajosas y neblinas, así como polvos explosivos o con alta resistividad. El enjuague continuo o intermitente con un líquido, elimina el rencauzamiento de partículas al flujo de gas, que se ocasiona con el martilleo al cual están sujetos los PE. La atmósfera húmeda que resulta del enjuague de los PEH les permite recolectar partículas con alta resistividad, absorber gases u ocasionar que se condensen los contaminantes; además, ésta enfría y acondiciona la corriente de gas. Las partículas líquidas o aerosoles presentes en la corriente de gas son recolectadas con las partículas y proporcionan otro método para enjuagar los electrodos de colección. Los PEH del tipo tubo-alambre tienen las ventajas adicionales de reducir las “fugas furtivas” al pasar todo el caudal gaseoso a través del campo de recolección, y la capacidad de estar sellada herméticamente para prevenir fugas de materiales especialmente valiosos o peligrosos.

Desventajas:

Generalmente, los PE tienen costos de capital altos. Los electrodos de descarga fabricados de alambre (aproximadamente 2,5 mm de diámetro) requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres debido a fugas de aire y condensación ácida. Además los alambres largos sujetos con pesas tienden a oscilar, la parte media del alambre puede acercarse al tubo, causando más chispas y desgaste. Los diseños más nuevos de PE tienden a utilizar los electrodos rígidos, o “mástiles” que eliminan en gran parte los inconvenientes del uso de electrodos de alambre.

En general los PE no son muy apropiados para uso en procesos que sean demasiado variables, debido a que son muy sensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente

de gas (velocidades de flujo, temperatura, composición de las partículas y del gas, y el cargamento de partículas). Los PE también son difíciles de instalar en sitios con espacio limitado puesto que los PE deben ser relativamente grandes para obtener las bajas velocidades de gas necesarias para la recolección eficiente de PM.

Se requiere de personal de mantenimiento relativamente sofisticado, además de precauciones especiales para proteger al personal del alto voltaje. El electrodo con carga negativa produce ozono durante la ionización del gas. Los PEH añaden la complejidad de un sistema de enjuague, y el hecho de que el sedimento fangoso resultante debe ser tratado con más cuidado que un producto seco, y en muchos casos requiere tratamiento, especialmente si el polvo puede ser vendido o reciclado. Los PEH se limitan a operar a temperaturas del caudal por debajo de aproximadamente 80 a 90°C.

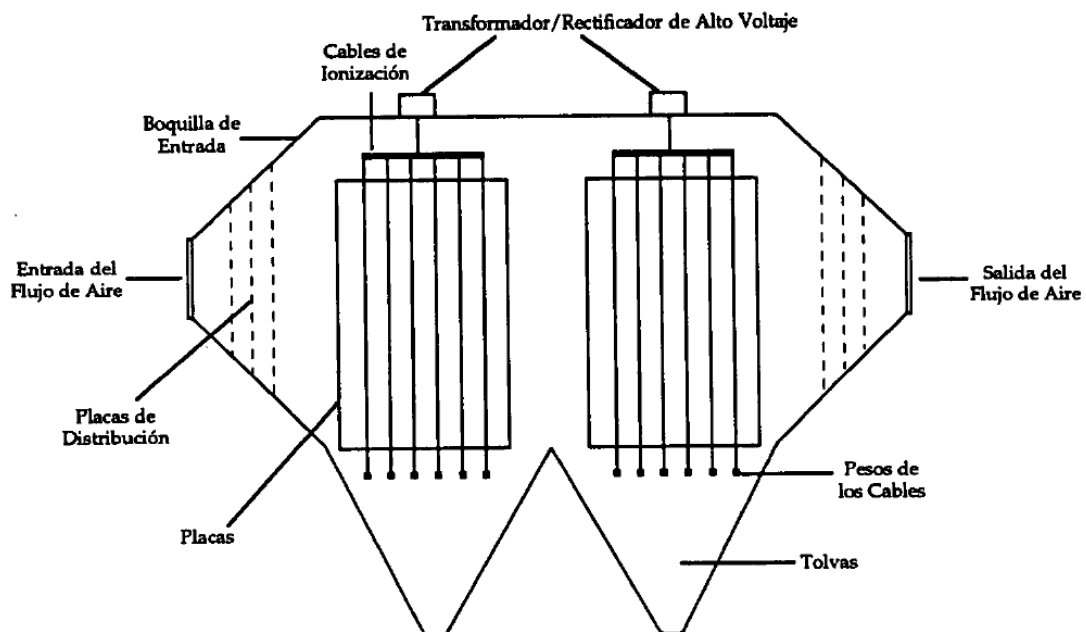


Figura 2.9. -Precipitador electrostático típico

2.4.9 Otros tipos de torres lavadoras

Las torres de limpieza empacadas contienen un lecho de material de empaque. El material de empaque proporciona una gran superficie húmeda para el contacto gas-líquido. El líquido de limpieza se introduce por la tapa de la torre y fluye hacia abajo a través del empaque, cubriendo el empaque y formando una película fina. Los materiales de empaque están disponibles en una variedad de formas, cada una con características específicas con respecto al área de superficie, la caída de presión, el peso, la resistencia a la corrosión y el costo. Las torres empacadas son usadas más frecuentemente para la



absorción de gas en lugar de la remoción de MP, porque las altas concentraciones de partículas pueden acumularse en el empaque y obstruir la torre.

En una torre de limpieza por condensación, las partículas actúan como núcleos de condensación para la formación de pequeñas gotas de agua. Primero, la corriente de gas se satura con vapor de agua. También puede inyectarse vapor para aumentar aun más la relación de humedad. La inyección de rocío de agua y/o vapor crea una condición de súper-saturación que resulta en la condensación de agua sobre las partículas en la corriente de gas. Las gotas son removidas por un dispositivo convencional, tal como un eliminador de rocío. Las torres de limpieza por condensación pueden remover efectivamente la MP fina y tienen eficiencias de recolección por encima del 99%. Sin embargo, la torre puede remover solamente cantidades relativamente pequeñas de polvo debido a las cantidades de saturación y condensación que son capaces de mantenerse en el flujo de gas. Las torres de limpieza por condensación son generalmente destinadas a ser utilizadas corriente abajo de otra torre de limpieza que ha removido previamente las partículas mayores de 1 μm de diámetro. La limpieza por condensación es una tecnología relativamente nueva y está disponible comercialmente en forma limitada. Su aplicación más frecuente es en incineradores de residuos peligrosos o de residuos biológicos infecciosos. Las torres de limpieza cargadas aumentan la remoción al colocar una carga electrostática en las gotas de agua, en las partículas o en ambas, antes de entrar a la torre. Estas torres emplean usualmente un diseño convencional, tales como una torre de aspersión. La MP puede cargarse negativamente o positivamente, dándole a las gotas la carga opuesta. Los precipitadores electrostáticos (PES) húmedos son dispositivos similares, los cuales combinan un PES con un líquido en flujo para limpiar continuamente las placas electrostáticas.

Las torres de limpieza disponibles comercialmente emplean una amplia gama de variaciones de diseño, incluyendo varias tecnologías híbridas. Por ejemplo, unos cuantos fabricantes ofrecen torres de limpieza por Venturi con múltiples gargantas. Otros fabricantes combinan las torres de limpieza húmedas con otros tipos de removedores de partículas tales como filtros de mangas ó precipitadores electrostáticos.

2.5 Sistemas Secos

2.5.1 Ciclones

Los ciclones son uno de los equipos más empleados dentro de las operaciones de separación de partículas sólidas de una corriente gaseosa, además de poder emplearse para separar sólidos de líquidos. Su éxito se debe en parte a que son equipos de una gran sencillez estructural debido a que no poseen partes móviles y a que apenas exigen mantenimiento. Los ciclones son adecuados para separar



partículas con diámetros mayores a $5\mu\text{m}$. Los ciclones presentan eficiencias mayores que la cámara de sedimentación gravitacional y eficiencias menores que los filtros de mangas, torres de limpieza húmedas y precipitadores electrostáticos.

El ciclón de entrada tangencial y descarga axial es el más comúnmente usado. En este tipo de ciclón, el gas entra en la cámara superior tangencialmente y desciende en espirales hasta el ápice de la sección cónica; luego asciende en un segundo espiral, con diámetro más pequeño, y sale por la parte superior a través de un ducto vertical centrado. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes, se deslizan por las paredes, y son recogidos en la parte inferior. El funcionamiento de este tipo de aparatos podemos verlo en la *Fig. 2.10*.

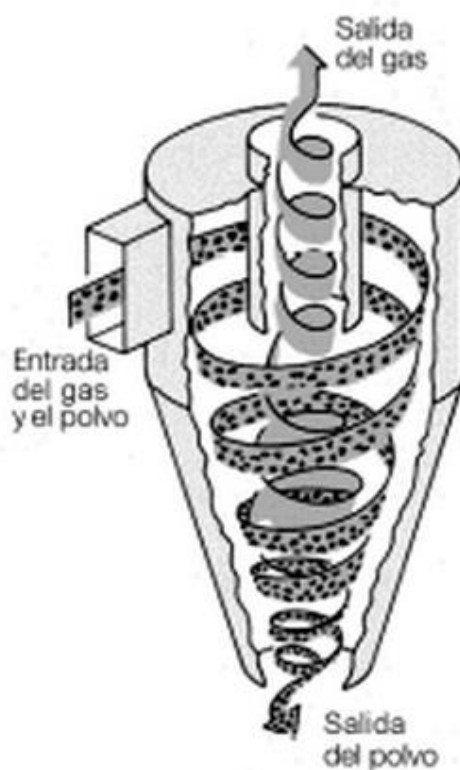


Figura 2.10. -Separador Ciclónico.

Las eficiencias de recolección para este tipo de equipos son tan altas como de 95% para partículas mayores de $5\mu\text{m}$ y de 60% a 75% para partículas submicrométricas. Las aplicaciones típicas son para el control de polvo en plantas de fertilizante, operaciones de molienda y en las fundidoras, también tienen su lugar en la industria manisera como elemento de limpieza primario, para separar las partículas de mayor tamaño. Si bien los ciclones tienen eficiencias altas, se observa que partículas de tamaño menor al mínimo calculado son capturadas mientras que otras de mayor tamaño salen con el gas. Esto indica que existen otros factores que interfieren en la captura de las partículas, como



colisiones entre las partículas y turbulencias que pueden afectar a la eficacia del ciclón. Esta es una de las causas por la cual se están dejando de utilizar estos sistemas en el proceso de maní confitería.

Ventajas y desventajas

En resumen, las principales ventajas y desventajas de un separador ciclónico comúnmente aplicado, son las siguientes:

Ventajas:

Baja inversión inicial.

Bajísimos costos de operación.

De fácil construcción. Instalación rápida y económica.

De fácil mantenimiento (no contienen piezas movibles).

Pueden alcanzar hasta 99% de eficiencia, dependiendo del tamaño de las partículas.

Operan con gases en temperaturas elevadas.

Pueden ser construidos con materiales resistentes a la abrasión y corrosión.

Su eficiencia es constante a lo largo de su vida útil.

Separan una gran variedad de materiales.

Pérdida de carga siempre constante.

Facilidad de remoción del material recolectado.

Proyectado para el mejor desempeño de acuerdo con el perfil granulométrico de las partículas.

Desventajas:

Baja eficiencia de colección con partículas muy finas (menores a $5\mu\text{m}$).

Elevada caída de presión (hasta 2.5 kPa - 250 milímetros de columna de H_2O) para alcanzar altas eficiencias de colección alrededor del 95%.

2.5.2 Colectores de polvo con cartuchos - Filtros compactos

Los captadores de polvo con cartuchos, utilizan filtros plegados que pueden ser de papel o fieltros que están contenidos en recipientes completamente cerrados, o cartuchos. Los colectores de cartucho típicamente se usan en procesos industriales pequeños con flujos menores a $11,8 \text{ m}^3/\text{s}$

Estos recolectores ofrecen una filtración con alta eficiencia combinada con una reducción significativa de tamaño en la unidad de filtro. Un filtro compacto ocupa mucho menos espacio que uno de mangas con la misma cantidad de medio de filtración. Además, los recolectores de cartucho pueden operar a relaciones más altas de aire-tela que los filtros de mangas. Los cartuchos pueden ser limpiados por pulso, y algunos tipos pueden ser lavados y reutilizados. Sin embargo, este tipo de filtro de tela se



ha limitado a aplicaciones con bajas velocidades de flujo y bajas temperaturas. Los nuevos materiales para filtros y diseños de recolectores están incrementando las aplicaciones de los filtros de cartucho.

Los cartuchos pueden ser montados verticalmente, así el reemplazo es más sencillo que el de las mangas y jaulas estándares, o también pueden ser montados horizontalmente para diseños originales. Cuando es usado como un reemplazo directo para mangas y jaulas estándares, los costos retrofit o de reconversión (equipar con nuevas partes o equipo no disponible) para un caso son el 70% del costo de la construcción de un filtro nuevo. La limpieza de los diseños antiguos de filtros compactos es por medio de un único equipo de pulsación. Los diseños más recientes usan válvulas de aire individuales para cada par de cartuchos.

El medio de filtración para los cartuchos puede ser papel, plásticos de monofilamento unidos por hilado (predomina el poliéster), o telas no tejidas. Los cartuchos pueden ser de 6 a 14 pulg. de diámetro y 16 a 36 pulg. de longitud. La superficie de filtración es alrededor de 25 a 50 pies cuadrados para cartuchos con telas no tejidas, alrededor de tres a cuatro veces más con los unidos por hilado, y más. Un cartucho típico puede tener 36 pies cuadrados de tela no tejida, 153 pies cuadrados de tela unida por hilado, o 225 pies cuadrados de papel.

El espacio entre los pliegues es importante por dos razones: un distanciamiento menor aumenta la superficie de filtrado para un volumen de cartucho específico, pero el menor distanciamiento aumenta la probabilidad de que el polvo forme un puente permanente entre los fondos de los pliegues y reduzca la superficie de filtrado disponible.

Para polvos no aglomerantes de tamaños pequeños de partículas (hasta de unas pocas micras) y características benignas para el papel, el cartucho puede tener de 12 a 16 pliegues por pulgada. Las telas no tejidas bajo las condiciones más difíciles pueden tener de 4 a 8 pliegues por pulgada. La profundidad del pliegue es de 1 a 3 pulgadas, el arreglo de los pliegues y el volumen de aire para limpieza disponible determinan la capacidad de limpieza del medio para un polvo específico.

Una ventaja de los medios de papel es su capacidad de recolectar partículas menores de 2.5 μm de diámetro con alta eficiencia. La eficiencia total puede ser del 99.999%. Los medios no tejidos pueden ser menos eficientes por una orden de magnitud. Sin embargo, aún las bolsas de fibra de vidrio en filtros con aire inverso en fuentes de combustión pueden recolectar partículas de 2.5 μm con eficiencias del 99.9%.

Los filtros cartucho están limitados en temperatura por los adhesivos que sellan los medios a las tapas de fondo a las tapas extremas. Las temperaturas de operación de 93°C son comunes, aunque algunos diseños llegan hasta 177°C.



La figura 2.11 ilustra un recolector de cartucho en corte, donde se puede apreciar la disposición de los cartuchos, ubicados en posición vertical; el trazado del flujo de aire, el cual ingresa en la parte inferior de la tolva, pasando a través de los cartuchos y saliendo por la parte superior. Se puede apreciar su diseño compacto.

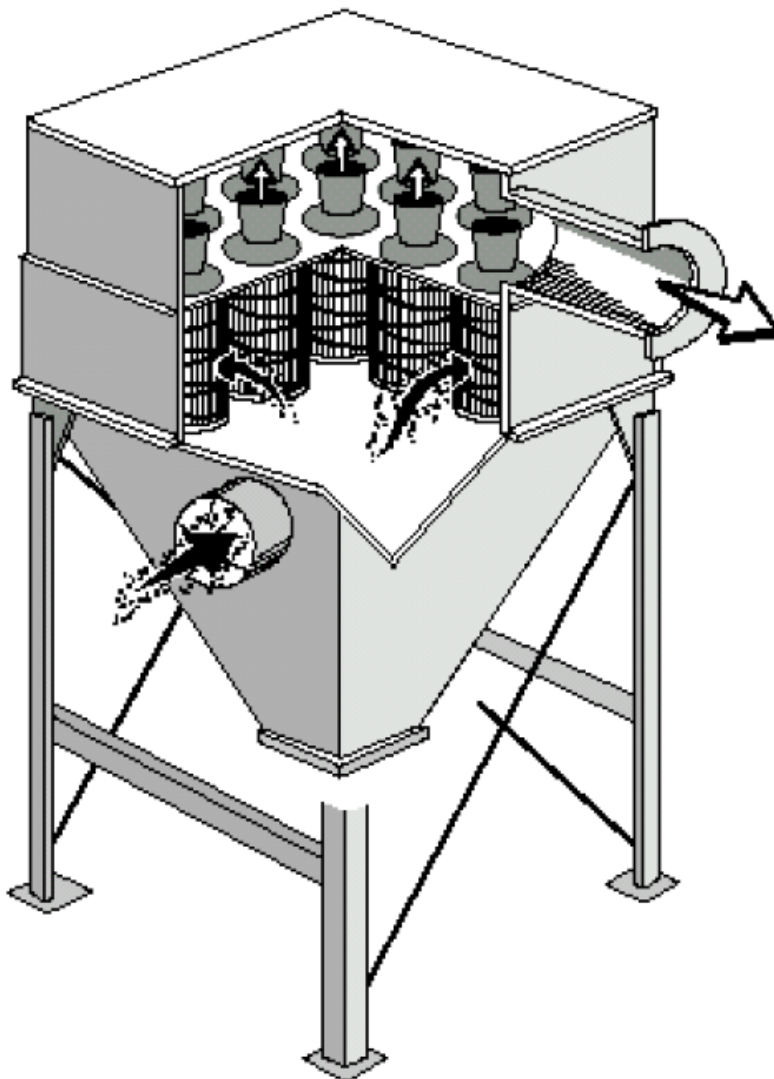


Figura 2.11. -Filtro Compacto con cartuchos montados verticalmente.

2.5.3 Filtros de mangas

Un colector de polvo que utiliza bolsas de tela o mangas, consiste de uno o más compartimientos aislados que contienen hileras de bolsas de tela, en la forma de tubos redondos generalmente colgados de forma vertical. El gas cargado de partículas pasa generalmente a lo largo del área de las bolsas y luego radialmente a través de la tela. Las partículas son retenidas en la cara de las bolsas corriente arriba y el gas limpio es ventilado hacia la atmósfera. El filtro es operado



cíclicamente, alternando entre períodos de filtrados relativamente largos y períodos cortos de limpieza. Durante la limpieza, el polvo que se ha acumulado sobre las bolsas de tela es removido del área de la tela y depositado en una tolva para su disposición posterior. El paso del aire a través del filtro, se logra mediante el “tiro inducido” de un ventilador.

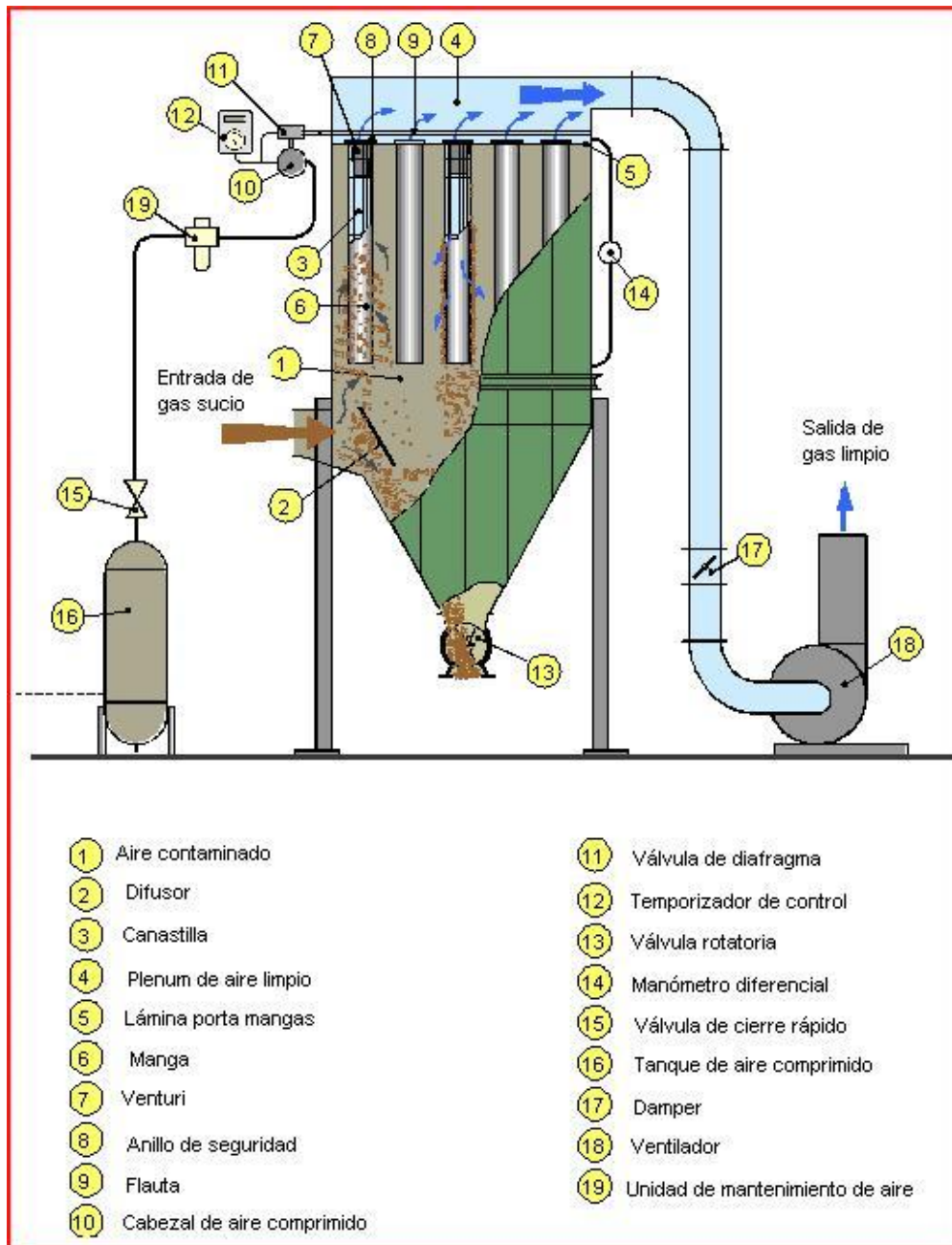


Figura 2.12. -Partes constitutivas de un filtro de mangas tipo Pulse-Jet.

Los filtros de mangas recolectan partículas de tamaños que van desde las submicras hasta varios cientos de micras de diámetro, con eficiencias generalmente en exceso al 99 o 99.9%. La capa de polvo o plasta recolectada sobre la tela es la razón principal de esta alta eficiencia. La plasta es una



barrera con poros tortuosos que atrapan las partículas a medida que viajan por la plasta. En algunas configuraciones pueden acomodarse rutinariamente temperaturas de gas hasta cerca de 260°C, con picos de hasta cerca de 290°C. La mayor parte de la energía utilizada para operar el sistema aparece como caída de presión a través de las bolsas, y de las partes y conductos asociados. Los valores típicos de la caída de presión del sistema varían desde cerca de 1.25 hasta 5 kPa (130 a 500 milímetros de columna de H₂O).

Los filtros de mangas se utilizan donde se requiere una alta eficiencia de recolección de partículas. Se imponen limitaciones por las características del gas (la temperatura y la corrosividad) y por las características de las partículas (principalmente la adhesividad), que afectan a la tela o a su operación y que no pueden ser tomadas en cuenta económicamente. Las variables importantes del proceso incluyen las características de la partícula, las características del gas y las propiedades de la tela. El parámetro de diseño más importante es la relación aire-tela (tabla 1.5) o cantidad de gas en metros cúbicos por minuto (o pies cúbicos por minuto) que penetra un metro cuadrado (o un pie cuadrado de tela), y el parámetro de operación de interés por lo general es la caída de presión a través del sistema de filtro.

La característica de operación principal de los filtros de mangas, que los distingue de otros filtros de gas, es la capacidad de renovar la superficie de filtración periódicamente por medio de limpiezas. Las bolsas filtrantes, por lo general se construyen con telas tejidas o, más comúnmente, perforadas con aguja y cosidas en la forma deseada, montadas en una estructura, y usadas en un amplio rango de concentraciones de polvo.

TIPO DE LIMPIEZA DEL COLECTOR	TÍPICO DE AIRE/TELA
	En N°-normales m ³ /min/m ²
SACUDIDO MECANICO	0.76 a 0.91
AIRE INVERSO	0.61 a 0.76
PLENUM – PULSE	1.07 a 1.22
JET PULSE	1.52 a 1.83

Tabla 2.2- Relaciones de aire-tela recomendadas para diversos tipos de colectores de polvo.

2.5.4 Clasificación por su sistema de limpieza

Los filtros de mangas pueden ser clasificados por varios medios, incluyendo el tipo de limpieza (por sacudido mecánico, aire a la inversa o chorro de aire comprimido), la dirección del flujo de gas



(desde el interior de la bolsa hacia el exterior o viceversa), la localización del ventilador del sistema (de succión o de presión), o tamaño (cantidad baja, mediana o alta de flujo de gas). De estos cuatro enfoques, el método de limpieza es probablemente la característica más distintiva. A continuación, los filtros de mangas se describen basándose en el tipo de limpieza que es empleado.

Sistema de sacudido mecánico

El sacudimiento mecánico ha sido un método muy popular de limpieza por muchos años, debido a su simplicidad así como a su efectividad. Para cualquier tipo de limpieza debe impartirse a la tela la energía suficiente para superar las fuerzas de adhesión que sostienen el polvo a la bolsa. En la limpieza por sacudido mecánico, usada con flujo de gas del interior al exterior, la transferencia de energía se logra suspendiendo la bolsa de un gancho o una estructura que oscila, la cual es accionada por un motor. El movimiento puede ser impartido a la bolsa de varias maneras, pero el efecto general es de crear una onda sinusoidal a lo largo de la tela. A medida que la tela se mueve hacia afuera de la línea central de la bolsa durante la acción de la onda, el polvo acumulado sobre la superficie se mueve con la tela. Cuando la tela alcanza el límite de su extensión, las plastas de polvo poseen la inercia suficiente para desprenderse de la tela y descender hacia la tolva.

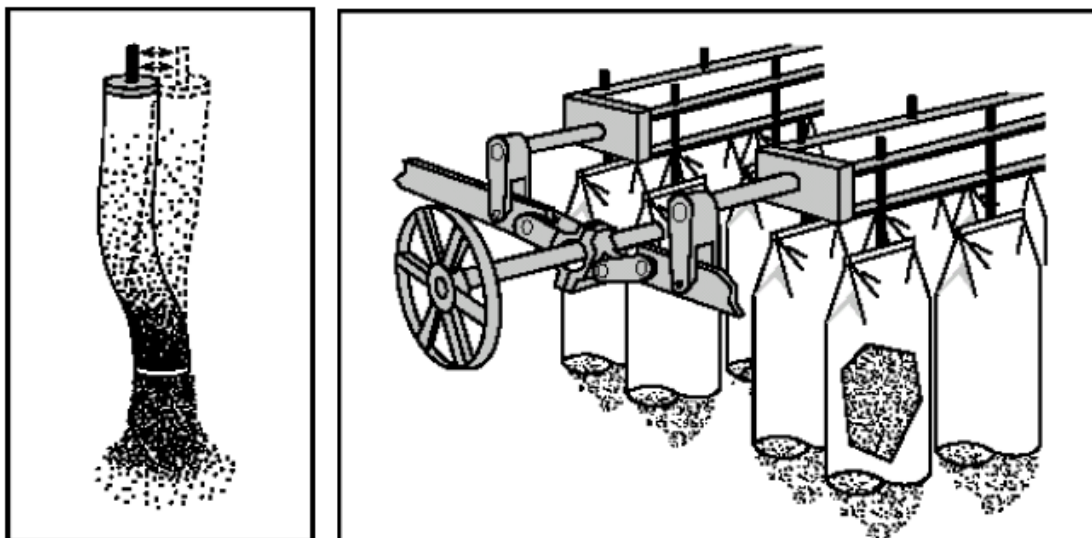


Figura 2.13. A. -Sacudimiento mecánico. B. -Sistema de sacudido mecánico manual.

En filtros pequeños (menos de $14.2 \text{ m}^3/\text{min}$) de un compartimiento, generalmente operados de manera intermitente, una palanca conectada al mecanismo de sacudido puede ser operada manualmente a intervalos apropiados, típicamente al final de una jornada de trabajo. En filtros con compartimientos múltiples, generalmente operados continuamente, un motor acoplado a un sistema de engranajes y yunques golpeadores acciona el sistema de sacudido. Los compartimientos operan en



secuencia de manera que se limpie un compartimiento a la vez. El flujo de gas del compartimiento es interrumpido, permitiendo así el asentamiento del polvo, el flujo de gas residual cesa, y el mecanismo de sacudido es encendido por varios segundos hasta un minuto o más (en promedio 30 segundos). Los períodos de asentamiento y sacudido pueden ser repetidos, y enseguida el compartimiento es restablecido en línea para la filtración. Como resultado de la ausencia de flujo a través del compartimiento, la superficie colectora del filtro debe ser incrementada para compensar la porción que se encuentre fuera de servicio para su limpieza.

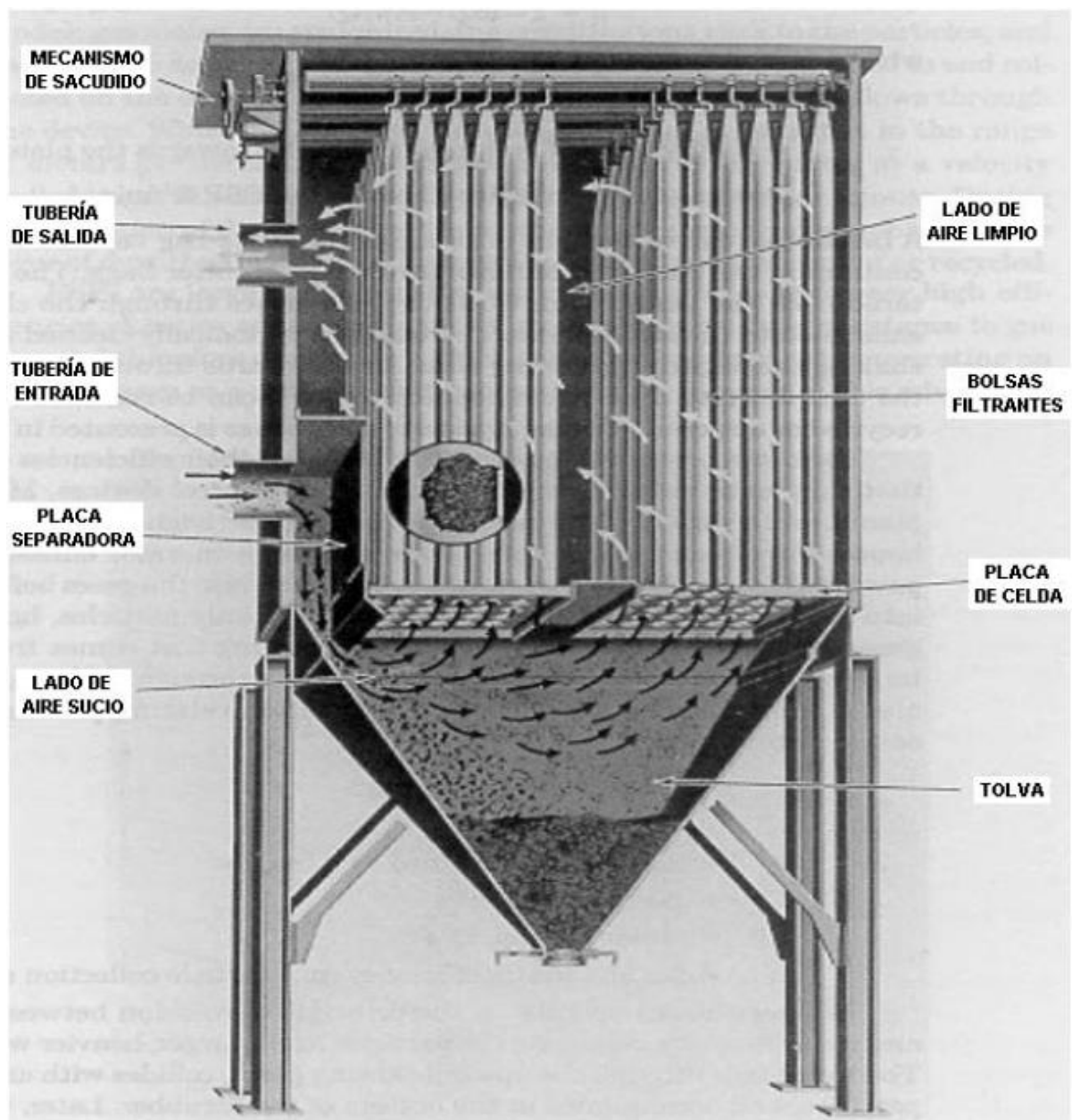


Figura 2.14- Funcionamiento de un filtro de mangas con limpieza por sacudido mecánico.

Los parámetros que afectan a la limpieza mediante sistema de engranajes motores son la frecuencia del movimiento de sacudido y la tensión de la bolsa montada. Estos parámetros son parte del diseño del filtro, la composición del polvo, la concentración y la pérdida de presión, y por lo general no se cambian fácilmente. Los valores típicos son de alrededor de 4 Hz para la frecuencia, la tensión de las bolsas depende de cómo esté diseñado el tipo de montaje.

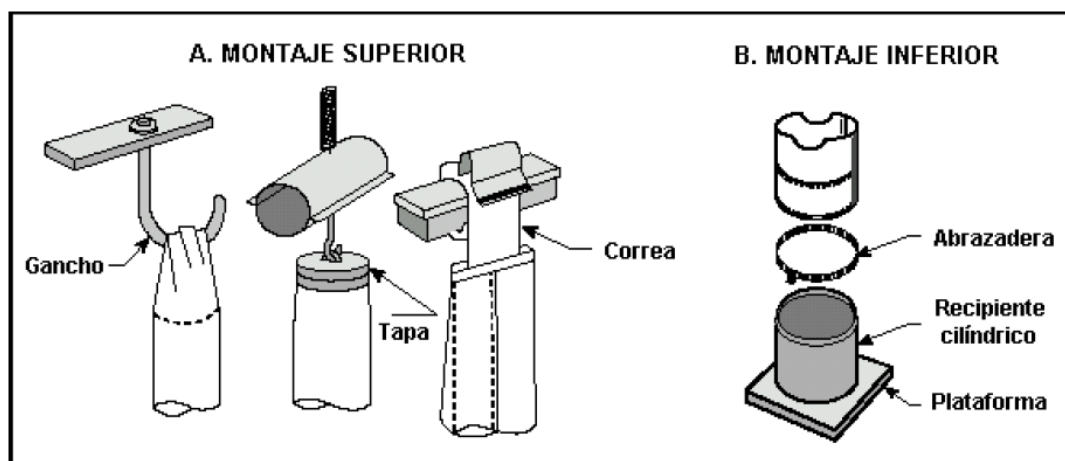


Figura 2.15- Montaje de las bolsas filtrantes. A. Superior. B. Inferior.

En comparación con las bolsas limpiadas por aire a la inversa, la acción vigorosa de los sistemas de sacudido mecánico tiende a presionar más a las bolsas, lo que requiere telas más pesadas y durables. Las telas tejidas son usadas casi exclusivamente para la limpieza por sacudido mecánico, aunque también se permite el uso de telas afelpadas a velocidades de filtración un poco más altas. Estas velocidades más altas permiten la construcción de un filtro más pequeño, lo que requiere menos inversión. Sin embargo, las velocidades más altas conducen a caídas de presión más altas, aumentando así los costos de operación. Para cualquier aplicación determinada, existe un balance económico que con frecuencia debe ser descubierto estimando los costos para ambos tipos de tela.

La limpieza por sacudido mecánico ha quedado obsoleta debido a que actualmente la mayoría de los filtros en funcionamiento son limpiados con chorro a pulso. Sin embargo, los aún existentes, continúan en servicio aunque requieren de un mayor mantenimiento. Cuando se requieren filtros de mayor tamaño que los chorros a pulso típicos, con frecuencia, son unidades con aire a la inversa construidas a pedido. Los filtros de chorro pulsante se han vuelto populares porque ocupan menos espacio que los filtros con sacudido mecánico y son percibidos como menos caros. Para aplicaciones a temperaturas altas que utilizan bolsas de fibra de vidrio, se puede esperar una vida más larga de las bolsas que la que sería encontrada con uno de sacudido mecánico. Por consiguiente, los filtros de sacudido mecánico no son recomendados para aplicaciones industriales.



Algunas ventajas y desventajas del colector de polvo con sacudido mecánico son:

- Elevada eficiencia de filtración (superior a 99.9%)
- Relativa baja caída de presión (de 1 a 1.5 kPa o bien de 100 a 150 milímetros de columna de H₂O)
- El material es colectado en forma seca.

Desventajas:

- Limpieza fuera de línea.
- Alto mantenimiento en los sistemas de sacudido mecánico.
- Requerimiento de gran espacio.
- Baja confiabilidad en las mangas filtrantes debido al exceso de trabajo mecánico.
- Tecnología obsoleta.

2.5.5 Colectores de mangas con limpieza por aire a la inversa

Cuando las bolsas de fibra de vidrio fueron introducidas, se necesitó un medio más suave para limpiar las bolsas (de 1 pie de diámetro por 30 pies de longitud) para prevenir la degradación prematura. La limpieza por aire a la inversa fue desarrollada como una manera menos intensa de impartir energía a las bolsas.

En la limpieza por medio de aire a la inversa, el flujo de gas es interrumpido en el compartimiento que está siendo limpiado y un flujo inverso (de afuera hacia adentro) es dirigido a través de las bolsas. Este revés del flujo de gas pliega la bolsa suavemente hacia sus líneas centrales, lo que causa que la plasta se desprenda del área de tela. El desprendimiento es causado por fuerzas tipo “tijera” desarrolladas entre el polvo y la manga a medida que ésta última cambia su forma. Las tapas metálicas en la parte superior de las bolsas son una parte integral de la bolsa tanto como lo son varios anillos cosidos que rodean las mangas para prevenir su colapso durante la limpieza. Sin estos anillos, el polvo que cae y se acumula tiende a obstruir la bolsa a medida que la tela se pliega sobre sí misma mientras es limpiada.

Tal como con los filtros con sacudido mecánico con compartimientos múltiples, en los filtros con aire a la inversa ocurre un ciclo similar que consiste de interrumpir el flujo de gas y permitir que el polvo se asiente antes de que empiece la acción limpiadora. Además, tal como con los filtros con sacudido mecánico, se debe añadir una capacidad adicional de filtración a los filtros con aire a la inversa para compensar por la porción que se encuentre fuera de servicio por limpieza en cualquier tiempo. Algunos filtros con aire a la inversa emplean un sistema suplementario con agitación para ayudar a la limpieza aumentando la cantidad de energía suministrada a la bolsa.

La fuente del aire inverso es, por lo general, un ventilador por separado (ventilador de aire inverso) que es capaz de suministrar aire limpio y seco para uno o dos compartimientos a una relación aire-tela tan alta o más alta que la del flujo de gas ocasionado por el ventilador de aire de escape.

La Fig. 2.16 ilustra un filtro limpiado con aire a la inversa, donde se puede apreciar todo el sistema como los filtros, los ductos, los ventiladores y el flujo del gas desde su ingreso con partículas en suspensión hasta su salida como gas limpio.

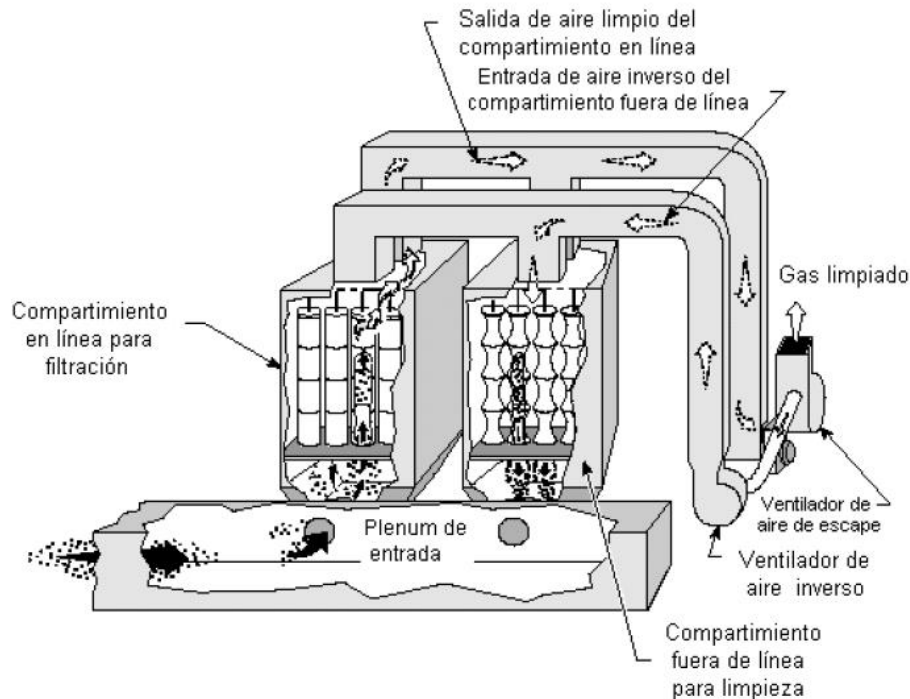


Figura 2.16. -Funcionamiento de un filtro con limpieza con aire a la inversa.

En los filtros de aire inverso, el polvo es recolectado en el lado interior de las mangas. Las mangas son abiertas en el fondo y en la parte superior se sostienen mediante tapas metálicas. Las mangas son conectadas por medio de un resorte de tensión a una estructura de soporte. La tensión en los resortes permite a las bolsas moverse suavemente durante la limpieza. La tensión puede ser ajustada para prevenir que las bolsas no sufran mucho durante limpieza y eventualmente no se desgasten. En el fondo, las bolsas encajan en un recipiente cilíndrico y son atadas mediante abrazaderas o correas Fig. 2.15.

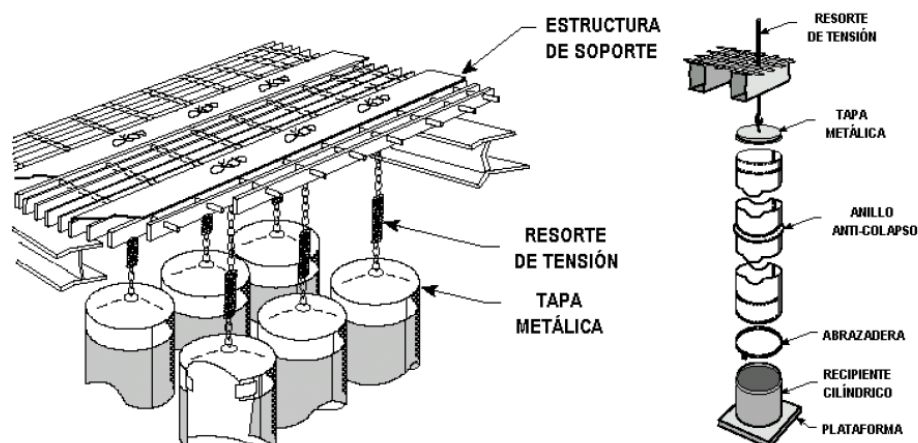


Figura 2.17. -En filtros de aire inverso: A. Montaje de bolsas. B. Construcción de bolsas.



Los anillos de anti-colapso son usualmente hechos de acero al carbono de 3/16, dependiendo de las condiciones del gas, también pueden ser hechos de láminas de cadmio galvanizado o acero inoxidable. Están separados de 61 a 122 cm dependiendo de la longitud y diámetro de la bolsa. Las bolsas para filtros de aire a la inversa suelen ser muy largas, comparadas con las bolsas para filtros Jet-Pulse o de sacudido mecánico, de 20 a 46 cm de diámetro y de 6 a 12 m de longitud.

Ventajas:

- Elevada eficiencia de filtración (superior al 99.9%)
- Relativa baja caída de presión (de 100 a 150 milímetros de columna de H₂O)
- El material es recolectado en forma seca.
- Alta confiabilidad (por su limpieza “suave” con las bolsas, debido a que no ocasiona grandes esfuerzos en ellas)

Desventajas:

- Limpieza fuera de línea.
- Requerimiento de gran espacio.
- Elevado costo inicial.
- Mayor tiempo para el reemplazo de las bolsas que en colectores de pulso de aire (Jet Pulse).
- Mayor dificultad para la detección de mangas filtrantes rotas.
- Elevado consumo de potencia en el motor del ventilador principal de aproximadamente dos veces mayor que para un precipitador electrostático.
- Mayores costos de mantenimiento (por el reemplazo de las mangas filtrantes) en comparación con el cambio de placas en un precipitador electrostático.

2.5.6 Colectores de polvo tipo Plenum Pulse

En los colectores de polvo tipo Jet Pulse, las bolsas son limpiadas por medio de un chorro a presión de aire comprimido. Los colectores de polvo con limpieza por aire comprimido Jet Pulse, por lo general tienen un solo compartimiento. Un colector de polvo tipo Plenum Pulse es una variante de un colector Jet Pulse con compartimientos. En éste caso se utiliza una válvula solenoide localizada encima de cada compartimiento, la cual es usada para detener el flujo de aire sucio hacia cada compartimiento. Cada compartimiento está equipado con todas las herramientas que necesita un colector Jet Pulse. Dicho de otra forma, un colector tipo Plenum Pulse es un conjunto de colectores tipo Jet Pulse accionados independientemente por medio de válvulas solenoides.

Durante el ciclo de limpieza, la válvula solenoide se cierra, impidiendo el ingreso del flujo de gas al compartimiento. La válvula del pulso de aire comprimido abre durante 0.1 segundos aproximadamente permitiendo la limpieza de las bolsas de dicho compartimiento. El compartimiento permanece fuera de línea aproximadamente 30 segundos. La válvula solenoide automáticamente vuelve a abrir, trayendo nuevamente el flujo de gas al compartimiento. Los compartimientos son

limpiados alternadamente hasta que todas las bolsas del filtro han sido limpiadas. El ciclo de limpieza en cada compartimiento dura aproximadamente de 40 a 120 segundos. Este tipo de filtros son frecuentemente instalados en hornos de carbón e incineradores de desechos municipales, permitiendo así la limpieza completa de las bolsas mientras el filtro emite muy bajos niveles de materia particulada.

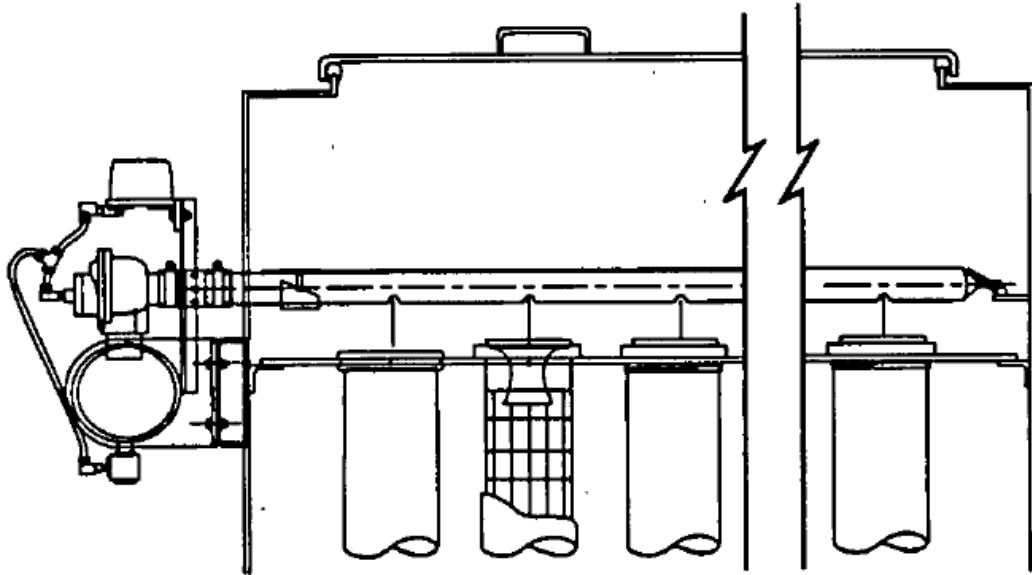


Figura 2.18. Sección transversal de un sistema pulse-Jet

Ventajas:

- Elevada eficiencia de filtración (superior a 99.9%).
- Relativa baja de caída de presión (100 a 150 milímetros de columna de H₂O)
- El material es colectado en forma seca.
- De fácil mantenimiento.
- De menor inversión inicial que un colector tipo Jet Pulse.

Desventajas:

- Limpieza fuera de línea. (off-line cleaning)
- Requiere un gran consumo de aire comprimido.
- De una menor vida útil de mangas filtrantes debido a la gran energía de disparo.
- De un mayor mantenimiento que un colector tipo Jet Pulse, debido a problemas en las válvulas solenoides.
- Por lo tanto, de menor confiabilidad que un colector del tipo Jet Pulse.

2.5.7 Otros tipos de filtros de mangas

Debido a que la limpieza con aire inverso es un método de baja energía comparado con la limpieza con sacudido mecánico o con aire comprimido, se puede requerir energía adicional para obtener una remoción adecuada del polvo. El sacudido mecánico, tal como se describe con



anterioridad, es una de tales maneras de añadir energía. Los otros tipos de filtros de mangas están en función a otras maneras y diseños de añadir energía a la limpieza de las bolsas.

Los filtros de mangas con limpieza por vibración son parecidos a los de sacudido mecánico. Sin embargo, en la limpieza por vibración, las partes superiores de las bolsas están unidas a una placa, en vez de una serie de barras agitadoras tal como en la limpieza con sacudido mecánico. Para limpiar las bolsas, la placa es oscilada en una dirección horizontal a una alta frecuencia. Esto crea una rasgadura en las bolsas que desprende a la pasta del filtro. La limpieza por vibración es la más efectiva para las partículas de tamaño mediano a grande con propiedades adhesivas débiles, por lo tanto este método de limpieza se limita a aplicaciones donde no se necesita la recolección de partículas finas.

Los filtros de mangas de limpieza sónica se usan por lo general para asistir a otro método de limpieza, tal como la limpieza por aire a la inversa. Las bocinas sónicas se encuentran instaladas dentro de los compartimientos del filtro, en donde las bolsas son sacudidas periódicamente con energía sónica. La frecuencia y la amplitud de las ondas sonoras pueden ser ajustadas para maximizar el efecto para un polvo determinado. El shock de la onda sonora causa que se forme una capa delimitadora en la pasta del filtro, esto permite que más partes de la pasta se desprendan durante la limpieza, y así, mejora la eficiencia de limpieza. Más de la mitad de los filtros de aire inverso también utilizan bocinas sónicas, ya sea continua o intermitentemente.

Las bocinas sónicas (de 1 a varias por compartimiento para filtros de mangas grandes) operan típicamente en el rango de 125 a 550 Hz (con mayor frecuencia en el rango de 125 a 160 Hz) y producen presiones de sonido de 120 a 140 decibeles. Cuando se aplica correctamente, la energía sónica puede reducir la masa de polvo sobre las bolsas de manera considerable, pero también puede conducir a un aumento en la penetración de polvo a través de la tela. La penetración aumentada reduce la eficiencia del filtro. Las bocinas sónicas son efectivas como equipo suplementario para algunas aplicaciones que requieren energía adicional para una limpieza adecuada. En ocasiones las bocinas sónicas son usadas como la única fuente de energía para la limpieza.



CAPITULO 3

3. Teoría de Partícula y Medio Filtrante

Los problemas que generan las partículas presentes en el aire están en función del rango de tamaño, de la concentración de la composición física y química de las mismas. Las partículas con un d_p (diam. de part.) entre 1 y 20 μm tienden a seguir el movimiento del gas por cuanto viajan con el; las partículas mayores a 20 μm tienen altas velocidades de asentamiento por tanto el aire las arrastra durante periodos relativamente cortos, dándose una diferencia significativa en el comportamiento de las mismas y por tanto, en el tipo de equipo de control para captar dichas partículas.

Como las partículas son llevadas por un fluido gaseoso es necesario establecer su comportamiento (su dinámica en el gas), para ello se analizan las fuerzas que actúan sobre ella, el régimen de flujo del fluido (caracterizado por el número de Reynolds) y velocidad de asentamiento para poder obtener mecanismos de captación adecuado.

3.1 Comportamiento de la partícula en fluidos

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

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

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

Al aumentar el número de Reynolds, el arrastre disminuye de forma continua generándose una combinación de arrastre por fricción y por presión como resultado de la separación de flujo además, el arrastre por fricción va disminuyendo conforme aumenta Reynolds, tal como se observa en la Fig. 3.1 que describe el comportamiento de una esfera en el aire. También se puede observar en líneas de trazo de la misma figura la curva resultante para un cuerpo discoidal.

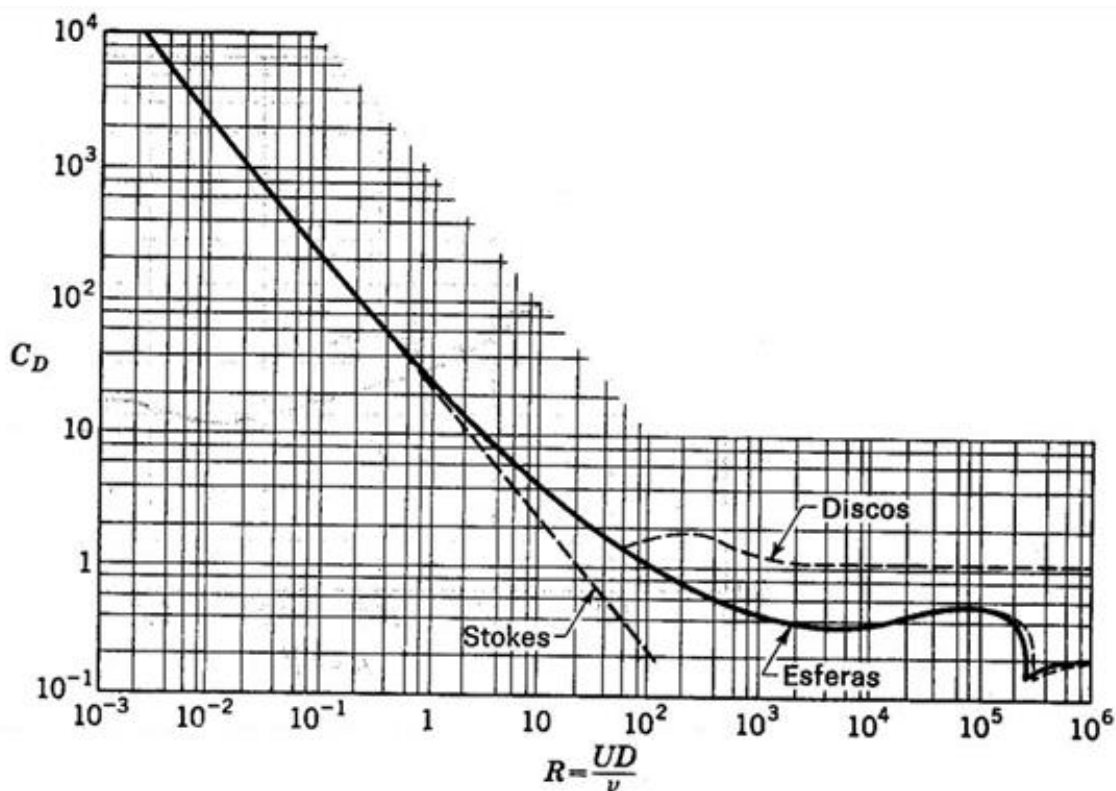


Figura 3.1 Coeficiente de arrastre para una esfera lisa en función del número de Reynolds.

Sin embargo el tamaño de las partículas que se estudian son de diámetro menores a $20 \mu\text{m}$ siendo un factor determinante al evaluar el número de Reynolds, con estos tamaños muy pequeños se obtienen valores de Reynolds menores a la unidad indicando que el comportamiento de dichas partículas en el fluido gaseoso se rige en la zona de flujo laminar o Régimen de Stokes, por cuanto siempre se tiene un arrastre predominante de fricción para dichas partículas. Cabe indicar que para partículas hasta alrededor de $100 \mu\text{m}$ se tienen número de Reynolds muy pequeños, describiendo también su comportamiento laminar.

3.1.1 Fuerza de arrastre

Como se ha dicho anteriormente la componente horizontal de la fuerza neta que ejerce el fluido sobre la partícula en la dirección del movimiento del fluido se llama fuerza de arrastre, la cual se resiste al movimiento de la misma, esta definida como:

$$F_d = \frac{\pi \times d_p^2 \times \rho_g \times v_p \times C_d}{8} \quad \text{Ec. 3.1}$$



Donde: d_p : diámetro de partícula
 ρ_g : densidad del gas (aire)
 v_p : velocidad de partículas
 C_d : coeficiente de arrastre

Considerando que la separación del fluido en la partícula por la presencia de un gradiente adverso de presión, determina que dicha fuerza no se puede obtener de forma analítica, por lo tanto se debe recurrir al coeficiente experimental que se lo denomina coeficiente de arrastre (C_d), el mismo que es función del numero de Reynolds, es decir $C_d = f(Re)$.

Para numero de Reynolds < 1 , donde la estela que se forma en la partícula es laminar (flujo laminar), la fuerza de arrastre que actúa sobre ella esta determinada por la Ley de Stokes, que gobierna el comportamiento de las partículas en el fluido gaseoso y esta dada por:

$$F_d = 3 \times \pi \times \mu \times d_p \times v_p \quad \text{Ec. 3.2}$$

Donde: μ : viscosidad absoluta del fluido (aire)

Comparando las ecuaciones 3.1 y 3.2 se tiene que el coeficiente de arrastre para el régimen laminar o de Stokes es:

$$C_d = \frac{24}{Re} \quad \text{Ec. 3.3}$$

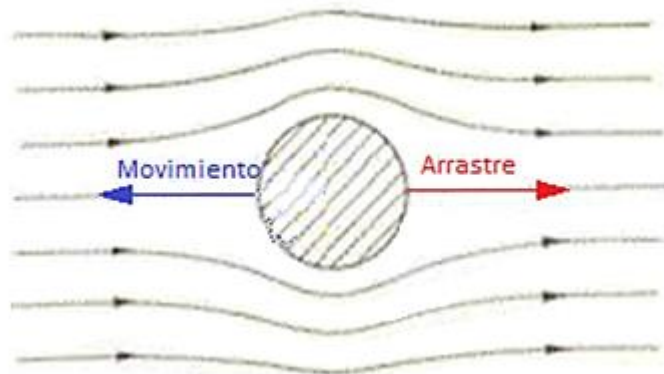


Figura 3.2 Acción de la Fuerza de arrastre.

La Fig. 3.2 describe la acción de la fuerza de arrastre sobre la partícula en movimiento.



Factor de corrección de Cunningham

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

Cunningham dedujo que el coeficiente de arrastre debería reducirse debido al fenómeno descrito anteriormente en partículas muy pequeñas, así tal coeficiente de arrastre es corregido por el factor de Cunningham como se observa en la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{24}{Re \times C_f} \tag{Ec. 3.4}$$

Donde: C_f : factor de corrección de Cunningham

Y se lo calcula como:

$$C_f = \frac{1 + 6,21 \times 10^{-4} \times T}{d_p} \tag{Ec. 3.5}$$

Donde: **T**: temperatura del fluido [°K]
d_p: diámetro de la partícula

O se lo puede obtener a través de tablas como se ve en la tabla II.

Diámetro de partículas (μm)	C _f a diferentes temperaturas		
	70 °F	212 °F	500 °F
0.1	2.88	3.16	5.14
0.25	1.682	1.952	2.528
0.5	1.325	1.446	1.711
1.0	1.160	1.217	1.338
2.5	1.064	1.087	1.133
5.0	1.032	1.043	1.067
10.0	1.016	1.022	1.033

Tabla 3.1 Valores de C_f para aire a presión atmosférica.

3.1.2 Fuerza de Buoyantes

La componente perpendicular al movimiento del aire de la fuerza resultante producida por el flujo sobre las partículas, se la conoce como “Fuerza de Buoyantes” o sustentación que es la misma



que produce la suspensión de las partículas en el aire. Se la define como el peso del fluido desplazado, este concepto se lo puede visualizar a través del siguiente ejemplo:

Si consideramos dos recipientes idénticos, uno conteniendo agua y el otro aire, un pedazo de madera con iguales características se coloca en cada recipiente. Como se aprecia en el recipiente con aire, la fuerza que este genera sobre el pedazo de madera no es tan fuerte para levantarlo como sucede en el recipiente con agua ya que la densidad del aire es mucho menor que la del agua, pero para partículas muy pequeñas el fluido gaseoso produce la fuerza suficiente para mantenerlas en suspensión en un largo o corto periodo de tiempo en función de la velocidad de asentamiento y del tamaño de las partículas.

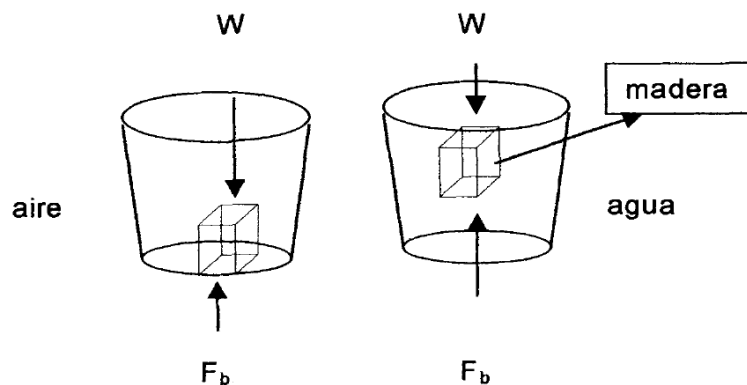


Fig. 3.3 Fuerza de sustentación en diferentes fluidos.

La Fuerza de Buoyantes se la puede escribir como:

$$F_b = \rho_g \times v_p \times g \quad \text{Ec. 3.6}$$

Como las partículas se encuentran sumergidas dentro de todo el gas, entonces la ecuación anterior queda expresada de la siguiente manera:

$$F_b = \frac{\pi \times d_p^3 \times \rho_g \times g}{6} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Donde: g = aceleración de la gravedad.

3.1.3 Fuerza Gravitacional

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



$$F_g = m_p \times g \quad \text{Ec. 3.8}$$

Como la masa de la partícula es igual a su densidad multiplicada por su volumen y si la consideramos una partícula esférica, (volumen de una esfera), se la puede escribir como:

$$F_g = \frac{\pi \times d_p^3 \times \rho_p \times g}{6} \quad \text{Ec. 3.9}$$

Comparando las ecuaciones de fuerza de gravedad y de Buoyantes, se puede ver que son muy similares, con diferencia de sus densidades respectivas. Se tiene que la densidad de las partículas suspendidas es mucho mayor que la densidad del aire, por consiguiente la fuerza de Buoyantes generalmente es despreciada en el balance de fuerzas.

3.1.4 Fuerza Externas

Además de las fuerzas analizadas anteriormente actúan otras fuerzas adicionales sobre las partículas, como son las fuerzas magnéticas, electrostáticas, inerciales y térmicas que afectan al proceso de colección de acuerdo al equipo de control utilizado.

3.1.5. Balance de fuerzas en una partícula.

Una partícula en movimiento en el fluido (aire) es afectada por las fuerzas discutidas con anterioridad, por lo que se puede aplicar la segunda ley de Newton, que establece que la aceleración de la masa de una partícula producida por una fuerza externa es proporcional a la fuerza y en la dirección de la misma. En la siguiente figura 3.4 se indica el balance de las fuerzas aplicadas sobre una partícula en movimiento.

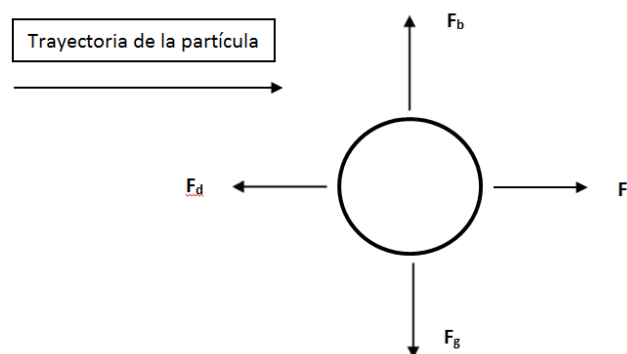


Fig. 3.4 Balance de fuerzas.

La segunda ley de Newton establece que:

$$\sum \mathbf{F} = m \times \frac{dv}{dt}$$



El vector suma de fuerzas es igual a la fuerza resultante “ F_r ” que puede ser escrito como:

$$F_r = F_g - F_b - F_d = m \times \frac{dv}{dt}$$

Previamente se indico que el control de la contaminación del aire la densidad de la partícula es mucho más grande que la densidad del aire y por lo tanto la fuerza de Buoyantes puede ser ignorada. Por otro lado, la fuerza de arrastre sobre la partícula aumenta a medida que se incrementa la velocidad hasta que dicha fuerza sea tan grande como las otras fuerzas, en este punto la fuerza resultante será cero y la partícula no se seguirá acelerando; si la partícula no se acelera, entonces se mueve a una velocidad constante donde todas las fuerzas están balanceadas. Este balance de fuerzas se da en la velocidad terminal de asentamiento o sedimentación, es decir durante la velocidad constante descendente que alcanza la partícula; de acuerdo con lo anterior se tiene:

$$F_r = F_g - F_b - F_d = 0$$

Como “ F_b ” se desprecia tenemos:

$$F_g = F_d$$

Sustituyendo sus valores es:

$$\frac{\pi \times d_p^3 \times \rho_p \times g}{6} = 3 \times \pi \times \mu \times d_p \times v_p$$

Resolviendo para la velocidad de la partícula se obtiene su velocidad de asentamiento en el régimen laminar la cual se la escribe como:

$$V_t = \frac{g \times \rho_p \times d_p^2}{18 \times \mu} \quad \text{Ec. 3.10}$$

3.2 Diámetro característico de la partícula

En el diseño de filtros de mangas es importante conocer el tamaño de partícula que se va a colectar ya que un apropiado diseño depende directamente de un dato certero de tamaño de partícula. Dicho tamaño se define por su diámetro, siempre y cuando sea esférico, sin embargo las partículas solidas no son esféricas sea cual fuere su origen en los procesos industriales o naturales lo que determina que la medición del diámetro no es tan obvia; para lo cual es necesario definir un diámetro equivalente.

Se puede definir los diámetros basados en características físicas y geométricas de la partícula como el área proyectada, área superficial, volumen, masa, etc.; también se puede definir un diámetro



en términos de comportamiento de las partículas en el gas como lo es el diámetro aerodinámico el cual se define como:

“Diámetro de una esfera con la densidad de 1gr/cm^2 que cae libremente en un flujo laminar a la misma velocidad terminal de la partícula no esférica.”

Este diámetro es el utilizado en el diseño de los filtros de manga ya que se rige dentro de la ley de Stokes y es función del tamaño físico, forma y densidad de la partícula. Este diámetro es medido a través del impactador de cascada, el cual hace pasar aire por una serie de orificios por medio de una bomba de vacío, esta corriente de aire cargada de partículas ingresa a alta velocidad al impactador, dentro del equipo y pasa por ocho etapas, en cada etapa existen discos con perforaciones de diversos tamaños que alteran la velocidad del aerosol que continua hacia la siguiente etapa, esto causa que las partículas cuyo diámetro sea mayor que el diámetro de corte de la etapa impacten y se depositen, mientras las pequeñas continúan su camino hacia la siguiente etapa siguiendo las líneas de flujo del aire fuera de la región de impactación. En la siguiente figura se muestra el principio de operación de un impactador de cascada.

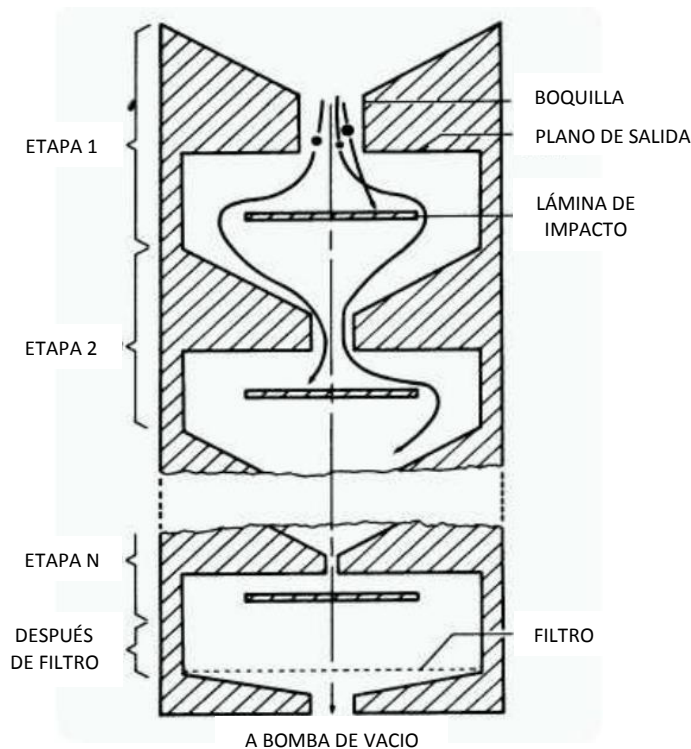


Fig. 3.5 Esquema de un impactador de cascada.

El aire se acelera a velocidades más altas en las etapas sucesivas, retirando partículas cada vez más pequeñas en cada etapa subsecuente. Este proceso continua a través del impactador de cascada hasta que las partículas menores de $0,18\ \mu\text{m}$. son colectadas en el filtro, el cual esta dispuesto en la parte final del impactador.



3.3 Mecanismo de colección de partículas

Los mecanismos principales para la recolección de partículas de los filtros de tela son la impacción inercial, la difusión por movimiento browniano, y la intersección. Durante la filtración por tela, el gas polvoriento es aspirado a través de la tela por ventiladores de corriente forzada. La tela es responsable de parte de la filtración, pero actúa más significativamente como soporte para la capa de polvo que se acumula. La capa de polvo, también conocida como pasta de polvo, es un filtro altamente eficiente, aún para partículas sub-micrónicas. Las telas tejidas dependen de las capacidades de filtración de la pasta de polvo mucho más que de las telas afelpadas.

La captura de partículas durante la filtración por tela es debida principalmente a alguna combinación de impacción inercial, difusión e intersección directa. La recolección también puede ocurrir debido a la sedimentación gravitatoria y la atracción electrostática, pero generalmente en un menor grado. La figura 5.3-1 ilustra estos cinco mecanismos de recolección de partículas.

La impacción inercial ocurre como resultado de un cambio en la velocidad entre un fluido, tal como el aire, y una partícula suspendida en el fluido. A medida que el fluido se acerca a un obstáculo se acelerará y cambiará de dirección para pasar alrededor del objeto. Dependiendo de la masa de la partícula, podría no ser capaz de adaptarse a la aceleración del fluido y se desarrollará una diferencia en velocidad entre la partícula y la corriente de fluido.

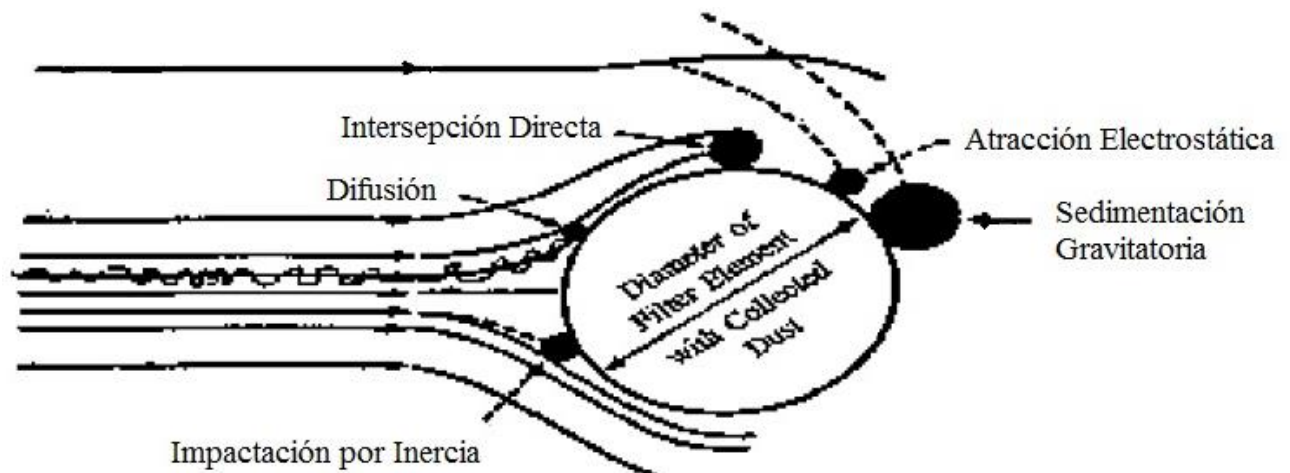


Fig. 3.6 Mecanismos de recolección de la filtración por tela.

La inercia mantendrá el movimiento hacia adelante de la partícula hacia el objeto, pero el fluido tratará de arrastrar la partícula alrededor del obstáculo. El movimiento resultante de la partícula es una combinación de estas fuerzas de arrastre del fluido y de inercia. Esto resulta en la impactación en el caso de las partículas en donde domina la inercia, y el paso libre para aquellas partículas arrastradas por el arrastre del fluido.



La recolección por difusión ocurre como resultado de tanto el movimiento del fluido y el movimiento (al azar) browniano de las partículas. Los efectos de la recolección difusional son más significativos para las partículas menores de 1 micra (μm) de diámetro. Otro mecanismo de recolección, la intersección directa, ocurre cuando una partícula se encuentra dentro de un radio de una partícula de distancia de un obstáculo. El camino que esta partícula tome puede ser el resultado de inercia, difusión, o movimiento de fluidos.

La sedimentación gravitacional, o sea la caída de partículas individuales o aglomeradas, es un mecanismo de recolección menor para las operaciones de filtro de tela. La carga electrostática puede jugar un papel importante en la recolección y la aglomeración de las partículas en algunas situaciones. Con el objeto de maximizar el efecto electrostático, las características de las partículas deben ser entendidas antes de seleccionar la tela.

Debido a la física de cada mecanismo de recolección, el tamaño de las partículas determinará la predominancia de un mecanismo de recolección sobre otro. Por lo general, a medida que el tamaño de las partículas aumenta, la predominancia del mecanismo de recolección por difusión aumenta, suponiendo que los otros parámetros permanezcan constantes. A medida que el tamaño de las partículas aumenta, el mecanismo de recolección por impactación muy probablemente aumentará. La combinación de estos dos efectos principales de recolección contribuye a una eficiencia mínima a un tamaño de partículas determinado, tal como se ilustra en la *Fig. 3.6*, una gráfica de la eficiencia de recolección fraccionada de filtros de tela contra el tamaño aerodinámico de las partículas.

La tela en sí también es un factor en la recolección y la penetración de las partículas. En las etapas de filtración iniciales en donde la tela generalmente se encuentra expuesta, la tela es responsable de cierta filtración. Sin embargo, con mayor relevancia, éste actúa como un soporte para la capa de polvo que se acumula durante el curso de la operación del filtro de tela. El polvo o la pasta del filtro es un filtro altamente eficiente, aún para partículas sub-micrométricas. En términos del tipo de tela, las telas tejidas dependen de las capacidades de filtración de la pasta de polvo mucho más que las telas afelpadas. Esto lo podemos ver fácilmente en la siguiente figura.

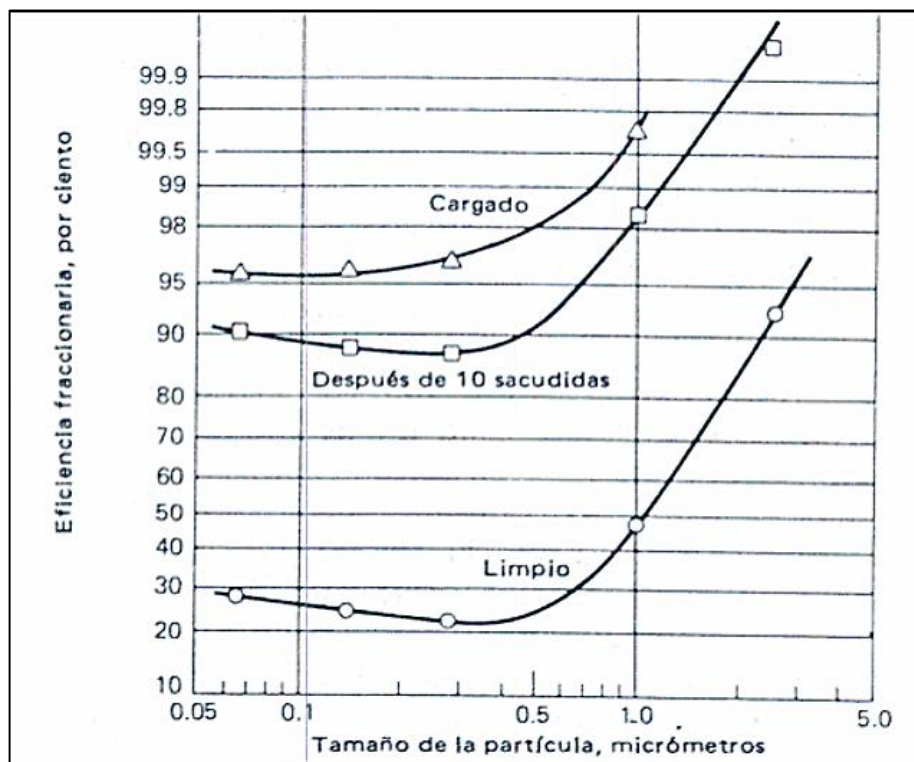


Fig. 3.7 Curvas de eficiencia fraccionaria de un filtro de tela.

La estructura de la tela, particularmente para las telas tejidas, también es muy importante para la recolección de partículas. Los poros grandes y una superficie con un gran espacio libre dentro de la tela contribuyen a una eliminación baja de las partículas. La captura de partículas en las telas tejidas es mejorada por las fibras pequeñas (conocidas como fabriles) las cuales se proyectan dentro de los poros. El polvo se puede depositar sobre los fabriles y hacer puente atravesando los poros, lo cual permite que se acumule una pasta en el filtro y aumente la eficiencia de recolección. Las telas pueden tener tamaños de poro similares y características de recolección muy diferentes debido al número de fabriles que poseen. Las propiedades electrostáticas de las fibras también son críticas. Las diversas fibras tienen diferentes características electrostáticas y de superficie. La intensidad de la carga electrostática de la tela tiene un efecto particular sobre la eficiencia de recolección de partículas y es una función de las propiedades de la tela y de la aspereza de la superficie. La velocidad de la disipación de la carga afecta cómo se libera el polvo de la tela y que tan fácilmente se puede limpiar la tela.

3.4 Características y Tipos de Medios Filtrantes

El proceso de filtración es realizado básicamente por un medio filtrante el cual es la “tela de filtración”, por lo que a los filtros de alta eficiencia también se los llaman filtros de tela o de mangas. Los materiales de fieltro y de tejido son usados para confeccionar los filtros de mangas, dependiendo su aplicación del método de limpieza que se utilice para remover el polvo atrapado en las mangas.



Generalmente, las telas de fieltro se usan en aplicaciones de Pulse-Jet por su mayor durabilidad en sistemas de limpieza mas bruscos, y los tejidos se usan en unidades de sacudido o aire reverso, aunque a veces puede haber excepciones.

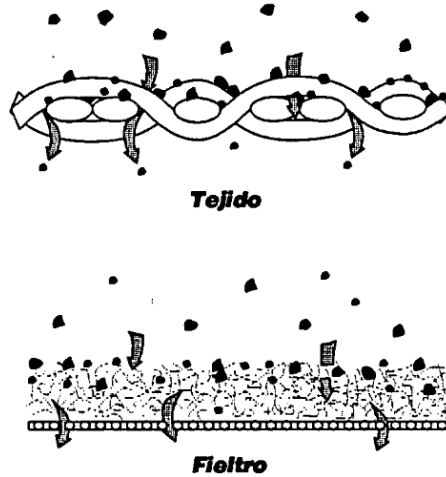


Fig. 3.8 Tipos de telas de filtración.

Construcción de Fieltros

Los fieltros se construyen usando un tejido o “scrim” como base para el fieltro. Una madeja de fibras llamada el batán (batt) se coloca sobre el tejido una base y estos se pasan por untelar. Durante el proceso de alfileteado, las agujas entrelazan las madejas a la base creando un fieltro. Para obtener un mayo espesor de la tela, se puede repetir el proceso anterior.

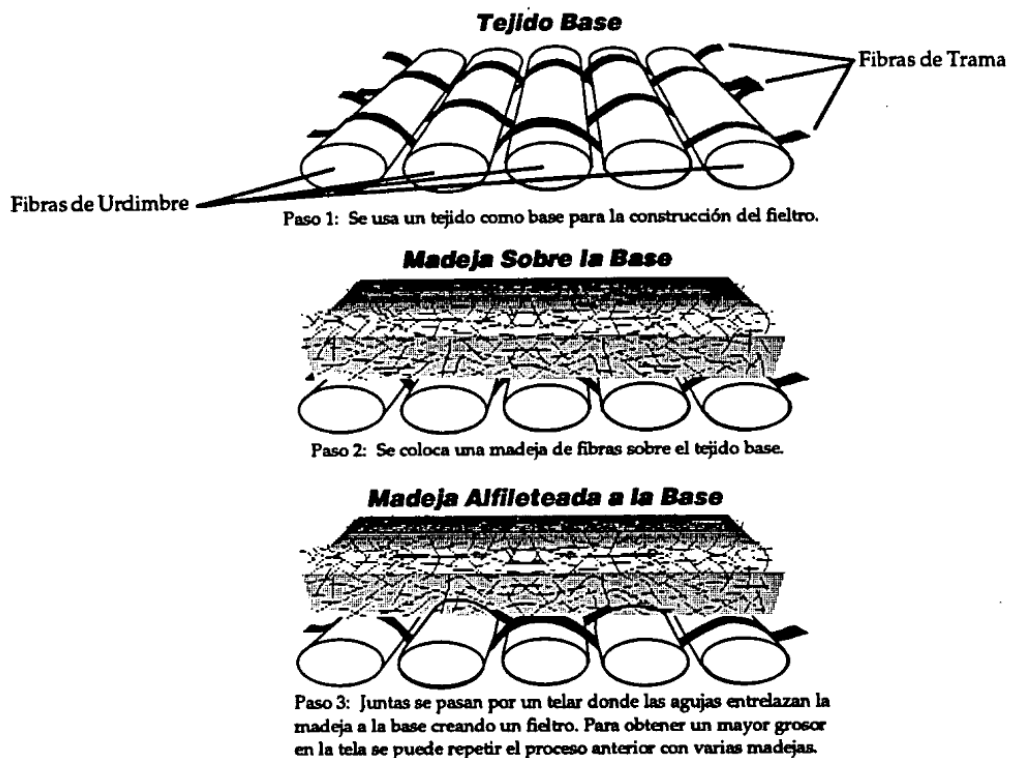


Fig. 3.9 Etapas en la construcción de fieltros



Construcción de Tejidos

Los tejidos se forman utilizando uno o varios de tipos de fibras incluyendo:

Fig. 3.10 Fibras de un filamento, se usan principalmente en filtración húmeda debido a su superficie lisa.



Fig. 3.11 Fibras de muchos filamentos, son una serie de filamentos continuos que se enroscan para formar una superficie tersa y lustrosa. Los filamentos continuos producen una fibra muy resistente.



Fig. 3.12 Las fibras de hilado son fibras estables que se enroscan entre si. Cuando se tejen crean pelusa que ayuda a una mejor filtración.

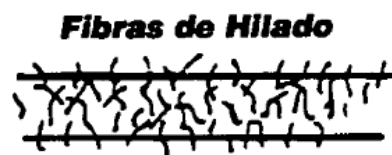


Fig. 3.13 Las fibras de urdimbre se usan en el tejido en la dirección longitudinal y dan fuerza al tejido.

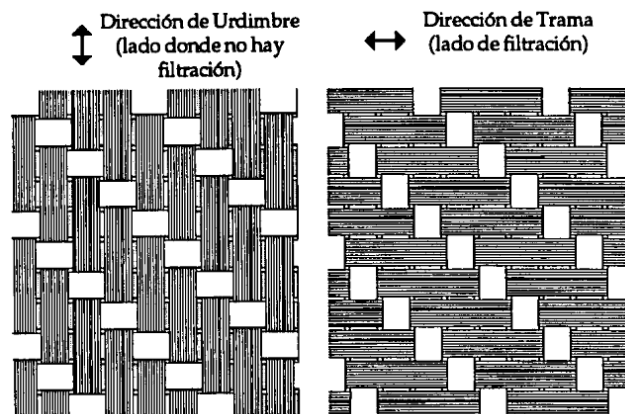


Fig. 3.14 Las fibras de trama van en la dirección de la circunferencia de la bolsa y proporcionan una mayor superficie de colección.

Todas estas fibras producen los tejidos que forman las telas de filtración. Aunque hay muchas variedades de tejidos, la mayoría se puede dividir en dos categorías de tela cruzada de 3x1 o de 2x2. El tejido cruzado de 3x1 tiene más área superficial, la fibra de urdimbre pasa sobre 3 fibras de trama y por debajo de una fibra de trama. Por otro lado los tejidos cruzados de 2x2 se usan en filtración industrial porque proveen mejor eficiencia de filtrado. Este tipo de cruzado tiene mas área superficial en un lado.

Construcción de Fibra de Vidrio

La materia prima utilizada en la manufactura de la fibra de vidrio se combina en tanques y se transporta a hornos de fundición, donde a 1.500 °C aproximadamente, estos materiales e convierten en vidrio fundido que se utiliza para hacer filamentos o canicas. El vidrio fundido se pasa a través de orificios a 1.180 °C convirtiéndose en delgados filamentos.



Todas las fibras de vidrio tienen la misma composición química y los filamentos son del mismo tamaño. Las diferencias en las características de las telas se debe a los métodos usados para su elaboración. Cuando los filamentos pasan a través de las boquillas, se lubrican con almidón y aceite, y después se juntan tuercen, pliegan o doblan para formar fibras. Esto hace que la resistencia, diámetro y flexibilidad de la fibra varíe.

Es común que la tela de filtración de fibra de vidrio que se usen en tejidos de filamentos continuos en la dirección de urdiembre y fibras texturizadas en la dirección de trama. Las fibras texturizadas proveen una mayor área superficial, lo que aumenta el flujo de aire resultando en una mejor recolección de partículas.

3.4.1 Selección de la tela

Es importante al seleccionar la tela, recordar las características mencionadas anteriormente. Al conocer las limitaciones de la tela, se podrá considerar mejor las limitaciones del colector una vez instaladas las bolsas. Los factores más importantes que se deben considerar cuando se va a seleccionar la tela son:

- Temperatura de operación del colector de bolsa.
- Resistencia a la abrasión necesaria para la aplicación.
- Composición química del flujo de aire.
- Capacidad de absorción de energía.
- Relación aire-tela.
- Método de limpieza.

El cuadro siguiente se puede usar como guía de referencia para comparar propiedades de las telas:

	POLIPROPILENO	POLIESTER	ACRILICO	FIBRA DE VIDRIO	NOMEX	RYTON	P84	TEFLON
Max. Temp. de oper.	75 °C	135 °C	140 °C	260 °C	190 °C	190 °C	260 °C	260 °C
Abrasión	Excelente	Excelente	Buena	Media	Excelente	Buena	Media	Buena
Absorción de energía	Buena	Excelente	Buena	Media	Buena	Buena	Buena	Buena
Propo. De Filtración	Buena	Excelente	Buena	Media	Excelente	Muy Buena	Excelente	Media
Hidrolisis de calor húmedo	Excelente	Pobre	Excelente	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Excelente
Alcalinos	Excelente	Media	Media	Media	Buena	Excelente	Media	Excelente
Acidos minerales	Excelente	Media	Buena	Pobre	Media	Excelente	Buena	Excelente
Oxigeno (15%)	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Pobre	Excelente	Excelente
Costo Relativo	X	X	XX	XXX	XXXX	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX

Tabla 3.2 propiedades de las distintas telas



Acabado

El acabado de la tela es una parte importante para el funcionamiento eficaz del filtro. Al igual que con la tela, el acabado debe seleccionarse basándose en variables como la temperatura de operación y la composición química del flujo de aire. El siguiente cuadro muestra acabados para telas que no son de fibra de vidrio, y sus propósitos, y se puede usar como una guía general para la comparación de los acabados:

TELAS QUE NO SON DE FIBRA DE VIDRIO	PROPOSITO	DISPONIBLE EN
Chamuscado	Mejor desalojo de la capa de polvo.	Poliéster, Polipropileno, Acrílico, Nomex, Ryton, P84
Barnizado	Mejor desalojo de la capa de polvo a corto plazo (puede impedir el flujo de aire)	Poliéster, Polipropileno (fieltro)
Silicio	Ayuda a la creación inicial de la capa de polvo y da repelencia limitada de agua.	Poliéster (fieltro y tejido)
Retardante a las flamas	Retarda combustión (no a prueba de fuego)	Poliéster, Polipropileno (fieltro y tejido)
Acabado Acrílico (base látex)	Mejor eficiencia de filtrado y desalojo de polvo (puede impedir flujo de aire en ciertas aplicaciones)	Fieltrros de Acrílico y Poliéster
Laminado y tratamiento d superficie PTFE	Para partículas finas, mejor eficiencia de filtrado y desalojo de polvo.	Nomex, Poliéster, Acrílico, Polipropileno (fieltro) (laminados en Polipropileno, Ryton, Poliéster)
Acabado PTFE de penetración	Mejor repelencia al agua y aceite; limitaciones en el desalojo de polvo.	Nomex (fieltro)
Resistencia ácida	Mejor resistencia al acido y difiere el agua.	Nomex (fieltro)

Tabla 3.3 Tipos y características de los acabados de telas comunes.

Acabados para tela que no son de fibra de vidrio

Para este tipo de telas tenemos dos tipos de acabados mecánicos y tres tipos de acabados químicos, a continuación se describen cada uno de ellos.

Acabados mecánicos: dentro de estos tenemos el Chamuscado que consiste en quemar la superficie de la tela con una flama directa, esto permite mejorar el desalojo de la capa de polvo. El Barnizado que también se le llama vidriado o satinado, en este caso la superficie de la tela se derrite y se comprime para formar un acabado liso que mejora el desalojo de la capa de polvo, pero como contrapartida puede impedir el flujo de aire.

Acabados químicos: tenemos la aplicación de Silicio, lo que consiste en rociar la tela con este material lo que une las fibras y forma una capa de polvo artificial. Si bien repele el agua, puede impedir el flujo



de aire. Membrana de acrílico y PTFE, esta se aplican en la superficie de los fieltros para mejorar el desalojo del polvo y la eficiencia de filtración. Por ultimo tenemos lo que se llama retardante de flama, como su nombre lo indica se utiliza para retardar el tiempo de ignición de la tela.

Acabados para fibra de vidrio

Existen cuatro tipos de acabado que se emplean en telas de fibra de vidrio, a continuación se describirá cada uno de ellos.

SGT(Silicio, Grafito, Teflón): es el acabado mas antiguo, la combinación de estos tres componentes lubrica y protege los filamentos de vidrio para evitar abrasión y provee resistencia a la humedad. Posee poca protección contra productos químicos debe usarse en condiciones con pH moderado.

Teflón B: este acabado compuesto por teflón y titanatos, se aplica a la fibra de vidrio para mejorar el desalojo del polvo. Debido a las características de Teflón B, se requiere mayor cantidad de acabado para proteger los filamentos de vidrio. No ofrece resistencia contra ácidos y debe usarse en condiciones con pH moderado.

Resistencia Acida: para este acabado se utilizan fibras texturizadas de trama, y mejora la resistencia de la fibra de vidrio contra ácidos. Esto no significa que la bolsa sea a prueba de ácidos, de echo en ciertas circunstancias extremas puede sufrir un ataque acido. Pero si mejora considerablemente su desempeño en estas condiciones.

Blue Max CRF-70: es el acabado más nuevo para la fibra de vidrio, ofrece máxima protección contra sustancias químicas y también ofrece resistencia contra las alcalinas.

FIBRA DE VIDRIO	PROPOSITO DEL CABADO	DISPONIBLE
Silicio, Grafito, Teflón	Protege la fibra de vidrio contra abrasión y la lubrica.	Condiciones sin acido, aplicaciones de cemento y fundición de metales.
Resistencia Ácida	Protege la fibra de vidrio contra ácidos.	Calderas de carbón, negro de humo, incineradores, cemento, calderas industriales y municipales.
Teflón B	Mejor resistencia a la abrasión; limitada resistencia química.	Calderas industriales y de servicios públicos con condiciones de pH moderado.
Blue Max CRF-70	Mejor resistencia ácida y desalojo de polvo, mejor resistencia de abrasión, y contra álcalis, mejor encapsulado de fibra.	Calderas de carbón (alto y bajo azufre), calderas de lecho fluido, negro de humo, incineradores.

Tabla 3.4 Tipos y características de los acabados para fibra de vidrio.



CAPITULO 4

4 Consideraciones Preliminares de Diseño.

El diseño de un Filtro de mangas requiere entender que este es parte de un proceso, por lo tanto se debe contemplar todo el proceso; y esto involucra tanto al gas como a la instalación. En lo que respecta al gas se deberá tener en cuenta, la temperatura del mismo, su composición química, el tipo de partícula que transporta y el diámetro de partícula equivalente. Por otro lado en lo que hace referencia a la instalación se deberá considerar, la distancia que recorre el gas, el caudal que debe circular por las cañerías, la caída de presión del sistema, los tipos de equipos a desempolvar, el medio filtrante y el sistema de limpieza.

El medio filtrante será definido por la característica del aire a desempolvar y por el tipo de sistema de limpieza, que en este caso se ha seleccionado el tipo Pulse-Jet. En estos sistemas se emplean telas de fieltro (afelpada) que tienen altas relaciones de gas a tela, usualmente es el doble de las telas tejidas utilizadas en los sistemas mecánicos o flujo reverso. La diferencia entre la tela tejida y el fieltro esta en que la tela actúa como substrato para la formación del “pastel” de polvo siendo este el medio de filtración real; por otro lado el fieltro juega un papel mas activo en el proceso de filtración, ya que no solo el “pastel” de polvo que se genera funciona como medio filtrante, sino también el fieltro, además favorece que la formación de ese “pastel” de polvo se genere de forma mas rápida.

Para determinar de qué manera afecta esta capa de polvo que se adhiere a las bolsas a la pérdida de presión, se realizan ensayos o pruebas de filtración que determina la caída de presión a través de la tela, la descarga de pastel durante la limpieza, la eficiencia de colección y el periodo de filtración y limpieza. En la *Fig. 4.3* se muestra una curva de estos ensayos.

El dimensionamiento de un filtro de mangas se realiza a partir del criterio de diseño de la velocidad de filtración o lo que es lo mismo, de la relación aire/tela. La velocidad de filtración tiene un valor de compromiso, ya que si es bajo aumenta la superficie filtrante, y si es demasiado alto, aumenta la frecuencia de limpieza, acortando la vida del filtro y provocando una compactación excesiva de la capa de polvo depositada.

4.1 Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a desempolvar.

Un sistema de desempolvado puede ser concebido para atender uno o más puntos dentro del proceso. Por ejemplo, en el blanchado del maní un sistema puede encargarse desde la descarga del transporte del horno hasta el elevador que alimenta la tolva para cargar el maní pelado en los “Big-bag”, ocupándose también de las blanchadoras y la selectora electrónica, teniendo en cuenta con



antelación el volumen de aire que hay que ventilar en cada uno de los puntos que se incluyen dentro del proceso; esto es lo primero a determinar para cualquier sistema de desempolvado.

Existen estándares recomendados de acuerdo a cada aplicación al aire ambiente, la suma de los volúmenes de aire de cada uno de los puntos a desempolvar será el volumen total que el sistema manejará y el dato inicial para el diseño del colector.

En la tabla siguiente se dan algunos ejemplos de la cantidad de aire requerido para cada aplicación y teniendo en cuenta o considerando la posición del punto de captura.

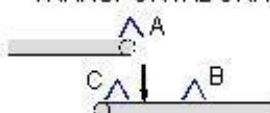

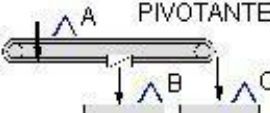
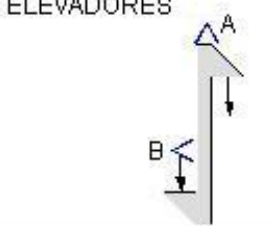
Equipo	Tam. (mm)	m³/h	Valores/consideraciones			m³/h	
			A	B	C		
BANDAS TRANSPORTADORAS 	650	4250	1500	1750	1000		
	850	5250	2000	2250	1000		
	1000	6500	2500	2750	1250		
	1200	7750	3000	3250	1500		
	1400	8750	3500	3750	1500		
	1600	10'000	4000	4250	1750		
ALIMENTADORES DE PLACAS 	800	6500	3500	2000	1000		
	1000	7500	4000	2500	1000		
	1200	8750	4500	3000	1250		
	1400	9750	5000	3500	1500		
	1600	10'000	5500	4000	1500		
ALIMENTADORES PIVOTANTES 	800		2500	9000	9000		
	1000		3000	10'000	10'000		
	1200		3500	11'000	11'000		
	1400		4000	12'000	12'000		
ELEVADORES 			CADENA m³/h		BANDA m³/h		
			A	B	A	B	
	400		1250	1000	2000	1000	
	500		1500	1000	2250	1000	
	630		2000	1250	2500	1250	
	800		2500	1250	3000	1250	
	1000		3000	1500	3500	1500	
	1250		3500	1500	4500	1500	
1600		4000	1500	6000	1500		
RASCADORES Y TORNILLOS SIN FIN	200	500	POR CADA 10 METROS				
	250	500					
	315	500					
	400	750					
	500	750					
	630	1000					
	800	1000					
1000	1250						
DESGLIZADORES			120% DEL SOPLADOR				
MALLA CLASIFICADORA		50	POR TON/H ABIERTO				
ZARANDA VIBRATORIA		450	POR M2 CERRADO				
MALLA GIRATORIA		600	POR M2 CERRADO				

Tabla 4.1 – Cantidad de aire requerido en función del equipo a desempolvado.



En el caso de las blanchadoras que son los equipos encargados de quitarle la “piel” al maní el dato de la cantidad de aire requerido se tomo de un fabricante de estos equipos. Según la cantidad de maní procesado este valor puede estar entre 30 y 50 m³/min., para este caso se tomará un valor promedio de 40 m³/min.

4.2 Relación Aire-Tela

La velocidad de filtración utilizada para obtener la caída de presión total se la conoce como la relación aire–tela y se la define como la razón entre el volumen de aire filtrado y el área del medio filtrante.

$$V_f = \frac{Q_{AIRE}}{A_{NETA}}$$

Ec. 4.1

Donde: V_f : Velocidad de Filtración (Relación Aire – Tela) [m/s]
 Q_{aire} : Caudal del aire con concentración de partículas [m³/s]
 A_{neta} : Área neta de tela de filtración [m²]

Se busca determinar la relación aire–tela, que produce el óptimo entre la caída de presión y el tamaño del filtro. La proporción aire–tela es difícil de estimar a priori; sin embargo, los fabricantes ofrecen junto con los equipos, ecuaciones y nomogramas que permiten obtener ésta relación para filtros de mangas pulse jet, donde se relacionan la temperatura de operación, tamaño de la partícula, carga de polvo y la indicación de aplicabilidad según el material a filtrar; la Ec. (4.2), es una de las utilizadas (Owen et al, 1985).

$$V_f = 2.878ABT^{-0.2335}C_e^{-0.0602}(0.7471 + 0.0853LnD_p)$$

Ec. 4.2

Donde: V_f : Relación aire – tela en ft/min
A: Factor de material
B: Factor de aplicación
T: Temperatura de aplicación, entre 50 y 275°F
 C_e : Carga de polvo a la entrada, entre 0.05 y 100 g/ft³
 D_p : Diámetro de partícula, entre 3 y 100 μm



4.3 Velocidad Ascendente

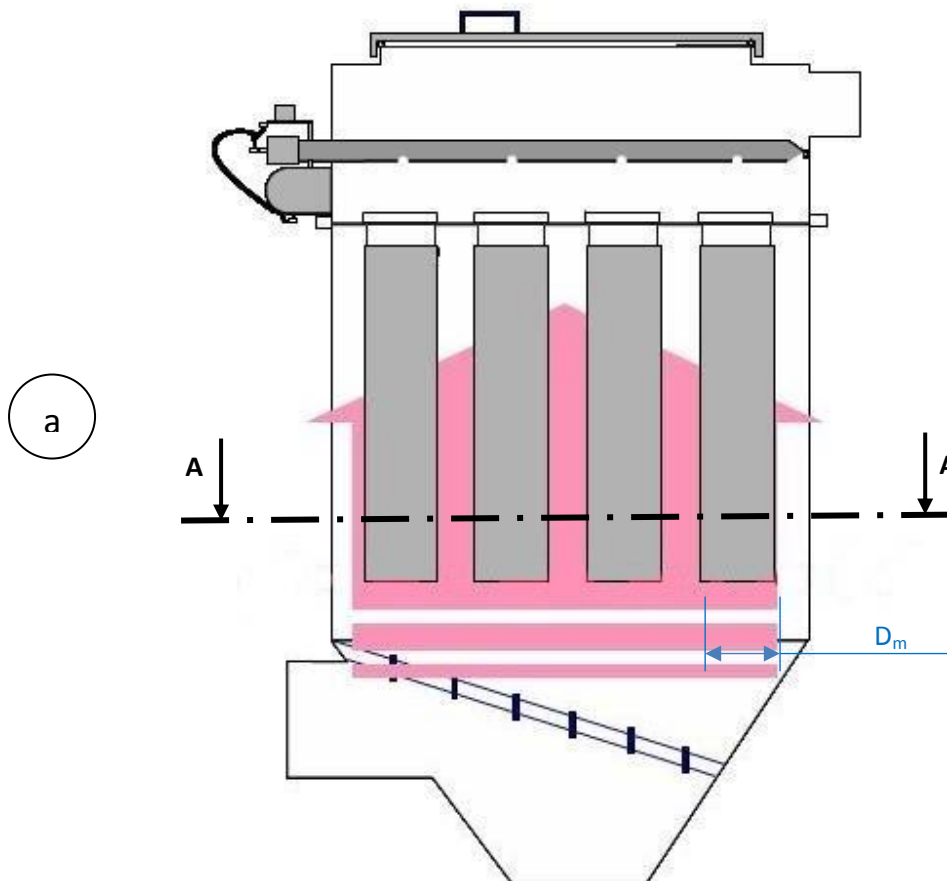
La velocidad ascendente, es la velocidad del gas sucio calculada teóricamente entre las mangas del filtro en la parte inferior de la manga. La máxima velocidad permitida depende de la dirección del flujo de gas entre las mangas y la velocidad final de las partículas grandes que han caído a la tolva por gravedad luego de ser impactadas contra los deflectores. Usualmente, el valor de la velocidad ascendente que debe mantenerse en el sistema es de 1,0 m/s o máximo 1,3 m/s (EPA, 1998). La velocidad ascendente se calcula usando la Ec. (4.3)

$$V_a \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{Q \left[\frac{m^3}{s} \right]}{A_i \left[m^2 \right]}; A_i = a[m]b[m] - C_m \left(\frac{\pi D_m^2 \left[m^2 \right]}{4} \right)$$

Ec. 4.3

Donde: A_i : Área libre (m^2).

- a: ancho de la cámara de limpieza (m)
- b: largo de la cámara de limpieza (m)
- C_m : número de mangas del filtro
- D_m : diámetro de las mangas (m)



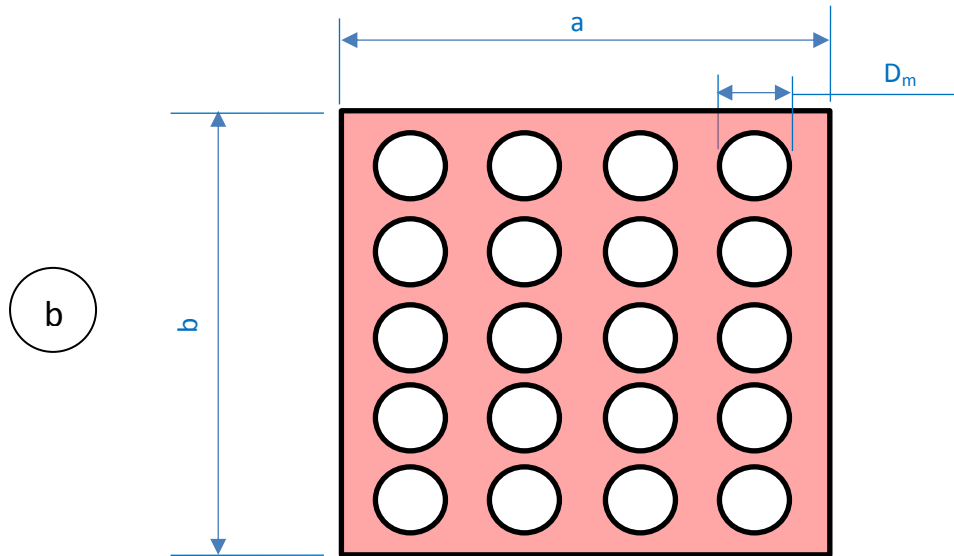


Fig. 4.1- a) Flujo ascendente de aire sucio a través del filtro. b) Sección A-A del Filtro de mangas que representa el área libre.

4.4 Caída de Presión

La caída de presión total a través de un filtro de mangas ΔP , durante la operación de filtrado está dada por la suma de las caídas de presión a través de la tela limpia ΔP_f , de la capa de polvo formado en las mangas ΔP_p , y de la estructura ΔP_s . Puede expresarse como lo indica la Ec. (4.4).

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_p + \Delta P_s$$

Ec. 4.4

La caída de presión a través de la estructura puede considerarse despreciable una vez que el filtro está en funcionamiento. Para reducir la caída de presión total a un valor razonable es necesario limpiar periódicamente el filtro.

La caída de presión tanto para el filtro limpio como para la formación de la capa de polvo se la puede representar por medio de la ecuación de Darcy, aplicable para flujo de fluidos a través de medios porosos; en forma general (6):

$$\frac{\Delta P}{X} = \frac{V \times \mu_g}{K}$$

Ec. 4.5



Donde:

- X: Profundidad del filtro o de la capa de polvo
- K: Permeabilidad del filtro o de la capa de polvo
- μ_g : Viscosidad del gas
- V: Velocidad superficial de filtración

Si despreciamos la caída de presión de la estructura y escribimos la caída de presión total en términos de la ecuación de Darcy, tenemos (6):

$$\Delta P = \frac{X_f \times \mu_g \times V}{K_f} + \frac{X_p \times \mu_g \times V}{K_p} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Donde los subíndices “f” y “p” indican la tela limpia y la capa de polvo respectivamente. La caída de presión de la tela limpia ΔP_f debe ser esencialmente constante, por tanto, la caída de presión total depende de la variación en la caída de presión de la capa de polvo según se vaya acumulando ésta sobre la tela; es decir que ΔP_p varía en función del espesor de la capa de polvo X_p , y ésta a su vez en función del tiempo de operación “t”, ya que la capa de polvo crece a medida que transcurre el tiempo.

La masa de polvo acumulada en el tiempo “t” equivale al gasto volumétrico (caudal de aire Q) multiplicado por dicho tiempo y por la carga de polvo en la corriente del gas.

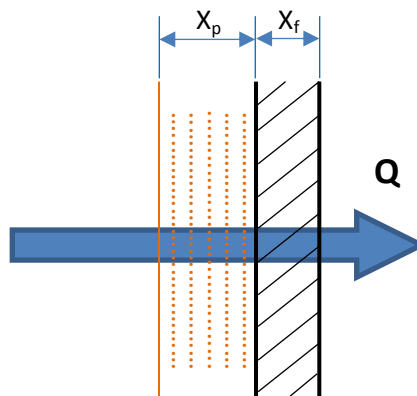


Fig. 4.2- Caudal de aire a través de la capa de polvo y de la tela filtrante.

Por otro lado la masa acumulada también es equivalente a la densidad de la capa sobre la superficie del filtro, multiplicado por el volumen de la capa recolectada en el tiempo “t”. Si igualamos estas equivalencias llegamos a la siguiente expresión:

$$\text{Masa recolectada} = (V \times A) \times (t) \times C = \rho_L \times (A \times X_p) \quad \text{Ec. 4.7}$$



Igualando términos y operando llegamos a una expresión que determina el incremento del espesor:

$$X_p = \frac{C \times V \times t}{\rho_L}$$

Ec. 4.8

Donde:

- C: Carga de polvo o concentración
- V: Velocidad superficial de filtración
- t: Tiempo de operación
- ρ_L : Densidad de la capa de polvo

Remplazando la ecuación (4.8) en (4.6) y ordenando se obtiene:

$$\Delta P = \frac{X_f \times \mu_g}{K_f} \times V + \frac{\mu_g}{K_p \times \rho_L} \times (C \times V \times t) \times V$$

Ec. 4.9

4.5 Arrastre a través del filtro

La relación entre la caída de presión total y la velocidad superficial de filtración se conoce como el arrastre a través del filtro y puede caracterizarse a través del factor de resistencia “S”; dividiendo la ecuación anterior por la velocidad de filtración, se obtiene (3):

$$S = K_1 + K_2 W$$

Ec. 4.10

- Donde: K_1 : Factor resistencia tela (mmCa s/m)
 K_2 : Factor resistencia partículas (mmCa m s/g)
W: Densidad de área de polvo o densidad no real = $(C \times V \times t)$ [g/m²]

Se cuenta con valores tabulados para los factores de resistencia K_1 y K_2 ; para diferentes materiales de mangas y distintos materiales particulados. La *Fig. 4.3* muestra la curva de funcionamiento típica de un filtro de mangas (Cooper, y Alley, 1994).

El modelo lineal presentado por la ecuación (4.10) es llamado también como modelo de arrastre del filtro, la evaluación de los parámetros K_1 y K_2 , es inapropiado debido que no se puede obtener tan fácilmente los valores de permeabilidad de la capa de polvo como de la tela limpia.



Para poder obtener el arrastre en el filtro se escribe la ecuación (4.10) como (3):

$$S = K_e + K_s W$$

Ec. 4.11

Donde:

K_e : Valor extrapolado del filtro limpio

K_s : Pendiente, constante de las partículas de polvo, gas y tejido implicados en la filtración

Las constantes K_e y K_s son obtenidas empíricamente en un banco de pruebas durante "la prueba de filtración" en la cual se toman las caídas de presión para diferentes intervalos de tiempos de operación con una concentración determinada. La Fig. 4.3 muestra la curva de funcionamiento típica de un filtro de mangas donde se representa el arrastre del filtro en función de la densidad del polvo:

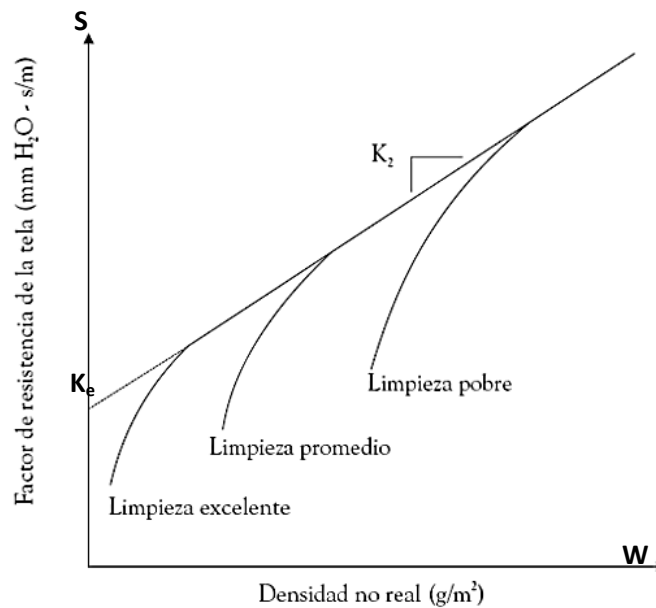


Fig. 4.3- Curva típica de funcionamiento de un filtro de mangas para diferentes grados de limpieza

Al inicio del proceso el flujo a través de la tela no es uniforme por lo que la porción inicial de la curva no es lineal, en esta parte se forma una torta irregular de polvo. A medida que transcurre el tiempo de filtrado, el arrastre se incrementa linealmente al aumentar la densidad de área del polvo, W, hasta alcanzar el máximo arrastre permisible donde se inicia la limpieza de las mangas, en un tiempo muy corto, y luego recomienza la filtración, completando así el ciclo general de filtrado; la parte lineal de la gráfica se la conoce como zona de filtración efectiva.



El trabajo modelado para enfocar la característica de limpieza continua (en línea) fue desarrollado por Dennis y Klemm que propusieron el modelo siguiente de arrastre para un filtro de mangas tipo pulse - jet:

$$S = S_e + (K_2)_c W_c + K_2 W_o \quad \text{Ec. 4.12}$$

Donde:

S = Arrastre del filtro

S_e = Arrastre del filtro limpio

$(K_2)_c$ = Resistencia específica del polvo reciclado

W_c = Densidad de área de polvo reciclado

K_2 = Resistencia específica de polvo recientemente depositado

W_o = Densidad de área de polvo últimamente depositado

En este modelo lineal de arrastre se pueden distinguir bien las tres fases de filtración que ocurren en un baghouse pulse - jet, las cuales son: filtro limpio, polvo re depositado y polvo nuevo depositado; sin embargo, los valores de S_e , $(K_2)_c$ y W_c pueden asumirse como constantes para poder agruparse como (2), (5):

$$\Delta P = (PE)_{\delta w} + K_2 W_o V_f \quad \text{Ec. 4.13}$$

Donde:

ΔP = Caída de presión total

$(PE)_{\delta w} = [S_e + (K_2)_c W_c] V_f$

V_f = Velocidad de filtración

Esta ecuación describe el comportamiento de la caída de presión de una manga individual, pero determina también la caída de presión de todas las bolsas debido que el arreglo de las mangas se encuentra en paralelo.

La ecuación 4.12 se obtiene del concepto de arrastre aplicado a la filtración, ya que dicho arrastre es igual a la razón entre la caída de presión y la velocidad de filtración. El inconveniente de esta es que las constante S_e , $(K_2)_c$, y W_c no pueden predecirse fácilmente, por lo tanto se deben emplear datos obtenidos de ensayos de laboratorio para determinar el valor de $(PE)_{\delta w}$ (5).

Para la combinación del polvo - tejido de Dacrón afelpado, Dennis y Klemm desarrollaron una relación empírica que involucra a $(PE)_{\delta w}$, con la relación gas - tela (velocidad de filtrado) y la presión



de limpieza de pulso; esta relación (convertida de las unidades métricas a las inglesas) es como sigue (5):

$$(PE)_{\delta W} = 6.08 V_f P_j^{-0.65}$$

Ec. 4.14

Donde:

V_f : Velocidad de filtración (ft/min)

P_j : Presión del pulso de limpieza (psi)

Esta ecuación es esencialmente un ajuste de la regresión para una cantidad limitada de datos de laboratorio y no debe ser aplicado a otras combinaciones de polvo - tejido (2); la presión de pulso que se utiliza en la limpieza normalmente se aplica entre 60 y 100psi.

La caída de presión para las bolsas puede calcularse aplicando las ecuaciones 4.13 y 4.14 dadas anteriormente, si los valores de los varios parámetros relacionados son conocidos; frecuentemente estos no se conocen, pero una máxima caída de presión de 2 a 10 Pulg H₂O a través del baghouse y 10 a 20 Pulg H₂O a través del sistema completo puede asumirse si contiene muchos conductos de trabajo.

Aplicando las ecuaciones anteriores y dejando la caída de presión en función del tiempo de filtración se obtiene el comportamiento de un baghouse pulse - jet con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = 6.08 V_f P_j^{-0.65} + K_2 V_f^2 C_e t_f$$

Ec. 4.15

Donde:

ΔP : Caída de presión total del filtro (Pulg H₂O)

V_f : Velocidad de filtración (ft/min)

K_2 : Coeficiente de resistencia específico del polvo (Pulg H₂O / ft/min-Lb/ft²)

C_e : Concentración de polvo a la entrada del filtro (Lb/ft³)

t_f : Tiempo de filtración (min)

Aunque hay mucha variabilidad, los valores de K_2 se encuentran desde 1.2 a 30 - 40 Pulg H₂O / ft/min-Lb/ft²; las concentraciones de entrada más comunes varían de menos de 0.05 a más de 100gr/ft³, sin embargo un rango casi típico es de aproximadamente 0.5 a 10gr/ft³ (5).

Los tiempos de filtración pueden ir de aproximadamente 20 a 90 minutos para baghouses de funcionamiento continuo, pero se encuentran más frecuentemente de 30 a 60 minutos.



Basado en pruebas dirigidas por Dennis y Frazier a varias velocidades de filtración, con diferentes tipos de polvo (polvos de ceniza volante, mica y talco) y diferentes distribuciones de medida de partículas (con el diámetro medio geométrico de masa entre 2.5 y 16µm), Davis desarrolló una ecuación empírica para la predicción de K_2 como sigue (16):

$$K_2 = \frac{0.00304}{(d_{g,masa})^{1.1}}$$

Ec. 4.16

Donde:

K_2 = Permeabilidad de la capa de polvo (cm H₂O / m/s-Kg/m²)
 $d_{g,masa}$ = Diámetro medio geométrico de masa (m)

La ecuación está basada en una velocidad de filtración de 3ft/min (0.0152m/s), una densidad de partículas de 2.6g/cm³ (2600Kg/m³) y la viscosidad absoluta del gas a temperatura ambiente (70°F – 21°C) $\mu_g=1.81 \times 10^{-5}$ Kg/m-s. La ecuación muestra que K_2 es inversamente proporcional al diámetro medio geométrico de masa. Encontraron que K_2 estaba también afectado por la velocidad del gas (16). Dennis y Davis encontraron que K_2 era proporcional a la velocidad elevado a la 0.5 - 1.0 ($K_2 \propto V^x$). Este efecto de la velocidad es debido en parte a la influencia que la velocidad tiene sobre la densidad de empaquetamiento del polvo como es filtrado (16).

Basados en la ecuación 4.15 desarrollaron (tomando en consideración un efecto de velocidad asumida sobre K_2 con $x=0.6$, y los efectos teóricos de ρ_p y μ_g) la siguiente ecuación que provee un estimado de K_2 para otras condiciones (16):

$$K_2 = \frac{0.00304}{(d_{g,masa})^{1.1}} \left(\frac{\mu_g}{\mu_{g,70F}} \right) \left(\frac{2600}{\rho_p} \right) \left(\frac{V_f}{0.0152} \right)^{0.6}$$

Ec. 4.17

Donde:

K_2 = Permeabilidad de la capa de polvo (cm H₂O / m/s-Kg/m²)
 $d_{g,masa}$ = Diámetro medio geométrico de masa (m)
 μ_g = Viscosidad absoluta del gas a la temperatura de operación en °F (Kg/m-s)
 $\mu_{g,70F}$ = Viscosidad absoluta del gas a temperatura ambiente (70°F - 21°C) = 1.81×10^{-5} Kg/m-s
 ρ_p = Densidad de la partícula (Kg/m³)
 V_f = Velocidad de filtración (m/s)



Esta ecuación, aunque está basada en datos limitados, provee una buena indicación del efecto relativo de los varios parámetros considerados. También se ha encontrado que K_2 es afectado por la humedad y carga electrostática, los cuales tienden a decrecer K_2 tanto como ellos son incrementados

Por lo tanto, es recomendable, cuando sea posible, que K_2 sea determinado por ensayos en un banco de pruebas, ya que es una función de algunos parámetros los cuales pueden ser desconocidos.

4.6 Campana de captura

Las campanas de extracción o captura son dispositivos empleados para la captación del aire contaminado. Presentan varios diseños y formas logrando la captación del polvo directamente de la campana o a través de una cabina. En este caso en particular no tenemos cabinas de captación en el proceso de blanchado del maní, por lo que toda la aspiración se hace por campanas.

Se entiende que una campana es eficiente cuando recoge efectivamente el contaminante, con el mínimo de extracción de aire y sin interferir en el proceso. Con el fin de optimizar los requerimientos de potencia, se debe determinar para cada situación, la velocidad mínima conveniente de captura. Esta velocidad de captura constituye por tanto, la primera especificación de diseño.

Se han establecido expresiones sencillas que son muy útiles para relacionar cuantitativamente el flujo, la velocidad de captura, la distancia entre el contaminante y el área de abertura de la campana. En la Tabla 4.2 se muestran los rangos de velocidades de captura para los diferentes procesos, dependiendo de la forma como se dispersa el contaminante.

CONDICIONES DE DISPERSION DEL CONTAMINANTE	EJEMPLOS	VELOCIDAD DE CAPTURA
Liberación con velocidad prácticamente nula en aire en reposo.	Evaporación, desengrase.	0,25 – 0,50
Liberación a baja velocidad en aire en movimiento moderado.	Soldadura, baños electrolíticos, decapado.	0,50 – 1,00
Generación activa en una zona de rápido movimiento.	Aplicación aerografía de pinturas, llenado de recipientes.	1,00 – 2,50
Liberación con alta velocidad inicial en una zona de movimiento rápido del aire.	Pulido, desbarbado, operaciones de abrasión.	2,50 – 10,0

Tabla 4.2 – Valores recomendados para las velocidades de captación.

La cantidad de energía requerida para que la campana funcione de manera apropiada se la conoce como presión estática de la campana (PEC). Esta presión tiene dos componentes básicos que son, la presión de velocidad (PV) y las pérdidas a la entrada (He). Matemáticamente sería:

$$PEC = PV + He \quad \text{Ec. 4.18}$$

Donde: $He = F_c \times PV$ (F_c es el factor de pérdida de la campana)

Todos los términos de esta ecuación son positivos, aunque se sabe que PEC es una cantidad negativa, ya que se encuentra ubicada antes del ventilador. El factor de pérdida F_C se puede determinar de la Fig. 4.4.

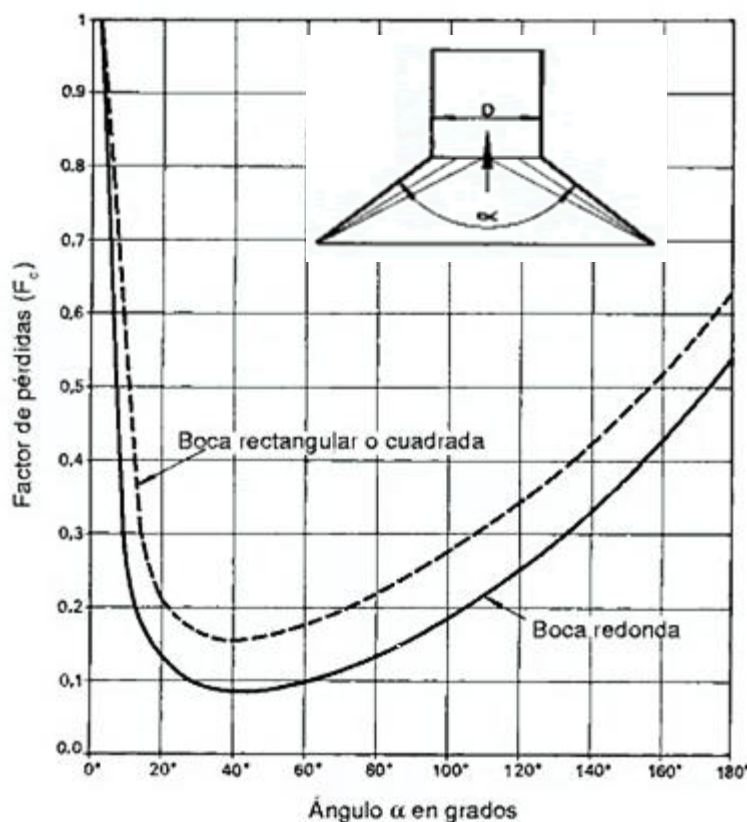


Fig. 4.4 – Factor de pérdida F_C en la entrada de la campana.

En las campanas rectangulares, α es el ángulo mayor. La superficie de la boca proyectada debe ser como mínimo dos veces la sección del conducto.

La eficiencia de una campana puede describirse por la relación entre el flujo real y el ideal, a esta relación se le llama coeficiente de entrada C_e . El flujo ideal se obtiene cuando toda la presión estática en la campana se convierte en presión de velocidad, es decir, no hay pérdida en la entrada de la campana. Esto en la realidad es imposible ya que nunca hay una conversión de un 100% de eficiencia de presión estática a presión de velocidad.

4.7 Diseño de ductos

La función de los ductos en un sistema de aspiración, como es el caso de este filtro de mangas, es la de otorgar un canal para transportar el aire compuesto por partículas de polvo y “piel” del maní hasta el punto de descarga, pasando previamente por el filtro de mangas. El diseño de los ductos se realiza en este caso por el “Método de Equilibrio por Compuertas” donde se diseñan todos los ductos del sistema con la misma velocidad mínima de transporte. Una vez dimensionado el sistema, se



calculan todas las pérdidas de presión de las rutas de cada ramal y se selecciona el ventilador con la ruta que ofrece mayor resistencia.

En la selección de los conductos se deberá tener en cuenta dos factores:

- 1) Velocidad del fluido, que no debe ser menor a una velocidad mínima denominada “velocidad de transporte”.
- 2) Pérdidas de carga, el conducto y los accesorios deben ofrecer la menor resistencia al flujo del gas.

Velocidad de Transporte

Los valores de velocidad de transporte en ductos están tabulados en función de la naturaleza del contaminante, se utilizan frecuentemente las recomendaciones dadas por la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist) presentadas en la Tabla 4.3

NATURALEZA DEL CONTAMINANTE	EJEMPLOS	VELOCIDAD EN CONDUCTO (M/S)
Vapores, gases, humos y polvos muy livianos.	Todos los vapores, gases, humos y polvo fino de algodón.	7 – 13
Polvos secos de densidad mediana.	Polvo de madera y de caucho, hilachas de yute.	13 – 18
Polvos industriales corrientes	Chorro de arena, esmerilado, polvo de cuero y virutas de madera.	18 – 20
Polvos pesados	Polvo de plomo y fundición pesada, virutas de metal.	20 - 23

Tabla 4.3 – Valores recomendados para las velocidades de transporte en conductos.

Esta velocidad debe ser lo suficiente para evitar la sedimentación o la acumulación de los materiales como partículas de polvo, “piel” del maní y partículas de maní, que se mueven a través de los ductos; pero no debe ser excesivamente alta, ya que puede causar un rápido deterioro de las tuberías por abrasión. Por lo tanto se debe tomar un acuerdo de compromiso que nos permita obtener una velocidad óptima que proteja a la vez la instalación.

Pérdidas de Carga

Las pérdidas de carga o de presión estática, se presentan por fricción en codos, entradas de ramales, orificios, expansiones, contracciones, entradas del ventilador, chimeneas y otras pérdidas por fricción o turbulencia del sistema.

Las pérdidas de carga se consideran en:

- Tramos rectos de ductos.
- Accesorios o localizadas (codos, tes, difusores, etc.)



Los conductos utilizados en la distribución del aire pueden ser circulares o rectangulares. Debido a que la mayoría de las tablas y expresiones se dan para conductos circulares, resulta muy útil el concepto de diámetro equivalente. Para determinar el diámetro equivalente de un conducto rectangular puede utilizarse la expresión:

Deq = 1,3 x (H x W)^0,625 / (H + W)^0,25 Ec. 4.19

Donde Deq es el diámetro equivalente, H la altura del conducto y W la anchura. De todas formas, resulta de gran utilidad la Tabla 4.4

Table with 27 columns (Lados conducto rectang. 35 to 165) and 27 rows (100 to 255) containing numerical data for equivalent diameters.

Tabla 4.4 – Diámetros equivalentes para conductos rectangulares.

Para determinar las perdidas de carga de cada tramo recto, se emplea el grafico de la Fig. 4.5, donde fijada la velocidad de 20 m/seg. e ingresando con el caudal requerido o con el diámetro del ducto, la intersección de dichas rectas indicaran en la parte inferior del grafico la perdida de carga para cada caso.

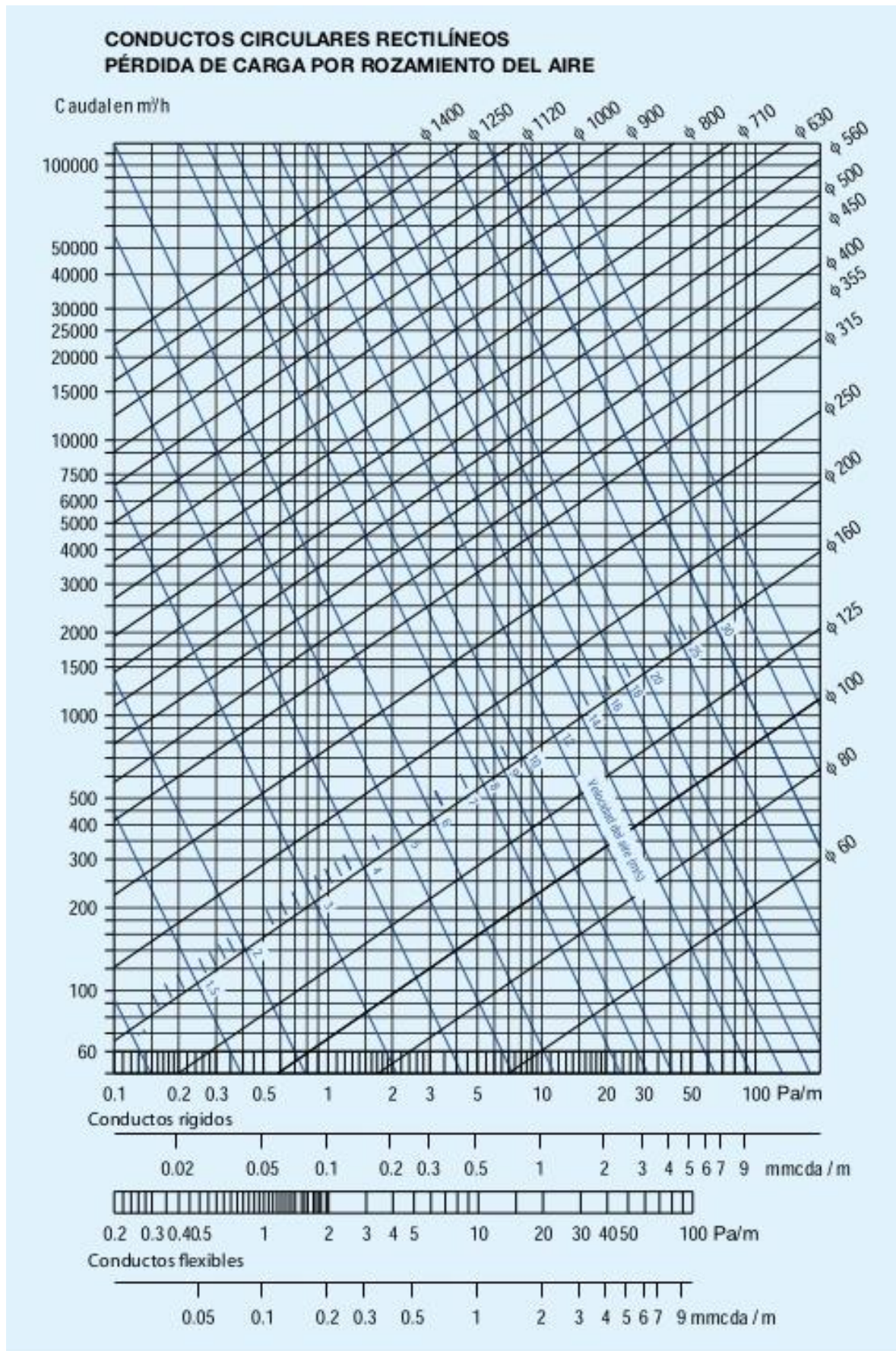


Fig. 4.5 - Pérdida de carga (Pa/m) y (mmca/m)



4.8 Dimensionamiento de las Mangas

Las dimensiones de las mangas dependen de la eficiencia de limpieza y de las dimensiones de la cámara de filtrado. El diámetro de las mangas se encuentra estandarizado entre los 120mm y 160mm. En lo que respecta a la longitud de las mangas se debe tener en cuenta algunas cuestiones de montaje, ya que en algunas ocasiones es posible que no queden perfectamente verticales, causando que se toquen las mangas en la parte inferior de ellas, provocando desgaste debido a la fricción; además, las mangas más largas son más difíciles para limpiar en caso de que un agujero sea la causa del ingreso de polvo a la manga.

Para evitar los inconvenientes mencionados en el párrafo anterior, Se recomienda cumplir la siguiente relación:

$$\frac{L_m [m]}{D_m [m]} \leq 25 \quad \text{Ec. 4.20}$$

Donde:

L_m : longitud de la manga

D_m : diámetro de la manga.

Otro detalle importante a tener en cuenta son las costuras de las mangas, estas deben ser colocadas a 45° con respecto a la fila o columna de las mangas, esto es debido a que por efectos del sacudido durante la limpieza, las mangas tienden a generar un movimiento leve hacia el lado opuesto de la costura. Al colocar las mangas a 45° , tenemos una mayor distancia entre los lados opuestos de las costuras, evitando el contacto entre ellas, esto lo podemos ver mejor en la Fig. 4.6

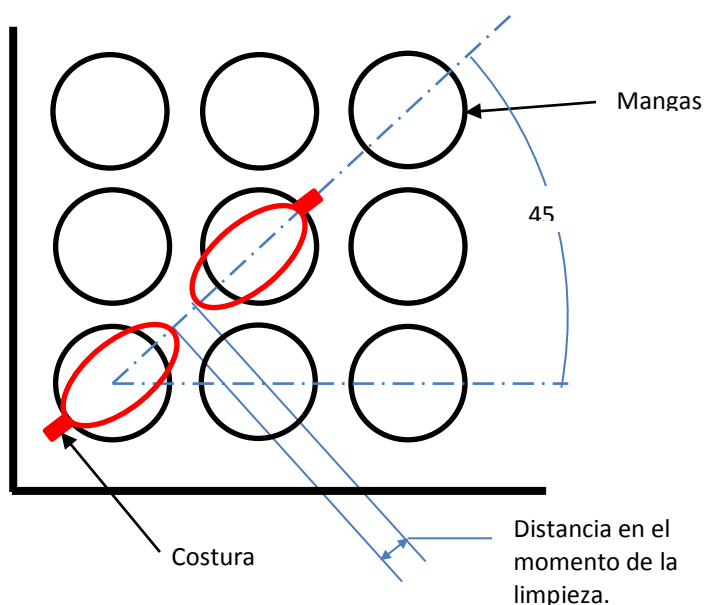


Fig. 4.6 – Montaje recomendado de las mangas

Otro detalle a tener en cuenta es el denominado “pellizco”. Este pellizco es necesario para que la manga tenga facilidad de movimiento durante la limpieza. Si se mantuviera rígida por falta del pellizco, el aire de limpieza a alta presión no sería suficiente para generar una onda en reacción al pulso de aire. En la *Fig. 4.7* se grafica este detalle.

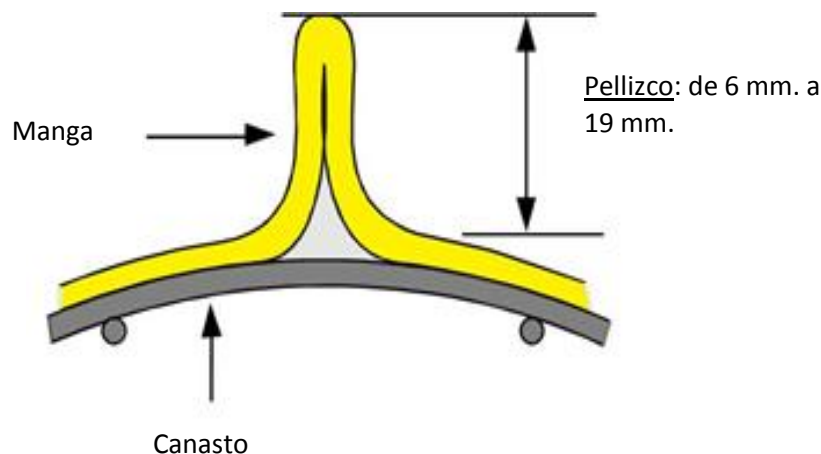


Fig. 4.7 – Pellizco para manga.

4.8.1 Distancia entre mangas

La distancia mínima entre mangas debe ser 50mm y 75mm como mínimo entre mangas y paredes. Esta consideración es muy importante debido a que va de la mano con la velocidad ascendente. Si acercamos más las mangas sucederán dos cosas; primeramente las mangas en el momento de la limpieza entrarán en contacto una con otra reduciendo su vida útil; por otro lado, al reducir el espacio entre mangas, la velocidad ascendente aumentará, que es un aspecto perjudicial para el momento de la limpieza porque evitaría que el material que es desalojado por el pulso de aire descienda libremente, sino que inmediatamente haría que las partículas de polvo vuelvan a subir, permaneciendo el diferencial de presión alto constantemente causando desestabilización en el sistema.

4.8.2 Número de mangas por columna

Para evitar pérdidas de carga en el conducto de aire comprimido debido a una longitud excesiva de éste, es recomendable que el número máximo de mangas por columna no sea superior a 16; de lo contrario se tendrá una limpieza deficiente en la última manga, esto lo podemos apreciar en la *Fig. 4.8*

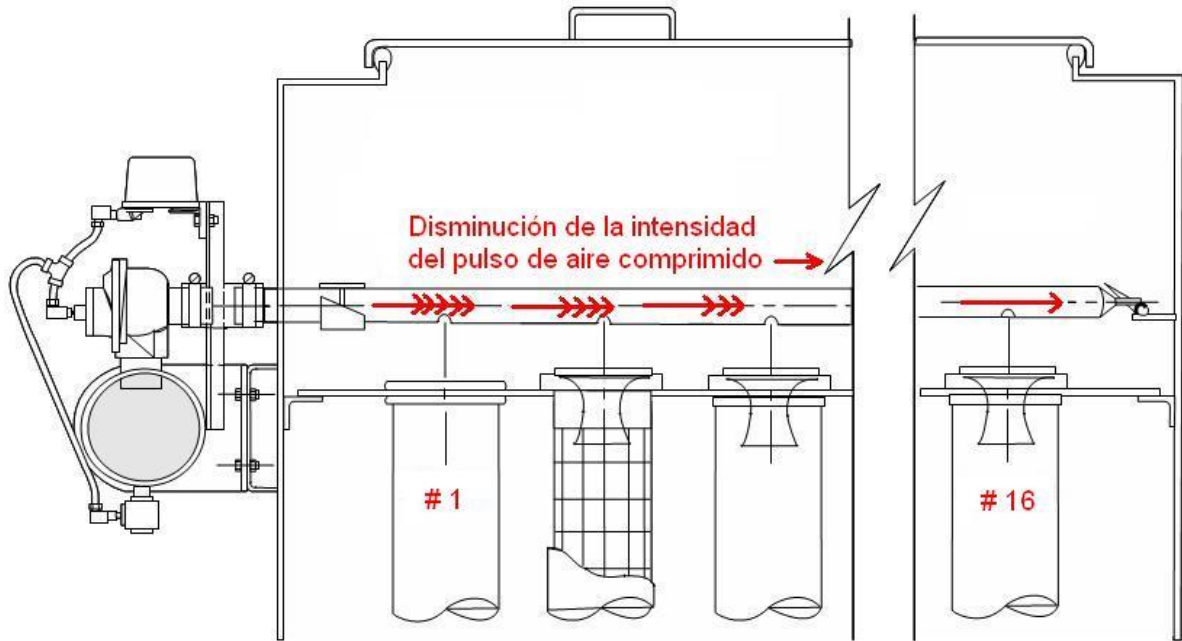


Fig. 4.8 – Numero de mangas por columna.

4.8.3 Canastillas

Las canastillas son utilizadas con el fin de que en los periodos de limpieza o filtración, las mangas no colapsen manteniendo su forma cilíndrica a lo largo de la misma. Las canastillas son básicamente un alambrado, preferiblemente de una sola pieza y resistente a la corrosión, que tiene forma cilíndrica con anillos de forma circular a lo largo de la manga y con varillas verticales para completar la forma cilíndrica y poder alojarse dentro de la manga, la *Fig. 4.9* muestra una canastilla típica.

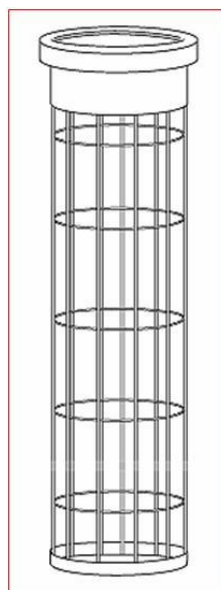


Fig. 4.9 – Canastilla para mangas.

Por lo general, para mangas con diámetros menores a 160mm, la cantidad de varillas verticales estará entre 8 y 12; mientras que para mangas con diámetros mayores a 200mm, serán desde 16 hasta 20 varillas. Las varillas verticales se realizan con alambres de acero galvanizado de 3.2, 3.4 y 3.5 mm de diámetro. Los tipos de canastillas de acuerdo a su parte superior, se indican a continuación:

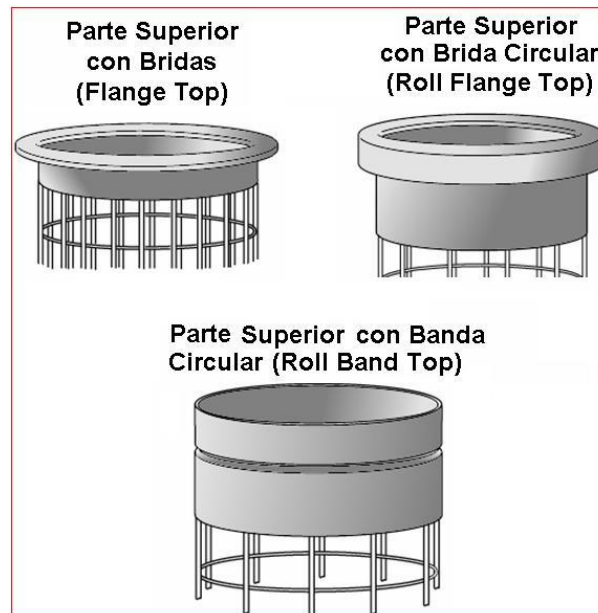


Fig. 4.10 – Tipos de canastillas.

4.8.4 Fijación de las mangas

Las mangas se aseguran a la lámina porta mangas en la parte superior de la cámara de limpieza. En ningún momento el seguro de la manga tiene la función de soportar el peso de la canastilla. La canastilla se soporta desde la lámina porta mangas en la parte superior de ésta. Los seguros de las mangas se utilizan para que las éstas no se suelten durante la limpieza dejando a las canastillas sin superficie filtrante.

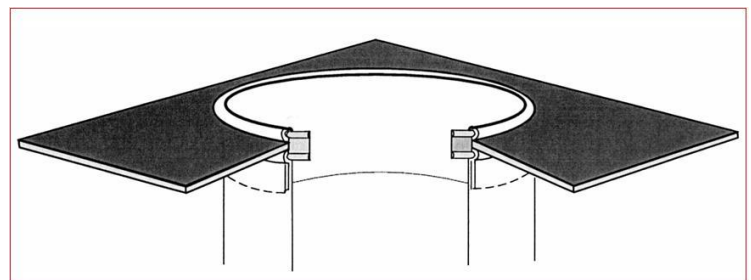


Fig. 4.11 – Fijación de mangas con fleje metálico.



4.8.5 Venturis

Los Venturis son fundamentales en el diseño de filtros descontaminantes tipo mangas o cartridges, que tienen sistema automático de limpieza tipo **PULSE-JET**, ya que dependiendo de su forma y tamaño, pueden amplificar considerablemente el pulso del aire, aumentando la eficiencia de la limpieza, disminuyendo el consumo de aire comprimido, y alargando adicionalmente la vida útil de los elementos filtrantes.

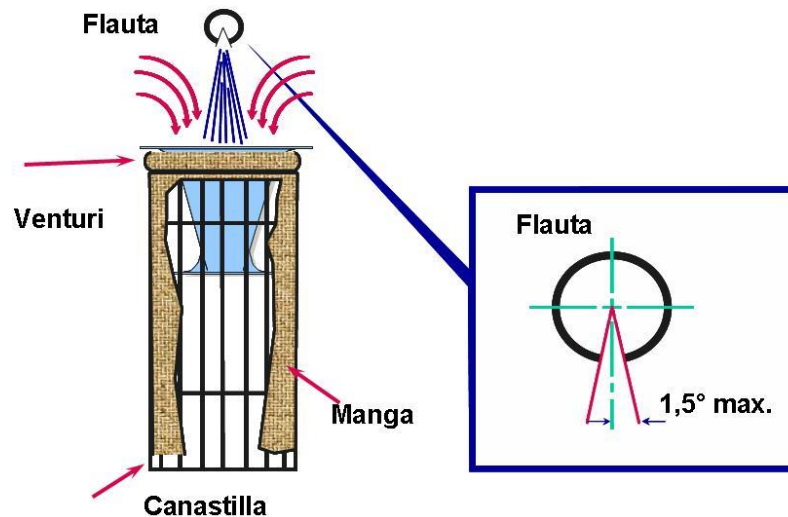


Fig. 4.12 – Venturi para filtros de mangas Pulse-Jet.

Un diseño adecuado del Venturi produce que la capa de polvo de las mangas se desprenda de forma más efectiva, obteniendo una limpieza más eficiente. El efecto del aire comprimido entrando al Venturi ocasiona un ingreso de aire secundario a la manga, esto es debido a la velocidad que ingresa el aire, lo que provoca una succión en el momento en que se produce el disparo de la válvula.

Además del diseño del Venturi propiamente dicho, el otro factor a tener en cuenta para que el sistema funcione correctamente es la ubicación de la flauta en relación al Venturi, su posición óptima estará definida por:

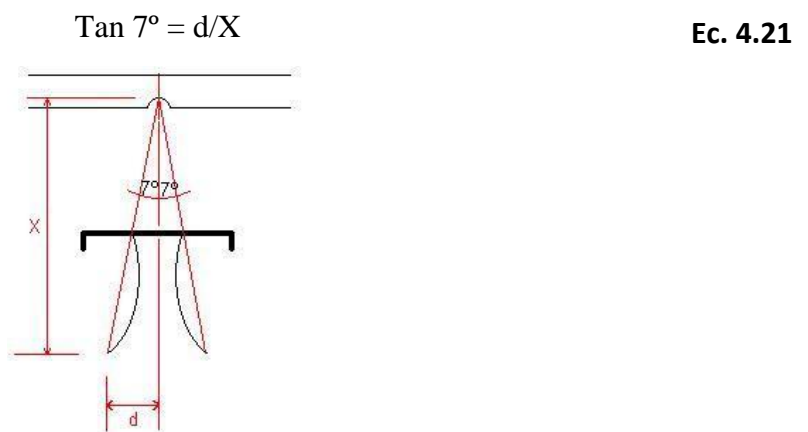


Fig. 4.13 – Ubicación de Venturi respecto a la flauta.



4.9 Tolva de Descarga

La Tolva de descarga tiene la función de canalizar el polvo y la piel del maní hacia la válvula rotativa, la cual dosifica el material recolectado y lo comunica con un tornillo sinfín para su posterior carga y disponibilidad. El diseño de esta pieza debe ser tal que permita la evacuación del material sin que se produzcan atoramientos debidos a la aglomeración del polvo o a un diseño inadecuado.

Se recomienda que las esquinas de las tolvas sean redondeadas y que el ángulo de inclinación no sea menor a 55°.



CAPITULO 5

5. Diseño y Calculo del Filtro de Manga

Datos preliminares:

Material a Filtrar	Piel de maní
Tamaño de Partícula	100 μm (medio-alto)
Velocidad de Captura	2 m/s
Velocidad en Ductos	20 m/s
Concentración de Partículas	10 gr/m^3
Temp. Max. de trabajo	30 $^{\circ}\text{C}$
Densidad de partícula	600 Kg/m^3
Viscosidad Dinámica	1,85 x 10 ⁻⁵
Tela Filtrante	Poliester
Tiempo de Limpieza	60 seg.
Presión de pulso de aire	80 psi (0,5516 MPa)
Peso de la Manga	500 gr/m^2

Tabla 5.1- Datos Preliminares de diseño.

5.1 Velocidad de Asentamiento

Empleando la ecuación 3.9 del Capitulo 3 obtenemos la velocidad de asentamiento del material que se desea filtrar. Esta velocidad, llamada también límite o terminal, tiene su importancia en el diseño de los ductos y el filtro ya que indica cual es la velocidad mínima requerida para que no se produzca el asentamiento de las partículas.

$$V_t = \frac{g \times \rho_p \times d_p^2}{18 \times \mu}$$

$$V_t = \frac{9,8 \times 1,2 \times (2,5^{-3})^2}{18 \times 1,8^{-5}} = 0,226 \text{ m/s}$$

$$V_t = 0,226 \text{ m/s}$$



5.2 Relación Aire-Tela

Como esta relación se determina para cada aplicación en función de la tela utilizada, de las características del material a filtrar y de las condiciones de trabajo, resulta complicado definir esta relación ya que algunos coeficientes como “K2” o “Ce” se determinan de manera empírica. Por suerte para facilitar el cálculo se tomaran valores recomendados que se obtuvieron de diversos ensayos empíricos y que se muestran en la siguiente tabla:

Polvo	Agitador/Tela Tejida Aire a la Inversa/Tela Tejida	Chorro a Pulso/Tela de Felpa Aire a la Inversa/Tela de Felpa
Oxido de Aluminio (Alúmina)	2.5	8
Asbesto	3.0	10
Bauxita	2.5	8
Carbón Negro	1.5	5
Carbón	2.5	8
Cacao, Chocolate	2.8	12
Arcilla	2.5	9
Cemento	2.0	8
Cosméticos	1.5	10
Residuo de Esmalte	2.5	9
Alimento de Ganado, Granos	3.5	14
Feldspar	2.2	9
Fertilizante	3.0	8
Harina	3.0	12
Ceniza Flotante	2.5	5
Grafito	2.0	5
Yeso	2.0	10
Mineral de Hierro	3.0	11
Oxido Férrico	2.5	7
Sulfato Férrico	2.0	6
Oxido de Plomo	2.0	6
Polvo de Piel	3.5	12
Cal	2.5	10
Piedra Caliza	2.7	8
Mica	2.7	9
Pigmentos de Pintura	2.5	7
Papel	3.5	10
Plásticos	2.5	7
Quarzo	2.8	9
Polvo de Piedra	3.0	9
Arena	2.5	10
Aserrín (Madera)	3.5	12
Sílice	2.5	7
Loza	3.5	12
Detergentes, Jabón	2.0	5
Especies	2.7	10
Almidón	3.0	8
Azúcar	2.0	13
Talco	2.5	5
Tabaco	3.5	
Oxido de Zinc	2.0	

Tabla 5.2 – Relaciones Gas-Tela para distintas aplicaciones. [$\text{pie}^3/\text{min}/\text{pie}^2$]



Para este caso corresponde a la velocidad de “Polvo de Piel” es decir 12 pie/min., que si hacemos la conversión a metro, tenemos 3,657 m/min. a este valor hay que afectarlo a un coeficiente según la aplicación, el cual esta especificado de la siguiente forma:

FACTOR DE LA APLICACIÓN

Ventilación de emisiones molestas (insidiosas). Alivio de los puntos de transferencias, transportadores, estaciones de embalaje, etc.	1.0
Recolección de producto. Transporte-ventilación del aire, molinos, secadoras relámpago, clasificadores, etc.	0.9
Filtración del gas de proceso. Secadoras por aspersión, hornos, reactores, etc.	0.8

Tabla 5.3 – Factor de aplicación según fabricantes

Teniendo en cuenta el factor de la aplicación que estaría dentro del campo de “Recolección de Producto” la relación Aire-Tela nos quedaría:

$$V_f = 3,657 \times 0,9 = 3,29 \text{ m/min}$$

$V_f = 3,29 \text{ m/min}$

5.3 Cantidad de aire requerido de acuerdo al equipo a desempolvar

Tal como se indico en el Capitulo 4, existen valores estándares recomendados para cada equipo en particular, que son provistos por el fabricante del equipo o que surgieron de la práctica. Según tabla 4.1 y según los datos del fabricante de los equipos definiremos este parámetro teniendo en cuenta lo siguiente:

- 1) Tipos de equipos y cantidad.
- 2) Posición de la campana de captura.
- 3) Datos del Fabricante.

El filtro de mangas tiene que tener la capacidad para desempolvar las instalaciones de una Planta de Blancheado compuesta por:



EQUIPOS	CANTIDAD	POSICION DE LA CAMPANA	VALOR [m ³ /h.]	DATOS DEL FABRICANTE
Transportes	3	No especifica	450 c/u	-
Elevadores	2	Posición B	1000 c/u	-
Cintas	1	Posición A	1500 c/u	-
Blancheadoras	8	-		2400 [m ³ /h] c/u
TOTAL	14			23050

Tabla 5.4 – Caudal requerido de aire para cada equipo.

El valor total o requerido de aire nos da 23.050 m³/h, que traducidos en m³/min. es de 384,16. A fines prácticos y para tener un pequeño margen de seguridad se tomara un valor de 385 m³/min. Este caudal representara el caudal de entrada Q_e.

$$Q_e = 385 \text{ m}^3/\text{min.}$$

5.4 Área neta de filtración

El área neta de filtración se la obtiene de la razón entre el caudal de operación y la velocidad de filtración tal como sigue:

$$A_n = \frac{Q_e}{V_f}$$

Para este caso será:

$$A_n = \frac{385}{3,29} = 117,02 \text{ m}^2$$

$$A_n = 117,02 \text{ m}^2$$

Esta área representa el área total que necesitamos para filtrar el caudal requerido, es un dato que nos servirá para determinar luego el número de mangas que debemos utilizar.

5.5 Dimensión de la manga

Como se dijo en el capítulo 3, las mangas comerciales vienen con diámetros comprendidos entre 120 y 160 mm. y su relación con la longitud esta determinada por la ecuación 4.20:

$$\frac{L_m [m]}{D_m [m]} \leq 25$$



Para este proyecto se selecciono una manga de 150 mm de diámetro y 2.500 mm. de largo cuya relación L_m/D_m es igual a (16,1) menor a (25) como requiere la ecuación 4.17.

El área de la manga será igual al área del cilindro más el área del círculo:

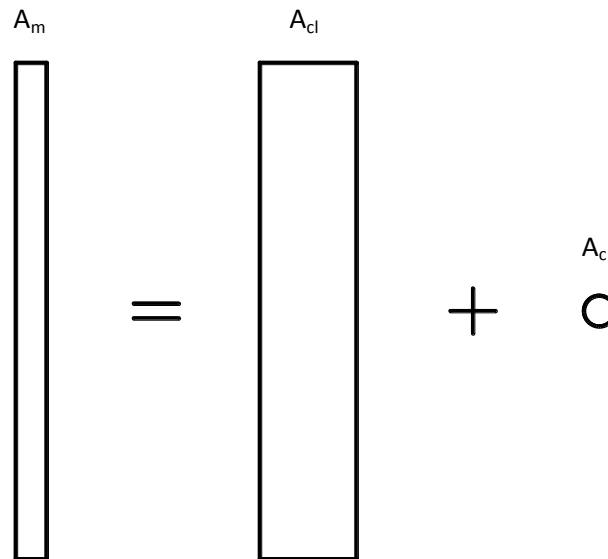


Figura 5.1 – Área de una manga

El área del cilindro será igual el perímetro del círculo por su longitud, es decir:

$$A_{cl} = (\pi \times d) \times 2,5 = 1,1775 \text{ m}^2$$

El área del círculo será:

$$A_c = (\pi \times d^2) / 4 = 0,0176 \text{ m}^2$$

El área de la manga será la suma de estas:

$$A_m = A_{cl} + A_c = 1,1775 \text{ m}^2 + 0,0176 \text{ m}^2 = 1,1951 \text{ m}^2$$

$$A_m = 1,1951 \text{ m}^2$$

5.6 Número de mangas

Definida el área neta y el área de una manga, se puede definir el número de mangas de la siguiente forma:

$$N_m = \frac{A_n \text{ (Área Neta)}}{A_m \text{ (Área de una manga)}}$$



$$N_m = \frac{117,02}{1,19} = 97,91$$

$$N_m = 100$$

5.7 Velocidad ascendente

Esta velocidad es la que experimenta el aire después de ingresar en el compartimento de las mangas en el filtro. Se recomienda que esta velocidad se encuentre entre 1 m/seg y 1,3 m/seg. tal como se indico en el capítulo 3. La velocidad de filtración esta definida por la siguiente ecuación 4.3:

$$V_a \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{Q \left[\frac{m^3}{s} \right]}{A_i \left[m^2 \right]}; A_i = a \left[m \right] \times b \left[m \right] - C_m \left(\frac{\pi D_m^2 \left[m^2 \right]}{4} \right)$$

Como ya sabemos el múltiplo (a×b) representa el área del compartimiento donde están ubicadas las mangas, por lo que si definimos el valor de la velocidad ascendente en 1,3 m/seg. y despejamos este múltiplo de la ecuación, obtendremos las dimensiones laterales “a” y “b” del filtro, operando tenemos:

$$V_a \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{Qe}{A_i} \Rightarrow A_i \left[m^2 \right] = \frac{Qe}{V_a} = a \times b - C_m \left(\frac{\pi D_m^2}{4} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (a \times b) = \frac{Qe}{V_a} + C_m \left(\frac{\pi D_m^2}{4} \right) \Rightarrow (a \times b) = \frac{385}{1,3} + 100 \left(\frac{3,14 \times 0,150^2}{4} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (a \times b) = 6,69 \text{ m}^2 \Rightarrow a^2 = 6,69 \text{ m}^2 \Rightarrow a = \sqrt{6,69} \text{ m}^2 = 2,586 \text{ m}$$

$$a = b = 2,586 \text{ m}$$



Con este valor definimos las dimensiones de los lados y la distribución de las mangas, tal como se muestra en la Fig. 5.2

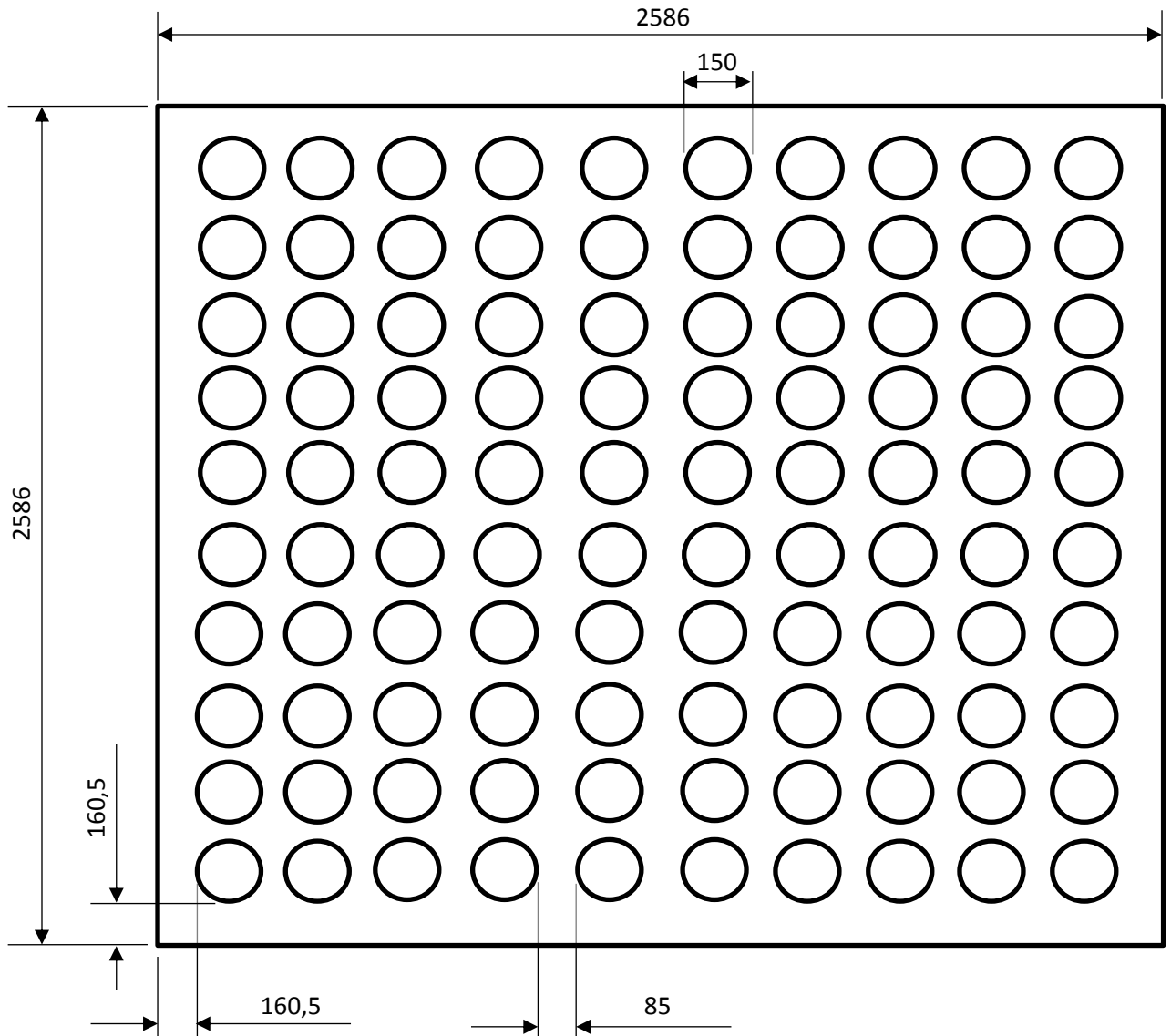


Figura 5.2 – Dimensiones de la sección del filtro y distribución de mangas en [mm.]

5.8 Pérdida de Carga

Pérdida de Carga en el filtro

El cálculo de pérdida de carga de todo el sistema comprende la pérdida de carga del Filtro más la pérdida de carga de los ductos de aire. En primer lugar se determinara la pérdida de carga en el filtro, para lo cual aplicaremos la ecuación 4.15 del capítulo 4:

$$\Delta P = 6.08 \times V_f \times P_j^{-0.65} + K_2 \times V_f^2 \times C_e \times t_f$$



Donde:

- ΔP : Caída de presión total del filtro (Pulg H₂O)
- V_f : Velocidad de filtración (ft/min)
- K_2 : Coeficiente de resistencia específico del polvo (Pulg H₂O / ft/min-Lb/ft²)
- C_e : Concentración de polvo a la entrada del filtro (Lb/ft³)
- t_f : Tiempo de filtración (min)

Al no contar con datos experimentales para determinar los valores de “K₂” y “C_e” para este caso, se estimaran en función de valores empíricos obtenidos en la práctica para este tipo de filtro y para la tela de poliéster.

Tal como se expuso en el Capitulo 4, el factor “K₂” se puede estimar mediante la ecuación 4.17 que da la caída de presión en (cm H₂O):

$$K_2 = \frac{0.00304}{(d_{g,masa})^{1.1}} \left(\frac{\mu_g}{\mu_{g,70F}} \right) \left(\frac{2600}{\rho_p} \right) \left(\frac{V_f}{0.0152} \right)^{0.6}$$

Donde:

- $d_{g,masa}$: 100 μm
- μ_g : 1,85 x 10⁻⁵
- $\mu_{g,70F}$: 1,80 x 10⁻⁵
- ρ_p : 600 Kg/m³
- V_f : 0,05485 m/s

Sustituyendo estos valores y operando obtenemos:

$$K_2 = \frac{0.00304}{(0,01)^{1.1}} \left(\frac{1,85 \times 10^{-5}}{1,8 \times 10^{-5}} \right) \left(\frac{2600}{600} \right) \left(\frac{0,05485}{0.0152} \right)^{0.6}$$

$$K_2 = 0,481 \times 1,027 \times 4,333 \times 2,16 = 5,72 \text{ [cm H}_2\text{O]}$$

En Pulgadas será:

$$K_2 = 2,254 \text{ [plg H}_2\text{O]}$$

Sustituyendo este valor de K₂ en la ecuación 4.14 y suponiendo una concentración de partículas media de 10 gr/m³ para un tiempo de filtración de 34,7 min. que es igual a 6,23⁻⁴ lb/p³, tenemos:



$$\Delta P = 6,08 \times 10,97 \times 80^{-0.65} + 2,254 \times 10,96^2 \times 6,23^{-4} \times 34,7$$

El primer término representa la caída de presión producida por la manga limpia y el segundo término representa la caída de presión producida por el “pastel” de polvo acumulado en la manga, la suma de ambos representa la caída de presión en el Filtro que será de:

$$\Delta P = 9,721 \text{ [pulg. H}_2\text{O]}$$

O lo que es igual a:

$$\Delta P = 247 \text{ [mm. H}_2\text{O]}$$

Pérdida de Carga en ductos

Antes de introducirnos en el cálculo de la pérdida de carga de los ductos, debemos tener bien definido las dimensiones de cada tramo y su longitud, al igual que la cantidad de accesorios como codos, reducciones, tes, etc. En el anexo se adjunta plano de la instalación.

5.9 Dimensionamiento de los ductos

En la Tabla 5.5 se indican las dimensiones de los ductos rectos para cada tramo, teniendo en cuenta una velocidad constante de 20 m/seg., y en la Tabla 5.6 las dimensiones de los accesorios, definido esto se procede al cálculo de la pérdida de carga para cada tramo.

Sabiendo el caudal necesario para cada tramo, que es un dato que tenemos de la cantidad de aire requerido por maquina a desempolvar, y considerando como se dijo en el párrafo anterior una velocidad uniforme en todo el tramo de 20 m/seg., determinamos la sección de los ramales principales y secundarios utilizando la expresión de continuidad siguiente:

$$V_a \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{Q \left[\frac{m^3}{s} \right]}{A_s \left[m^2 \right]} \Rightarrow A_s \left[m^2 \right] = \frac{Q \left[\frac{m^3}{s} \right]}{V_a \left[\frac{m}{s} \right]}$$

Por ejemplo, para el tramo A-B cuyo caudal requerido es 7,5 m³/min. por lo que la sección correspondiente a este ducto será de:

$$A_s \left[m^2 \right] = \frac{7,5}{20} = 0,00635 \left[m^2 \right]$$



De igual forma se procede con el resto de las secciones teniendo en cuenta la sumatoria de los caudales y la velocidad cte. del flujo.

En cuanto a las pérdidas de cargas lineales, se calculan por la formula de Darcy:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

Siendo:

h_f = pérdida de carga debida a la fricción. (m)

f = factor de fricción de Darcy. (adimensional)

L = longitud de la tubería. (m)

D = diámetro de la tubería. (m)

V = velocidad media del fluido. (m/s)

g = aceleración de la gravedad $\approx 9,80665 \text{ m/s}^2$

Pero para simplificar los cálculos se determinaran en función del Nomograma Fig. 4.5 validos para las rugosidades más comunes de los materiales empleados en el mercado. Los valores de perdidas de carga obtenidos son por metro lineal por lo que se deberá corregir el valor final para cada tramo. Para el tramo “A-B” la perdida de carga obtenida es de 30 Pa/m según el diámetro de la tubería y la velocidad del aire, pero como la longitud es de 0,53 m. la perdida de carga para este tramo será de:

$$h_f = 0,53 \times 30 = 15,9 \text{ Pa}$$

De igual manera se procede con el resto de la tubería para determinar la perdida de carga de cada tramo.

TRAMOS RECTOS						
TRAMO	LONGITUD [m]	DIÁMETRO [m]	ÁREA [m²]	CAUDAL [m³/min]	PERDIDA DE CARGA [Pa]	DESCRIPCION
A – B	0,53	0,160	0,02009	25,0	15,9	Bajada a Cinta Transportadora
B – C	1,50	0,160	0,02009	25,0	45,0	Tramo a Cinta Transportadora
D – C	0,43	0,090	0,00635	7,5	25,8	Bajada a Transporte Final
C – E	2,20	0,190	0,02833	32,5	55,0	Tramo horizontal a blanchadoras
E – F	0,69	0,190	0,02833	32,5	17,2	Tramo vertical a blanchadoras
F – G	0,5	0,190	0,02833	32,5	12,5	Tramo a blanchadora 1
G – H	0,2	0,280	0,06154	72,5	3,0	Tramo a blanchadora 2
H – I	0,2	0,350	0,09541	112,5	2,4	Tramo a blanchadora 3



I – J	0,2	0,400	0,12560	152,5	2,0	Tramo a blanchadora 4
J – K	0,2	0,450	0,16208	192,5	1,8	Tramo a blanchadora 5
K – L	0,2	0,500	0,19625	232,5	1,5	Tramo a blanchadora 6
L – M	0,2	0,550	0,23746	272,5	1,4	Tramo a blanchadora 7
M – N	0,2	0,580	0,26407	312,5	1,3	Tramo a blanchadora 8
N – O	0,2	0,615	0,29690	352,5	1,2	Tramo a Troncal Principal
G – G ₁	3,0	0,200	0,03140	40,0	69,0	Bajada a blanchadora 1
H – H ₁	3,0	0,200	0,03140	40,0	69,0	Bajada a blanchadora 2
I – I ₁	3,0	0,200	0,03140	40,0	69,0	Bajada a blanchadora 3
J – J ₁	3,0	0,200	0,03140	40,0	69,0	Bajada a blanchadora 4
K – K ₁	3,0	0,200	0,03140	40,0	69,0	Bajada a blanchadora 5
L – L ₁	3,0	0,200	0,03140	40,0	69,0	Bajada a blanchadora 6
M – M ₁	3,0	0,200	0,03140	40,0	69,0	Bajada a blanchadora 7
N – N ₁	3,0	0,200	0,03140	40,0	69,0	Bajada a blanchadora 8
O – P	3,0	0,160	0,02009	32,5	90,0	Tramo Troncal Secundario
P – Q	0,9	0,090	0,00635	7,5	54,0	Tramo Horizontal a Transporte Horno
Q – S	2,0	0,090	0,00635	7,5	120	Tramo oblicuo a Transporte Horno
S – T	3,0	0,090	0,00635	7,5	180	Bajada a Transporte Horno
P – U	1,6	0,130	0,13266	16,6	60,8	Tramo a Elevador 1
U – V	3,0	0,130	0,13266	16,6	114,0	Bajada a Elevador 1
O – W	3,0	0,650	0,33166	385,0	15,0	Tramo Troncal Principal
X – Y	3,6	0,800	0,50240	400,0	16,2	Bajada a Ventilador
Y – Z	0,5	0,800	0,50240	400,0	2,25	Tramo a Ventilador

Tabla 5.5 – Dimensiones, caudales y pérdidas de carga de tramos rectos

Las pérdidas de carga ocasionada por los accesorios se determinan por el “Método de coeficiente n”, donde en función de la presión dinámica del aire que circula por los ductos y de unos coeficientes “n” que se determinan experimentalmente para cada caso, obtenemos la perdida de carga en unidades de presión total:

$$P_t = n \times P_d$$

La presión dinámica viene ligada a la velocidad del aire por la fórmula:

$$P_d = \frac{V^2}{16,3} = \frac{20^2}{16,3} = 24,54 \text{ mm cda}$$



A modo de ejemplo tomamos el punto de extracción “A” donde tenemos una campana cuyo ángulo α es de 60° , para este caso es:

$$P_t = 0,24 \times 24,54 = 5,88 \text{ mm cda}$$

De igual forma se procede con el resto de los accesorios, en la *Tabla 5.6* se indican las pérdidas de carga para cada caso.

ACCESORIOS					
PUNTO	ACCESORIO	R/D -o- D ₂ /D ₁	α	n	Pérdida de Carga [mm cda]
A	CAMPANA	-	60°	0,24	5,88
B	CODO	2,75	-	0,26	6,38
C	DERIVACION		45°	0,28	6,87
D	CAMPANA	-	60°	0,24	5,88
E	CODO	2,75	-	0,26	6,38
F	CODO	2,75	-	0,26	6,38
G	DERIVACION		45°	0,28	6,87
H	DERIVACION		45°	0,28	6,87
I	DERIVACION		45°	0,28	6,87
J	DERIVACION		45°	0,28	6,87
K	DERIVACION		45°	0,28	6,87
L	DERIVACION		45°	0,28	6,87
M	DERIVACION		45°	0,28	6,87
N	DERIVACION		45°	0,28	6,87
O	DERIVACION		45°	0,28	6,87
P	DERIVACION		45°	0,28	6,87
U	CODO	2,75	-	0,26	6,38
V	CAMPANA		60°	0,24	5,88
Q	CODO	2,50	-	0,22	5,39
S	CODO	2,75	-	0,26	6,38
T	CAMPANA		60°	0,24	5,88
X	CODO	1,25		0,55	13,49
Y	CODO	1,25		0,55	13,49

Tabla 5.6 – Dimensiones, caudales y perdidas de carga de accesorios

Tal como se expuso en el Capitulo 4, según el “**Método de equilibrio por compuertas**”, lo que nos interesa determinar es el ramal que ofrece la mayor pérdida de carga, que en general es aquel que se encuentra a mayor distancia del ventilador.

Según los valores obtenidos de las tablas 5.5 y 5.6, el ramal que ofrece mayor pérdida de carga es el ramal troncal que llega al punto A, en el plano los tramos se indican de la siguiente forma: [A-B-C-E-F-G-H-I-J-K-L-M-N-O-W-X-Y-Z]. La sumatoria de las pérdidas de carga para este trayecto será:



$$h_f = 5,88(A) + 1,60(AB) + 6,38(B) + 4,60(BC) + 6,87(C) + 5,60(CE) + 6,38(E) + 1,80(EF) + 6,38(F) + 1,30(FG) + 6,87(G) + 0,30(GH) + 6,87(H) + 0,24(HI) + 6,87(I) + 0,20(IJ) + 6,87(J) + 0,18(JK) + 6,87(K) + 0,15(KL) + 6,87(L) + 0,14(LM) + 6,87(M) + 0,13(MN) + 6,87(N) + 0,12(NO) + 6,87(O) + 1,53(OW) + 13,49(X) + 1,65(XY) + 13,49(Y) + 0,23(YZ) = \mathbf{140,47} \text{ mm cda}$$

Las pérdidas totales de todo el sistema estarán determinadas por la suma de las pérdidas ocasionadas por el Filtro de Mangas y por el sistema de ductos. Esto es:

$$\Delta P_T = P_F + P_{ct} = 247 + 140,47 = \mathbf{387,47} \text{ mm cda}$$

$$\Delta P_T = \mathbf{387,47} \text{ mm cda}$$

5.10 Selección del Ventilador

Determinado ya el caudal requerido para los equipos instalados (Q_e) y determinada la pérdida de carga (ΔP_T) generada por los ductos de la instalación, seleccionamos el ventilador que satisfaga estos requisitos de caudal y presión. Para este caso tomamos un caudal requerido de $396 \text{ m}^3/\text{min}$. y elegimos una presión estática igual o ligeramente superior a $387,47 \text{ mm cda}$.

El ventilador que seleccionamos para este caso es un ventilador centrífugo de alabes rectos inclinados hacia atrás, como puede ser el caso del ventilador Chicago Blower IAF-3000 cuyo caudal nominal es de $396 \text{ m}^3/\text{min}$. y con una presión estática de 406 mm cda . a una velocidad de régimen de 2161 rpm .

Una vez obtenidas las características básicas del ventilador, se debe calcular el rendimiento con el que trabaja. El rendimiento (η) se define como el cociente entre la potencia que entrega el ventilador al aire (Pot_a) dividida por la potencia que el ventilador recibe en su eje (Pot_v), ambas expresadas en las mismas unidades:

$$\eta_v = Pot_a / Pot_v$$

Ec. 5.1

La potencia entregada al aire por el ventilador depende del caudal que circula y la presión necesaria para vencer las pérdidas que ofrece el sistema de conductos y resulta igual a:

$$Pot_a = Q \times h_{TV} \times g \text{ (W)}$$

Ec. 5.2



Donde: Q (m^3 / s): caudal de aire,

h_{TV} (mmca): altura de presión total a entregar por el ventilador, y

g (m / s^2): aceleración de la gravedad.

Para este caso es: $Pot_a = 6,6 \times 406 \times 9,8 = 26.260,08$ [W]

$$Pot_a = 26,26$$
 [KW] = 35,22 [HP]

Este es un valor teórico que nos da una orientación, pero para mayor precisión, la potencia que recibe el ventilador en su eje se obtiene de los datos de funcionamiento provistos por los fabricantes y depende del tamaño de ventilador seleccionado, para una situación determinada. Para nuestro caso la potencia absorbida será de 44,3 HP según fabricante, y la potencia nominal del motor será de 50 [HP].

Remplazando los valores de la potencia absorbida y de la potencia nominal entregada por el motor en la expresión de rendimiento, tenemos:

$$\eta V = 44,3$$
 [HP] / 50 [HP]

$$\eta V = 0,886 \times 100 = 88,6 \%$$

Este rendimiento es en el caso que se transporte aire limpio, pero en nuestro caso además de aire se transportan partículas de la piel del maní, cuya densidad es $\delta = 600$ Kg/ m^3 , por lo tanto se deberá tener en cuenta la potencia absorbida por transportar una concentración de 10 gr/ m^3 de cascara de maní. Para lo cual se procede de la siguiente forma:

Peso del aire a transportar: 1,205 Kg/ m^3

Peso de las partículas transportadas: 10 gr/ $m^3 = 0,01$ Kg/ m^3

Peso Total de la mezcla: 1,205 + 0,01 = 1,215 Kg/ m^3

El volumen del aire es: 1 m^3

El Volumen de las partículas es: $V = m / \delta \Rightarrow 0,01 / 600 = 0,0016$ m^3

El volumen total de la mezcla: 1 + 0,0016 = 1,0016 m^3

La densidad de la mezcla es: $\delta = m_t / V_t \Rightarrow 1,215 / 1,0016 = 1,214$ Kg/ m^3

En consecuencia la potencia absorbida en este caso será de:

$$Pot_a = \frac{44,3 \times 1,214}{1,205} = 44,63$$
 [HP]

Finalmente el rendimiento es:

$$\eta V = 44,63$$
 [HP] / 50 [HP]

$$\eta V = 0,892 \times 100 = 89,26 \%$$

$$\eta V = 89,2 \%$$



Este valor de rendimiento corresponde a un caudal de 385 m³/min. lo que equivale a tener un 100% de la clapeta abierta en la tobera de descarga del ventilador.

5.11 Cálculo de la Transmisión.

La transmisión de la potencia del motor al ventilador se hace a través de correas trapeciales, para lo cual se hará en este punto un estudio de la transmisión para definir los siguientes elementos:

- 1) Potencia de diseño.
- 2) Selección del tamaño de perfil.
- 3) Diámetro de las poleas.
- 4) Velocidad de la correa.
- 5) Distancia entre centros de poleas.
- 6) Longitud de la correa.
- 7) Ciclos de flexión.
- 8) Potencia nominal transmisible por correa.
- 9) Cantidad de correas necesarias.
- 10) Tensión de las correas.
- 11) Vida útil.
- 12) Eficiencia de la transmisión.

1) La potencia de diseño esta definida por la siguiente ecuación:

$$N_D = N \cdot f_s \quad (\text{Kw})$$

Ec. 5.3

Donde: N = Potencia a transmitir (placa de motor)
f_s = Factor de Servicio.



Máquina Movida	Máquina Motriz					
	Motor eléctrico sincrónico. Motor de combustión interna multicilindro. Turbinas.			Motor eléctrico de alto par. Motor de combustión interna monocilindro.		
	8 h/día	16 h/día	24 h/día	8 h/día	16 h/día	24 h/día
Carga ligera Agitadores de líquidos. Bombas y compresores centrifugos. Transportadores de banda. Ventiladores. Máquinas herramientas de corte continuo.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Carga normal Bombas y compresores de 3 y más cilindros. Transportadores de cadena. Fresadoras.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Carga pesada Bombas y compresores de uno y dos cilindros. Elevadores de cangilones. Cepilladoras y mortajadoras.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Carga muy pesada Mecanismos de elevación de grúas. Prensas. Cizallas.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Tabla 5.7 – Factores de servicio (GoodYear).

Como se trata de un ventilador el tipo de carga es ligera y tomamos 24 hs. de servicio continuo, por tabla obtenemos un factor de servicio de 1,2. Este factor de servicio considera posibles variaciones de la carga entre la maquina motriz y la movida y además tiene en cuenta la intensidad de trabajo a que es sometida la correa. La potencia de diseño será entonces:

$$N_D = 37,3 \text{ Kw} \cdot 1,2 = 44,76 \text{ Kw.}$$

- 2) La selección del tamaño del perfil se hace por medio de gráficos que tienen en cuenta la potencia de diseño y la frecuencia de rotación de la polea menor tal como lo indica la Fig. 5.3

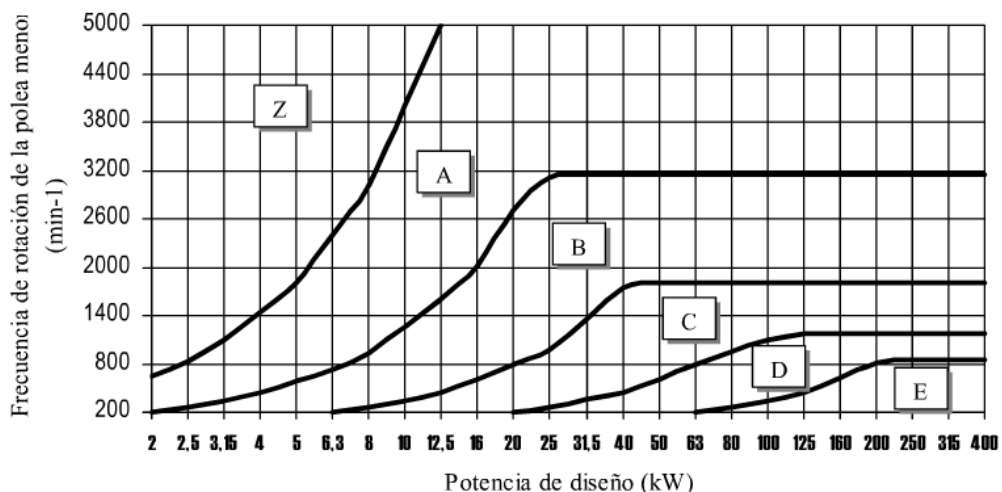


Figura 5.3 – Recomendaciones para la selección del tamaño de perfil de correas (GoodYear)

Ingresando con la potencia de diseño de 44,76 Kw. y con las rpm. de la polea menor, que en este caso es de 2.143 rpm. Obtenemos un perfil “B”.



3) Los diámetros de las poleas no deben ser menor a los mínimos recomendados por la práctica, para no doblar excesivamente las correas sobre las poleas y con ello acortar su duración de servicio. Para ellos se toman los valores que recomienda la Tabla 5.8 que en nuestro caso particular ese diámetro mínimo es 137 mm.

Perfil	A	B	C	D	SPZ	SPA	SPB	SPC	3V	5V	8V
d _{min} (mm)	76	137	229	330	71	100	160	250	71	160	315
Perfil	AX	BX	CX	DX	XPZ	XPA	XPB	XPC	3VX	5VX	
d _{min} (mm)	56	116	178	305	56	80	112	200	56	112	

Tabla 5.8 – Diámetros primitivos mínimos recomendados para poleas (GoodYear)

Tomamos diámetro mínimo de 180 mm. para la polea conducida, sabiendo que las rpm del motor (1500) y la velocidad requerida por el ventilador (2143) podemos determinar el diámetro de la polea conducida por la siguiente relación:

$$d_1 \times rpm_1 = d_2 \times rpm_2 \Rightarrow d_1 = \frac{d_2 \times rpm_2}{rpm_1}$$

La relación de transmisión es:

$$u = rpm_2 / rpm_1 = 1,43$$

Entonces el diámetro de la polea conductora es:

$$d_1 = d_2 \times u = 180 \times 1,43 = 260 \text{ mm}$$

4) La velocidad de la correa debe ser la mayor posible , para disminuir la cantidad de correas necesarias en la transmisión, pero nunca debe superar la velocidad máxima limite V_{max} que por efecto de la velocidad centrifuga no disminuya la capacidad tractiva de la correa:

$$V = \frac{n_1 \times \pi \times d_1}{60.000} \leq V_{max} \quad [m/s] \quad \text{Ec. 5.4}$$

Para la transmisión seleccionada es:

$$V = \frac{1.500 \times 3,14 \times 260}{60.000} = 20,41 \text{ [m/s]}$$

A continuación se describen los valores de referencia para los tipos de correas:

- V_{max} = 25 30 m/s para correas de perfil normal.
- V_{max} = 35 45 m/s para correas de perfil estrecho.

Como podemos ver la velocidad de correa calculada esta por debajo de 25 m/s que es el valor de referencia para perfiles normales.



- 5) La distancia entre centros de poleas debe ser elegida de forma tal que permita colocar las poleas sin chocar (criterio a_{\min}) y que la distancia no sea excesivamente grande ante las condiciones practicas (criterio a_{\max}). La norma alemana DIN 7753 nos da una orientación en este sentido:

$$a_{\min} \leq a_o \leq a_{\max}$$

Donde: $a_{\min} = 0,7 \times (d_2 + d_1)$
 $a_{\max} = 2,0 \times (d_2 + d_1)$

Para el caso calculado tenemos: $a_{\min} = 0,7 \times (260 + 180) = 308 \text{ mm.}$
 $a_{\max} = 2,0 \times (260 + 180) = 880 \text{ mm.}$

Por razones constructivas es conveniente trabajar con “ a_{\max} ” ya que nos permite mayor margen para montar el motor en la estructura soporte del ventilador.

- 6) Una vez elegida la tentativa distancia entre centros “ a_o ”, puede ser calculada la longitud de la correa “ L_0 ” correspondiente, que para una transmisión abierta y dos poleas se define como:

$$L_0 = 2 \times a_o + 1,57 \times (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \times a_o} \quad \text{Ec. 5.5}$$

Para nuestro caso es:

$$L_0 = 2 \times 880 + 1,57 \times (260 + 180) + \frac{(260 - 180)^2}{4 \times 880} =$$
$$L_0 = 1.760 + 690,8 + 1,818 = 2.452,61$$
$$L_0 = 2.453 \text{ mm.}$$

Esta es la longitud que resulta del cálculo, pero la tenemos que cotejar con las medidas estándar de las correas que están en el mercado.

Para nuestro caso seleccionamos la correa **SKF B96** cuya longitud primitiva es de **2.480 mm**. De acuerdo a esto nuestra distancia definitiva entre centros de poleas será:

$$a = a_o \pm \left| \frac{L_0 - L_n}{2} \right| = 880 \pm \left| \frac{2.453 - 2.480}{2} \right| = 893,5$$

$$a = \mathbf{893,5 \text{ mm.}}$$



7) Las flexiones sufridas por las correas al doblarse sobre las poleas pueden tener una influencia significativa en el calentamiento de la correa y por consiguiente en la vida útil de la misma. Por ello, es recomendable que las correas no superen ciertos valores admisibles de flexiones por segundo, dicho valor se obtiene por la siguiente formula:

$$i_f = 1000 \times n_p \times \frac{v}{L_n} \quad \text{Ec. 5.6}$$

Donde:

- i_f : Flexiones por segundo de un segmento de la correa (seg⁻¹).
- n_p : Cantidad de poleas en contacto con la correa.
- v : Velocidad de la correa (m/s).
- L_n : Longitud normalizada de la correa (mm).

En nuestro caso es:

$$i_f = 1.000 \times 2 \times \frac{20,4}{2.480} = 16,45$$

Los valores de referencia son:

- $i_f = 30 \text{ seg}^{-1}$ para perfil normal.
- $i_f = 60 \text{ seg}^{-1}$ para perfil estrecho.
- $i_f = 100 \text{ seg}^{-1}$ para perfil estrecho de flancos abiertos.

8) Aunque no existe una exacta coincidencia de las magnitudes de potencia nominal transmisible por correa entre los diferentes fabricantes y normas, en la actualidad ha tenido una gran aceptación y generalización la siguiente formula de calculo, brindada por la asociación de fabricantes de goma (RMA) para el calculo de la referida potencia:

$$N_1 = d_1 \times n' \times \left[k_1 - \frac{k_2}{d_1} - k_3 \times (d_1 \times n')^2 - k_4 \times \log_{10} (d_1 \times n') \right] + k_2 \times n' \times (1 - 1/k_u) \quad \text{Ec. 5.7}$$

- Siendo:
- N_1 : Potencia transmisible por correa (Kw).
 - d_1 : Diámetro de la polea menor (mm).
 - k_u : Factor por razón de transmisión.
 - $n' = n_1/1000$: Mil revoluciones por minuto en la polea rápida.
 - k_1, k_2, k_3 y k_4 : Factores empíricos.

Perfil	k_1	k_2	k_3	k_4
A	0,03826	1,232	$7,043 \times 10^{-9}$	0,006244
B	0,06784	3,261	$1,403 \times 10^{-8}$	0,01074
C	0,1261	9,004	$2,653 \times 10^{-8}$	0,04270
D	0,2763	32,23	$6,301 \times 10^{-8}$	0,04270
AX	0,05848	1,482	$1,001 \times 10^{-8}$	0,01192
BX	0,08390	2,635	$1,410 \times 10^{-8}$	0,01684
CX	0,1317	4,965	$2,412 \times 10^{-8}$	0,02537

Tabla 5.9 – Factores de cálculo para correas de perfil normal. (GoodYear)



Los factores empíricos para la correa de perfil “B2 se determinan según Tabla 5.9 y para este caso son:

$$\begin{aligned} k_1 &= 0,06784 \\ k_2 &= 3,261 \\ k_3 &= 1,403 \times 10^{-8} \\ k_4 &= 0,01074 \end{aligned}$$

El factor k_u para perfiles normales se determina por:

$$k_u = \frac{1}{1 + 0,35 \times \log_{10} \left(1 + \frac{10^x}{2} \right)}$$

Donde: $x = -(1/35) \times (1 - 1/u)$ y $u =$ relación de transmisión.

Para una relación $u = 1,5$ resulta,

$$x = -0,952285$$

$$\begin{aligned} k_u &= \frac{1}{1 + 0,35 \times \log_{10} \left(1 + \frac{10^{-0,95}}{2} \right)} = \frac{1}{1 + 0,35 \times \log_{10} (0,555806)} = \\ &= \frac{1}{0,910723} = 1,090239 \end{aligned}$$

Remplazando estos valores con los coeficientes $K_{1..4}$ tenemos:

$$\begin{aligned} N_1 &= 180 \times 2,143 \times \left(0,06784 - \frac{3,261}{180} - 1,403 \times 10^{-8} \times (180 \times 2,143)^2 - 0,01074 \times \log_{10} (180 \times 2,143) \right) + \\ &+ 3,261 \times 2,143 \times \left(1 - \frac{1}{1,090239} \right) \end{aligned}$$

$$N_1 = 385,74 \times \left(0,06784 - 0,01811 - 1,403 \times 10^{-8} \times 148.795,3476 - 0,01074 \times 2,5862 \right) + 7,4155 \times 0,082769$$

$$N_1 = 385,74 \times \left(0,06784 - 0,01811 - 0,002087 - 0,02777 \right) + 0,5784$$

$$N_1 = 385,74 \times \left(0,019873 \right) + 0,5784$$

$$N_1 = 8,244 \approx \boxed{8,2 \text{ [Kw]}}$$



9) El calculo de la cantidad de correas necesarias se determina por la siguiente formula:

$$Z \geq \frac{N_x f_s}{N_1 \times C_\alpha \times C_L} \quad \text{Ec. 5.8}$$

Siendo:

- N: Potencia a transmitir (KW).
- Z: Cantidad de correas.
- N₁: Potencia nominal transmisible por correa.
- C_α: Coeficiente de ángulo de contacto.
- C_L: Coeficiente de corrección por longitud.

El coeficiente de ángulo de contacto puede ser evaluado mediante la siguiente formula:

$$C_\alpha = 1,25 \times \left(\frac{e^{f \cdot \alpha} - 1}{e^{f \cdot \alpha}} \right)$$

Donde, f = 0,5123 y α = ángulo de contacto en radianes. De todas maneras para ángulos de contacto característicos la Tabla 5.10 nos sirve de ayuda para brindar valores de C_α.

α (°)	180	174	169	163	157	151	145	127	120	83
C _α	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.85	0.82	0.65

Tabla 5.10 – Valores del coeficiente de ángulo de contacto. (GoodYear)

En este caso particular tomamos un ángulo de contacto de 180° lo que nos da un valor del coeficiente C_α = 1.

Por otro lado el coeficiente de por corrección de la longitud para perfil normal se determina por:

$$C_L = 1 + \left(\frac{\log_{10} L_n - \log_{10} L_b}{\log_{10} L_n - 1,65} \right)$$

La longitud normalizada L_n = 2480 y la longitud básica de referencia se obtiene por Tabla 5.11 que para este caso es L_b = 2330. Remplazando estos valores determinamos el coeficiente C_L

$$C_L = 1 + \left(\frac{\log_{10} 2.480 - \log_{10} 2.330}{\log_{10} 2.480 - 1,65} \right) = 1 + \left(\frac{0,0271}{1,7444} \right) = 1,015$$

Finalmente remplazando estos valores en la ecuación de número de correas requerida es:

$$Z \geq \frac{N_D}{N_1 \times C_\alpha \times C_L} = \frac{44,76}{8,2 \times 1 \times 1,015} = \frac{44,76}{8,323} = 5,37$$

Z = 6



10) La Tensión de la correa que es determinada con gran exactitud por la fórmula Ec. 5.9 , que tiene en cuenta la fuerza útil a transmitir, la densidad y velocidad de la correa, el efecto del ángulo de contacto α y el coeficiente de fricción f entre correa y polea. Tenemos:

$$S_0 = 500 \times \left(\frac{f_t - c_\alpha}{c_\alpha} \right) \times \frac{N_D}{Z \times V} + \rho \times v^2 \quad [\text{N}] \quad \text{Ec. 5.9}$$

Para este caso en cuestión $c_\alpha=1$ y f_t se encuentra entre un valor máximo $f_t = 2,50$ (considera el criterio de aumentar la capacidad de carga de la correa a expensas del elevado tensado estático) y $f_t = 2,02$ (considera el criterio de aumentar la vida útil de la correa por emplear un mínimo tensado estático).

A criterio personal tomo un valor medio de $f_t = 2,26$ lo que permitirá una capacidad de carga aceptable con una buena vida útil. Entonces la tensión estática es:

$$S_0 = 500 \times 1,26 \times \frac{44,76}{102} + 0,20 \times (20,41)^2 = 276,458 + 83,313 = 305,66 \approx 359,77$$

$$S_0 = 360 \text{ [N]}$$

11) Existen dos métodos de cálculo para determinar la vida útil de las correas, el “cálculo según los esfuerzos normales” y el “cálculo según las fuerzas en las correas”. El fundamento de cálculo es el mismo en los dos métodos (según los esfuerzos) pero el segundo método esta basado en amplios ensayos de laboratorio y de exportación. Por lo tanto el cálculo de la vida útil se realizara con el método de “cálculo según las fuerzas en las correas” determinado por la siguiente ecuación:

$$H = 1477 \times \frac{L_n^{1,25}}{v} \times \frac{T_{fat}^m}{T_1^m + T_2^m} \quad [\text{Horas}] \quad \text{Ec. 5.10}$$

Siendo: L_n : Longitud de la correa (mm).
 v : Velocidad de la correa (m/s).
 T_{fat} : Fuerza límite de fatiga (N).
 T_1, T_2 : Fuerzas a la entrada de cada polea en el ramal de carga (N).
 m : Exponente de la curva de fatiga ($m = 11,11$)

Donde: $T_1 = S_0 + 500 \times \frac{N_D}{Z \times V} + T_{fc} + T_{flex1} \quad [\text{N}]$

$T_2 = S_0 + 500 \times \frac{N_D}{Z \times V} + T_{fc} + T_{flex2} \quad [\text{N}]$

$T_{fc} = \rho \times v^2 \quad [\text{N}]$



$$T_{flex1} = 589 \times \frac{C_b}{d_1^{1,5}} \text{ [N]}$$

$$T_{flex2} = 589 \times \frac{C_b}{d_2^{1,5}} \text{ [N]}$$

$$T_{fat} = 727 \text{ [N]} \text{ (de Tabla 5.10)}$$

Siendo: S_0 = Tensión estática. (N)

N_D = Potencia de diseño. (Kw)

z = Cantidad de correas.

v = Velocidad de la correa. (m/s)

T_{fc} = Fuerza normal en la correa por efecto de la fuerza centrífuga. (N)

T_{flex1}, T_{flex2} = Fuerza por flexión de la correa. (N)

ρ = masa por metro de correa. (Kg/m)

d_1, d_2 = diámetros de poleas. (mm)

C_b : constante de flexión.

Perfil	ρ (Kg /m)	Factor C_b		T_{fat} (N)
		Flexión normal	Flexión inversa	
A	0,11	399	479	418
B	0,20	1701	1943	727
C	0,33	5069	8926	1288
D	0,68	21561	25873	2664
AX	0,08	294	353	308
BX	0,13	1266	1446	541
CX	0,23	3940	6938	1000
SPZ	0,07	563	732	474
SPA	0,12	2105	4320	858
SPB	0,21	4659	8926	1242
SPC	0,36	6304	12077	1680
XPZ	0,06	470	611	396
XPA	0,11	1735	3324	707
XPB	0,18	3000	5748	800
XPC	0,34	5540	10110	1480
3V	0,06	470	611	396
5V	0,21	4659	8926	1242
8V	0,56	7950	15231	2120
3VX	0,06	470	611	396
5VX	0,18	3000	5748	800

Tabla 5.11 – Coeficientes para el calculo de la vida útil según el método GoodYear.



Los coeficientes “ρ” y “C_b” se obtienen de la Tabla 5.11, y el resto de los valores se obtiene por las ecuaciones ya descriptas. Comenzamos definiendo las fuerzas:

$$T_{fc} = 0,20 \times 20,41^2 = 83,31 \text{ [N]}$$

$$T_{flex1} = 589 \times \frac{1.701}{180^{1,5}} = 414,868 \text{ [N]}$$

$$T_{flex2} = 589 \times \frac{1.701}{260^{1,5}} = 238,978 \text{ [N]}$$

$$T_1 = 360 + 500 \times \frac{44,76}{5 \times 20,4} + 83,31 + 414,868 = 360 + 219,4 + 83,31 + 414,868 = 1.077,58$$

$$T_1 = 1.077,6 \text{ [N]}$$

$$T_2 = 360 + 500 \times \frac{44,76}{5 \times 20,4} + 89,88 + 225,826 = 360 + 219,4 + 89,88 + 238,978 = 908,25$$

$$T_2 = 908 \text{ [N]}$$

Determinadas las fuerzas en juego que experimenta la correa, sustituimos estos valores en la ecuación de la vida útil como sigue:

$$H = 1.477 \times \frac{2.480^{1,25}}{20,4} \times \frac{727^{11,11}}{1.078^{11,11} + 908^{11,11}} \quad \text{[Horas]}$$

$$H = 1.477 \times 857,895 \times 0,0109 = 13.864,65$$

$$H = 13.865 \text{ h.}$$

12) La eficiencia de la transmisión la podemos determinar estudiando las características de tracción de las transmisiones por correas, que esta definido por:

$$\varphi = \frac{P}{2 \times S_0} \quad \text{Ec. 5.11}$$

Siendo:

φ = Coeficiente de tracción.

P = Fuerza útil en la correa. (N)

S₀ = Tensado estático (previo) de la correa. (N)

A partir de mediciones experimentales, donde es controlada la tensión estática S_0 , la fuerza útil transmitida P , y el deslizamiento elástico relativo, es posible obtener una curva de la característica de tracción de la transmisión, tal como se muestra en la Fig. 5.4

$$P = \frac{1.000 \times N_D}{Z \times V} = \frac{1.000 \times 44,76}{5 \times 20,41} = 438,608 \text{ (N)}$$

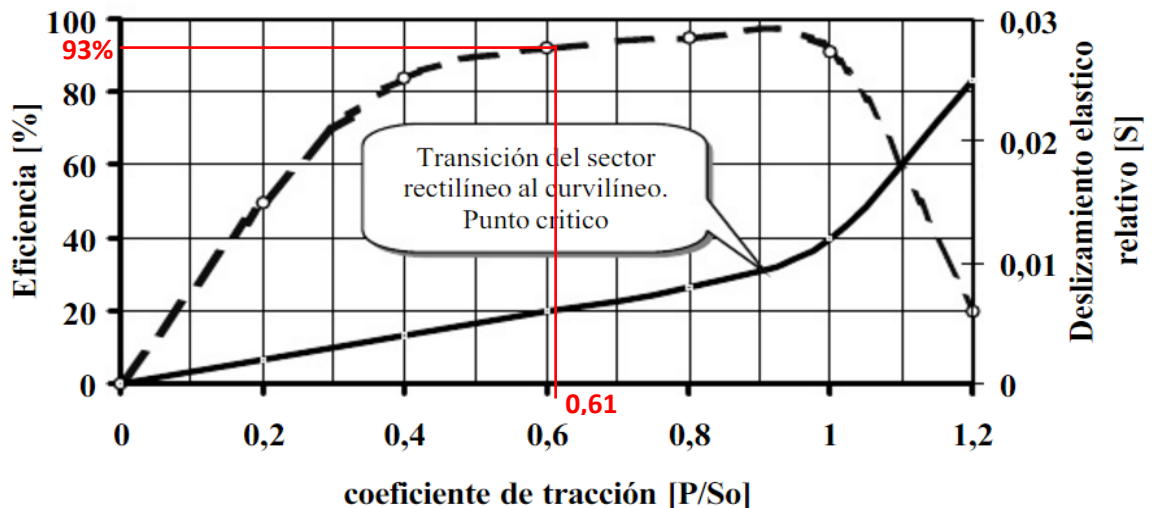


Fig. 5.4- Curva característica de tracción.

Definida la fuerza útil de la correa y sabiendo que el tensado estático previo de las correas es, según lo calculado en el punto 10, $S_0 = 360$ N tenemos:

$$\varphi = \frac{438,608}{2 \times 360} = 0,609$$

$$\varphi = 0,61$$

Con este valor de “ φ ” ingresamos al gráfico de la Fig. 5.4 hasta que intersectamos la curva de eficiencia y definimos en el sector izquierdo del gráfico una eficiencia próxima al 93 %.

5.3 Cálculo del eje del ventilador

Para el cálculo del eje utilizaremos un acero AISI 1045 (Normalizado), la longitud del mismo según el diseño del ventilador debe ser de 840 mm. En un extremo del eje tenemos una polea de cinco canales y en el otro extremo el rotor, la disposición de estos y de las cajas de rodamientos se pueden observar en la Fig. 5.5.

La fuerza ejercida por las correas se tomara en dirección horizontal, su valor esta determinado por la tensión del ramal tirante y la tensión del ramal flojo. La fuerza resultante para una correa plana se define como:



$$F_1 + F_2 = 2(F_1 - F_2)$$

Donde F_1 es la tensión del ramal tirante y F_2 la del ramal flojo. En nuestro caso en particular que tenemos correas trapezoidales o en V, la relación de tensiones entre el ramal tirante y el flojo se toma igual a 1,5. Teniendo en cuenta esta relación y sabiendo la tensión del ramal tirante, podemos definir la tensión del ramal flojo como sigue:

$$F_1 / F_2 = 1,5 \Rightarrow F_2 = F_1 / 1,5 \Rightarrow F_2 = 1.077 / 1,5 = 517,5 \text{ [N]}$$

Sabiendo que $F_1 = 1.077 \text{ [N]}$ y $F_2 = 538,5 \text{ [N]}$ la fuerza resultante será la suma de ambas por lo que $F_r = 1.615,5 \text{ [N]}$, este valor es la fuerza que ejerce sobre el eje la tensión de una correa, pero como en la transmisión estudiada tenemos cuatro correas, esa fuerza se debe multiplicar por este valor, por lo que la fuerza total ejercida por las correas será de:

$$F_T = F_r \times z = 1.615,5 \times 5 = 9.693 \text{ [N]}$$

$$F_T = 988,41 \text{ Kg}$$

Esta fuerza producida por la tensión de las correas se encuentra en un extremo del eje, en el otro extremo tenemos el peso del rotor estimado en 70 Kg. Podemos entender rápidamente que el extremo mas solicitado del eje se encuentra en el lado de la transmisión.

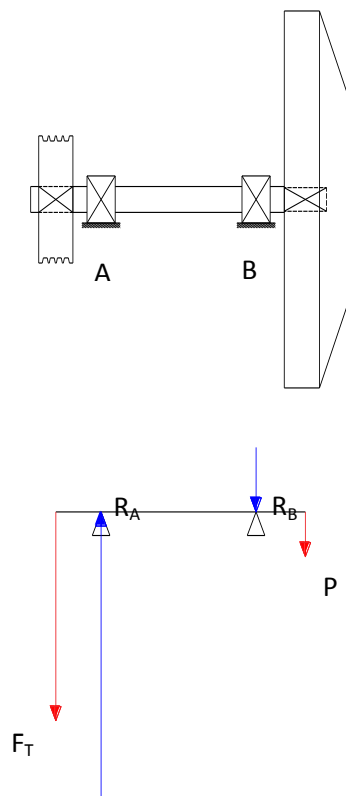


Fig. 5.5 – Fuerzas sobre el eje.



Para determinar las reacciones en los apoyos se hará la suma de las fuerzas respecto al eje “y” y se tomaran momentos respectivos a los puntos “A” y “B” tal como sigue:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_y = 0 = -F_T + R_A - R_B - P \\ \sum M_A = 0 = F_T \times 14 - R_B \times 44 - P \times 58 \end{aligned} \right\}$$

$$\sum M_A = 0 = 988 \times 14 - R_B \times 44 - 70 \times 58 \Rightarrow 0 = 13832 - R_B \times 44 - 4060 \Rightarrow 0 = -R_B \times 44 + 9772 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_B = \frac{9772}{44} = 222,09 \Rightarrow R_B = 222 \text{ [Kg]}$$

$$\sum F_y = 0 = -988 + R_A - 222 - 70 \Rightarrow R_A = 988 + 222 + 70 = 1280 \Rightarrow R_A = 1.280 \text{ [Kg]}$$

El momento flector en el punto “A” será la suma de las fuerzas situadas a la izquierda o derecha de dicho punto por la distancia al mismo. El Momento flector en el apoyo “A” será de:

$$Mf_A = F_T \times 14 = 1.280 \times 14 = 17.920 \text{ [Kg cm.]}$$

Por otro lado, $Mf_B = P \times 14 = 70 \times 14 = 980 \text{ [Kg cm.]}$

Supongo par de torsión constante a la máxima potencia que entrega el motor (50 HP). Entonces el par torsor lo definimos como:

$$T_C = \frac{71.620 \times 50}{2.143} = 1.671,02 \text{ [Kg cm]}$$

Por los datos obtenidos de las reacciones y de los momentos flectores en los apoyos, deducimos rápidamente que la sección mas solicitada ser la que se encuentra próxima al apoyo “A”.

Para facilitar los cálculos considero las fuerzas actuantes de las correas en el plano horizontal, y procedo con el mismo basado en la teoría del esfuerzo cortante octaédrico.

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{S_e}{S_n} \right)^2 + \left(\frac{S_{es}}{S_{ns}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Ec. 5.12

Donde:

N: Coeficiente de seguridad o factor de calculo.

S_e: Esfuerzo equivalente.

S_n: Resistencia a la Fatiga



S_{es} : Esfuerzo equivalente para esfuerzo cortante.
 S_{ns} : Resistencia a la Fatiga para esfuerzo cortante.

El Factor de cálculo “N” lo tomamos igual a 2,5 basado en la resistencia de fluencia, el resto de los factores se determinan de la siguiente manera:

$$\left. \begin{aligned} S_e &= \frac{S_n}{S_y} \times S_m + K_f \times S_a \\ S_n &= S'_n \times K_1 \times K_2 \times K_3 \\ S_{es} &= \frac{S_{ns}}{S_{ys}} \times S_{ms} + K_f \times S_{as} \\ S_{ns} &= S'_{ns} \times K_1 \times K_2 \times K_3 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \text{Donde: } S'_n &= 0,5 \times S_u \\ S'_{ns} &= 0,5 \times S_{us} \\ S_{ys} &= 0,6 \times S_y \\ K_{1-3} &= \text{Factores de correccion.} \\ K_f &= \text{Coefi. de reduccion de resist. a la fatiga.} \\ S_m &= \text{Esfuerzo medio} \\ S_a &= \text{Esfuerzo alterno} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} S_m &= \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2} \\ S_a &= \frac{S_{\max} - S_{\min}}{2} \end{aligned} \right\} S_{\max} = S_{\min} = \frac{17.920}{W} \Rightarrow \begin{cases} S_m = 0 \\ S_a = \frac{17.920}{W} \end{cases}$$

$$S'_n = 0,5 \times S_u = 0,5 \times 6.960 = 3.480 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$S_n = 3.480 \times 0,85 \times 0,85 \times 1 = 2.514,3 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$S_e = \frac{S_n}{S_y} \times S_m + K_f \times S_a \Rightarrow S_e = K_f \times S_a$$

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

Donde “q” es la sensibilidad a la entalla que la determino de la fig. AF7 del Faires. El coeficiente “K_t” lo determino por la Fig. AF12 del Faires. Tenemos:

$$K_f = 1 + 0,85(2,4 - 1) = 2,19$$

$$S_e = K_f \times S_a = 2,19 \times \frac{17.920}{W} \Rightarrow S_e = \frac{39.244,8}{W}$$



$$S_{ns} = 0,5 \times 4.176 = 2.088 \text{ [Kg/ cm}^2\text{]}$$

$$S_{ns} = S_{ns} \times K_1 \times K_2 \times K_3 = 2.088 \times 0,85 \times 0,85 \times 1 \Rightarrow S_{ns} = 1.508,58 \text{ [Kg/ cm}^2\text{]}$$

$$\left. \begin{aligned} S_{ms} &= \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \\ S_{as} &= \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \end{aligned} \right\} T_{\max} = T_{\min} = \frac{1671,02}{W} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} S_{ms} &= \frac{1.671,02}{W} \\ S_{as} &= 0 \end{aligned} \right.$$

$$S_{es} = \frac{S_{ns}}{S_{ys}} \times S_{ms} + K_f \times S_{as} \Rightarrow S_{es} = \frac{S_{ns}}{S_{ys}} \times S_{ms}$$

$$S_{ys} = 0,6 \times S_y = 0,6 \times 4.288 = 2.572,8 \text{ [Kg/ cm}^2\text{]}$$

$$S_{es} = \frac{1.671,02}{2.572,8} \times \frac{1.671,02}{Z'} \Rightarrow S_{es} = \frac{1.085,65}{Z'}$$

El valor del modulo resistente a la flexión es de: $W = \pi \times d^3/32$ y el valor del modulo resistente al corte es de $Z' = \pi \times d^3/16$. Por lo tanto podemos considerar a $Z = 2W$.

Finalmente si sustituimos todos estos valores obtenidos en la ecuación Ec. 5.12 obtenemos lo siguiente:

$$\frac{1}{1,7} = \left[\left(\frac{39.244,8}{2.514,3} \right)^2 + \left(\frac{1.085,65}{1.508,58} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{1,7} = \left[\left(\frac{39.244,8}{2.514,3W} \right)^2 + \left(\frac{1.085,65}{3.017,16W} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{1,7} = \left[\left(\frac{15,6}{W} \right)^2 + \left(\frac{0,359}{W} \right)^2 \right]^{1/2}$$



$$\frac{1}{1,7} = \left[\left(\frac{243,36}{W^2} \right) + \left(\frac{0,128}{W^2} \right) \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{1,7} = \left[\frac{243,36 + 0,128}{W^2} \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{1,7} = \left[\frac{243,488}{W^2} \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{1,7} = \frac{243,488^{1/2}}{W} = \frac{15,6}{W} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{15,6}{W} \Rightarrow W = 15,6 \times 1,7 = 26,52 \Rightarrow$$

$$\frac{\pi \times d^3}{32} = 26,52 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{26,52 \times 32}{\pi}} = 6,46 \text{ [cm]}$$

$$D = 64,6 \text{ [mm.]}$$

Elegimos una medida estándar superior por lo que el diámetro definitivo para el eje del rotor será de **65 mm**.

Definido el diámetro del eje calculamos las dimensiones del chavetero. Utilizaremos una chaveta de material AISI C1020 cuyo $S_y = 2.952 \text{ Kg/cm}^2$, con esto nos aseguramos de que la resistencia de compresión del hierro colado y del material 1045 sea mayor que el del material de la chaveta.

La transmisión no está afectada por vibraciones altas, por lo que es razonable utilizar un coeficiente de cálculo $N = 2$. Los esfuerzos de cálculo para el corte y la compresión son:

$$S_s = \frac{0,50 \times 2.952}{2} = 738 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$



$$S_c = \frac{2.952}{2} = 1.476 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

El momento torsor a transmitir es:

Ec. 5.13

$$T = \frac{71.620 \times CV}{n} = \frac{71.620 \times 50,69}{2.143} = 1.694,08 \text{ [cm/Kg]}$$

Por medio de la tabla AT19 del Faires elegimos “b” y “t” para un diámetro de eje de 65 mm para este caso b = 18 y t = 11.

Definida la sección de la chaveta según Norma DIN 6885/1, procedemos a realizar el cálculo de la longitud de la misma en función de los dos esfuerzos a los que esta sometida, seleccionando la longitud de mayor valor. Tenemos:

$$L = \frac{2T}{S_s \times b \times D} = \frac{2 \times 1.694,08}{738 \times 1,8 \times 6,5} = \frac{3.388,16}{8.634,6} = 0,39 \text{ cm} \quad \text{Ec. 5.14}$$

$$L = \frac{4T}{S_c \times t \times D} = \frac{4 \times 1.694,08}{1.476 \times 1,1 \times 6,5} = \frac{6.776,32}{10.533,4} = 0,64 \text{ cm} \quad \text{Ec. 5.15}$$

La longitud que resulta del cálculo si tomamos el resultado mayor es 6 mm, este valor resulta muy pequeño para adoptarlo, por lo que debemos aplicar algunas consideraciones practicas. Según el Faires, las longitudes de las chavetas van de 1,25D a 2,4D, siendo “D” el diámetro del eje. Por lo que resulta lógico adoptar un valor próximo al mínimo sabiendo que esa longitud esta muy por encima de la longitud requerida por el calculo. Adoptamos $L = 1,54 \times D$, la longitud de la chaveta será entonces de:

$$L = 1,54 \times 65 \text{ mm} = 100,1$$

$$L = 100 \text{ mm}$$

5.12 Selección y Cálculo de los rodamientos.

Selección del Tipo de Rodamiento

La selección del tipo de rodamiento dependerá fundamentalmente de las características de la aplicación, que debemos conocer en detalle tal como el tipo de máquina, las cargas aplicadas, las velocidades de rotación, etc. Por otro lado, también se deben conocer los distintos tipos de rodamientos, sus características y aplicaciones típicas que nos brinda el amplio campo de la práctica.



Características de la Aplicación

Los rodamientos a seleccionar estarán montados en el eje de un ventilador centrífugo cuyo rotor se encuentra en voladizo. El movimiento del eje se lleva a cabo por medio de 6 correas trapeciales que lo hacen girar a 2.143 rpm, y que generan la mayor carga sobre el rodamiento lado polea. Por su características constructivas el ventilador centrífugo realiza la aspiración del aire proveniente del filtro de mangas desde el centro del rotor, esto origina una zona de baja presión que succiona el aire haciéndolo pasar por los alabes del rotor y sacándolo por la tobera de escape que esta ubicada en forma perpendicular al mismo. La resistencia originada por el aire crea un componente de fuerza axial que se deberá tener en cuenta al seleccionar el rodamiento. La componente de fuerza axial puede ser incrementada si tenemos una desalineación de poleas, o un desbalanceo importante, o si por alguna razón el roto se deforma o presenta alabeo, en la Fig 5.6 se indica la fuerza antes mencionada. De acuerdo a lo expresado anteriormente, el valor de dicha fuerza axial puede ser bajo o considerablemente alto por lo que es difícil de determinar.

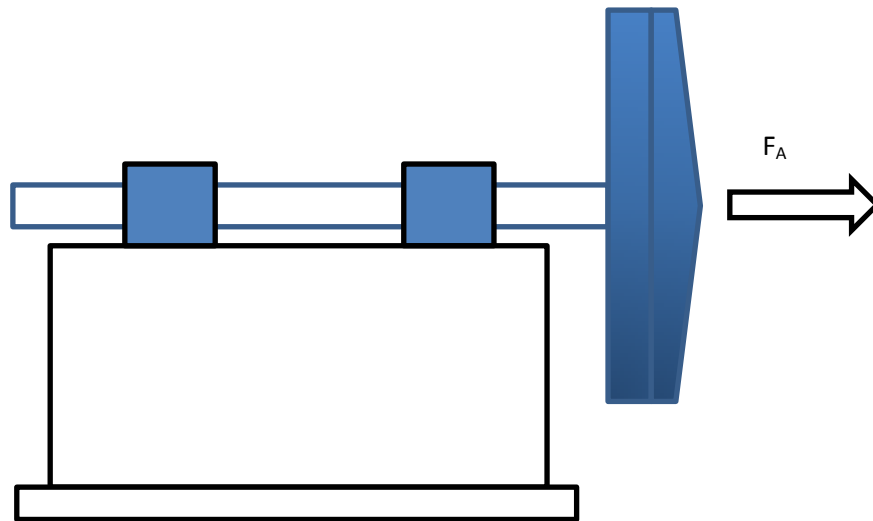


Fig. 5.6 – Fuerza axial actuante en un rotor en voladizo.

A los fines de ordenar la información necesaria para la selección del rodamiento adecuado se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- 1) Espacio Disponible.
- 2) Carga.
- 3) Desalineación.
- 4) Precisión.
- 5) Velocidad.
- 6) Funcionamiento Silencioso.



- 7) Rigidez.
- 8) Desplazamiento axial.
- 9) Montaje y desmontaje.
- 10) Obturaciones integradas.

- 1) **Espacio Disponible:** En muchos casos, una de las dimensiones principales del rodamiento, el diámetro del agujero, viene determinado por las características de diseño de la máquina y por el diámetro del eje. En algunos casos el espacio radial disponible es limitado, por lo que se deberá emplear rodamientos de sección transversal pequeña, como los rodamientos de agujas. Por otro lado cuando el espacio axial es reducido se deberán optar por rodamientos rígidos de bolas o de rodillos cilíndricos. En este caso no tenemos limitado el espacio radial ni el espacio axial, por lo que se adecua a cualquier tipo de rodamiento.

- 2) **Carga:** Lo importante en este punto es determinar no solo la magnitud de la carga a la cual estará sometido el rodamiento, sino también el sentido de la misma. En términos generales los rodamientos a rodillos soportan mayores cargas que los rodamientos a bolas de tamaño similar. Los rodamientos a bolas son los más utilizados cuando las cargas son ligeras y moderadas, mientras que para cargas elevadas y ejes de gran diámetro, la solución más adecuada son los rodamientos de rodillos. En cuanto al sentido de la carga, si la carga es puramente radial los rodamientos adecuados pueden ser los del tipo rodillos cilíndricos de diseño NU y N los rodamientos a agujas y los CARB. Si la carga es puramente axial, se emplean los rodamientos tipo crapodinas, que son rodamientos axiales de bolas, los rodamientos axiales con contacto angular de la serie 7000, para cargas más elevadas se emplean rodamientos axiales de rodillos cilíndricos y rodamientos axiales de agujas. Si la carga es combinada, es decir una carga axial y radial que actúan simultáneamente, se suelen emplear según el caso los rodamientos de una y de dos hileras de bolas de contacto angular y los rodamientos de una hilera de rodillos cónicos, aunque los rodamientos rígidos de bolas y los rodamientos de rodillos a rotula también son adecuados. Según el sentido de la carga y la magnitud de la misma hay muchas opciones y combinaciones de disposición de rodamientos, que no vamos a tratar aquí; simplemente es un panorama de las principales opciones que se emplean en la práctica.

La carga radial sobre el rodamiento lado polea se puede determinar, como se vio en el punto (5.3) que es de 1.280 Kg. El peso del rotor es de 70 Kg. y el peso del eje es de unos 14 Kg. lo que resulta un peso total del conjunto de 84 Kg.

La carga axial la podemos estimar considerando dos situaciones, una es la desalineación de poleas que se tomara con un desplazamiento extremo de un canal, y otra es la fuerza axial ejercida por el aire aspirado y por un desbalanceo residual en el rotor. Para una distancia entre centros de 900 mm y para una desalineación de poleas de un canal o 20 mm. la componente axial de la fuerza de 718 Kg. ejercida por las correas es de unos $F_{ac} = 16$ Kg. es decir un 2,2 % de dicha fuerza.

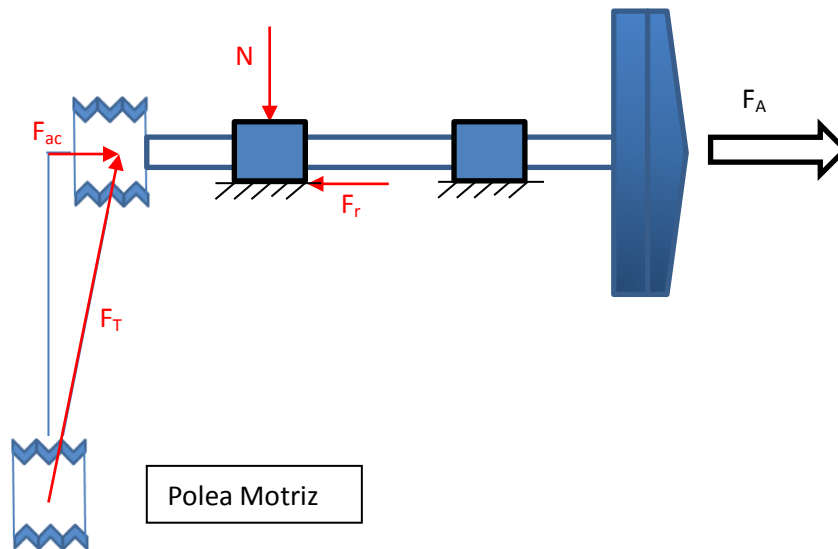


Fig. 5.7 – Fuerzas axiales debido a una desalineación de poleas.

En cuanto a la carga ejercida por el flujo de aire y por las condiciones antes mencionadas, podemos tomar un criterio observado en la práctica. Los rotores en voladizo deben estar montados de tal forma que uno de sus rodamientos este fijado y el otro pueda desplazarse libremente, si esta fijación no es correcta o si los dos rodamientos están libres, sucede que el rotor experimenta un desplazamiento axial que puede producir roturas en los rodamientos o rozamientos entre el rotor y la tobera de admisión en la voluta. Este desplazamiento implica que la fuerza que experimenta el rotor vence las fuerzas de rozamiento entre el rodamiento y la caja soporte, y esta la podemos determinar calculando la fuerza de rozamiento necesaria a vencer. Para este calculo tomaremos la fuerza de las correas como fuerza normal, el coeficiente de rozamiento entre el acero y la fundición es $\mu = 0,23$. Con estos valores determinamos la fuerza necesaria para producir el desplazamiento del rodamiento sobre la caja.

$$F_r = N \times \mu$$

$$F_r = 718 \times 0,23 = 165,14 \text{ [Kg]}$$



La fuerza total axial que experimenta el eje será la suma de la fuerza axial de la componente de las correas mas la fuerza necesaria para producir el desplazamiento del rodamiento, es decir:

$$F_{ax} = F_{ac} + F_r$$

$$F_{ax} = 16 + 165,14 = 181 [Kg]$$

Carga Mínima: para que el rodamiento pueda funcionar de un modo satisfactorio, debe estar sometido a una carga mínima. Una regla empírica general indica que los rodamientos de rodillos se deben someter a cargas mínimas correspondientes a 0,02C. Para este caso seria:

$$P_{\min} = 0,02 \times 212 = 4,24 \text{ KN} = 424 \text{ Kg.}$$

Como la carga calculada es de 1.280 Kg. Cumple sin problemas este requisito.

- 3) **Desalineación:** Por condiciones de funcionamiento o de proceso, el rodamiento puede estar sometido a desalineaciones, que pueden generar esfuerzos para los cuales no ha sido diseñado. Para este tipo de condición de trabajo son muy adecuados los rodamientos auto-alineables, es decir los rodamientos de bolas a rotula, los rodamientos de rodillos a rotula, los rodamientos CARB y los rodamientos axiales de rodillos a rotula.
- 4) **Precisión:** Este parámetro si bien lo mencionamos no aplica a este caso, ya que se tiene en cuenta cuando la aplicación requiere una alta precisión y altas velocidades de funcionamiento, tal como puede ser un usillo de un torno o un centro de mecanizado.
- 5) **Velocidad:** La temperatura de funcionamiento admisible limita la velocidad a la que los rodamientos pueden funcionar, los rodamientos que ofrecen una baja fricción y por tanto una baja generación de calor interna, son los más apropiados para el funcionamiento a alta velocidad. En términos generales los rodamientos a bolas permiten trabajar a velocidades más altas que los rodamientos a rodillos.
- 6) **Funcionamiento silencioso:** Este parámetro se debe tener en cuenta solo si la aplicación requiere esa condición de trabajo. Como por ejemplo motores pequeños de electrodomésticos o equipos de oficina. No tomaremos en cuenta este parámetro en la selección del rodamiento para nuestro caso.



- 7) **Rigidez:** La rigidez de un rodamiento se caracteriza por la magnitud de la deformación elástica (resiliencia) del rodamiento bajo carga. Normalmente esta deformación es muy pequeña y puede ser ignorada, pero puede ser muy importante en los husillos de máquinas herramientas o en disposiciones de rodamientos en engranajes. En nuestro caso vamos a ignorar este parámetro.
- 8) **Desplazamiento axial:** En general los ejes de las maquinas están soportados por un rodamiento fijo y otro libre. Esta disposición hace que el rodamiento fijo actúe de anclaje y que el rodamiento que esta libre permita el desplazamiento axial del eje, de manera que los rodamientos no se sobrecarguen, como por ejemplo a causa de una dilatación térmica del eje. Todos los rodamientos permiten un desplazamiento axial del eje con respecto al alojamiento en el rodamiento, algunos rodamientos a rodillos como los de diseño N o NU y los CARB permiten un desplazamiento relativo entre los aros interior y exterior del propio rodamiento. Para nuestra aplicación deberemos considerar este punto ya que tenemos una carga axial que determinamos en el punto 2 cuando tratamos las cargas sobre el rodamiento.
- 9) **Montaje y Desmontaje:** Los rodamientos presentan según el caso, agujeros cilíndricos o agujeros cónicos. Los agujeros cilíndricos son fácil de montar y el ajuste se hace con la interferencia entre el aro interior y el eje; los agujeros cónicos se pueden montar sobre eje cónico o sobre eje cilíndrico por medio de manguitos de fijación, el ajuste en este caso se realiza por medio de la tuerca del manguito de fijación siguiendo un procedimiento de reducción de juego interno.
- 10) **Obturaciones integradas:** las obturaciones son de vital importancia para el adecuado funcionamiento del rodamiento, ya que lo protege de contaminantes como el agua, el polvo y posibles contaminación por productos de fabricación o proceso. Existen varios tipos de obturaciones que en función de las características de la aplicación se elige cual se empleará.

Conclusión: Teniendo en cuenta las características de la aplicación y las condiciones de trabajo a las que estarán sometidos los rodamientos, se selecciona un rodamiento de rodillos a rotula montado sobre manguito de fijación, con las siguientes características:

Rodamiento: 22215 EK

Manguito: H315

Caja: SNH 515-612

Obturaciones: TSN 515L



Selección del Tamaño del Rodamiento

El tamaño de rodamiento para una aplicación se selecciona inicialmente en base a su capacidad de carga, en relación con las cargas que tendrá que soportar, y según la exigencia de duración y fiabilidad. Las condiciones de cargas estáticas y dinámicas del rodamiento se deben verificar independientemente. Las cargas estáticas no solo son aquellas aplicadas al rodamiento en reposo o a bajas velocidades ($n < 10$ rpm), sino que también deben incluir la verificación de la seguridad estáticas de las cargas de choque muy elevadas (cargas de duración muy breve).

Vida nominal del rodamiento

La vida nominal de un rodamiento según la normativa ISO 281:1990 es:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{Ec. 5.16}$$

Cuando la velocidad es constante, suele ser preferible calcular la vida expresadas en horas de funcionamiento utilizando la ecuación:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \times L_{10}$$

Donde:

L_{10} = Vida nominal (con un 90% de fiabilidad), millones de revoluciones.

L_{10h} = Vida nominal (con un 90% de fiabilidad), horas de funcionamiento.

C = Capacidad de carga dinámica, KN.

P = Carga dinámica equivalente del rodamiento, KN.

n = Velocidad de giro, rpm.

p : = Exponente de la ecuación de la vida:

= 3 para rodamientos de bolas

= 10/3 para los rodamientos de rodillos.

Vida nominal SKF

Para los rodamientos modernos de alta calidad, la vida nominal o básica se puede desviar significativamente de la vida de servicio real en una aplicación determinada. La vida de servicio de una aplicación depende de varios factores, entre los que se encuentra la lubricación, el grado de contaminación, la desalineación, el montaje adecuado y las condiciones ambientales.

Por este motivo la normativa ISO 281:1990/Amd 2:2000 contiene una fórmula de vida ajustada para complementar la vida nominal. El factor de ajuste de la vida a_{SKF} aplica el concepto de carga límite de fatiga P_u análogo al utilizado cuando se realizan cálculos para otros componentes de la máquina.



La vida nominal SKF de un rodamiento según la normativa ISO 281:1990/Amd 2:2000 es:

$$L_{nm} = a_1 \times a_{SKF} \times L_{10} = a_1 \times a_{SKF} \times \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{Ec. 5.17}$$

Si la velocidad es constante, suele ser preferible calcular la vida expresadas en horas de funcionamiento utilizando la ecuación:

$$L_{nmh} = \frac{10^6}{60 n} \times L_{nm}$$

Donde:

L_{nm} = Vida nominal SKF (con un 100 - n^1 % de fiabilidad), millones de revoluciones.

L_{nmh} = Vida nominal SKF (con un 100 - n^1 % de fiabilidad), horas de funcionamiento.

L_{10} = Vida nominal (con un 90% de fiabilidad), millones de revoluciones.

a_1 = Factor de ajuste de vida para una mayor fiabilidad (tabal 1)

a_{SKF} = Factor de ajuste de la vida SKF (diagramas 1-4)

C = Capacidad de carga dinámica, KN.

P = Carga dinámica equivalente del rodamiento, KN.

n = Velocidad de giro, rpm.

p = Exponente de la ecuación de la vida:

= 3 para rodamientos de bolas

= 10/3 para los rodamientos de rodillos.

Calculo de la Vida de Servicio

Para este cálculo utilizamos la vida nominal SKF, para lo cual se necesita los valores de capacidad carga estática y dinámica, la carga límite de fatiga, las cargas a las que estará sometido el rodamiento, las rpm y las características del lubricante utilizado. A continuación se especifican todos estos datos:

Datos de Rodamiento:

SKF 22215 EK

Capacidad de carga estática: $C_0 = 240$ KN

Capacidad de carga dinámica: $C = 212$ KN

Carga limite de fatiga: $P_u = 26,5$ KN

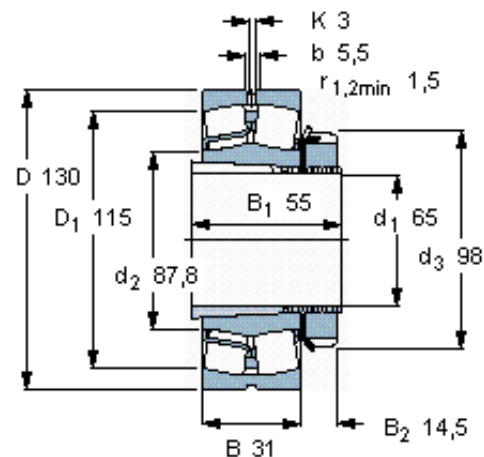
Velocidad limite: rpm = 6300

Velocidad de giro: rpm = 2240

Carga max. a soportar: $P = 21,57$ KN

Carga dinámica equivalente: $P_e = 22,1$ KN

Diámetro medio: $d_m = 97,5$ mm



Condiciones de Trabajo:

Grasa: LGHP 2

Viscosidad: 96 cst a 40 °C (ISO VG 100)

Aceite base: mineral

Espesante: diurea

Rango de temp: -40 °C a +150 °C

Viscosidad requerida: 9 cts.

Viscosidad real: 30 cts

Factor capa K: 3,33

Factor de contaminación n_c : 0,3Fiabilidad del 98 %: $a_1 = 0,33$ **Vida en millones de revoluciones**

$$L_{10} = \left(\frac{212}{22,1} \right)^{3,33} = 1861,54$$

Vida en horas

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \times 2240} \times 1861,54 = 138.498,5 \text{ h.}$$

Vida Nominal SKF en millones de revoluciones

$$L_{nm} = 0,33 \times 0,9 \times 1861,54 = 552,87$$

Vida Nominal SKF en horas

$$L_{nmh} = \frac{10^6}{60 \times 2240} \times 552,87 = 41.134,07$$

Es decir que el rodamiento tendrá una vida útil próxima a 5 años, lo cual es un valor muy satisfactorio. Esta vida útil del rodamiento será correcta mientras se mantengan estables las condiciones de trabajo, ya que si por alguna razón experimenta un incremento en la temperatura, carga o empeora su condición de limpieza, el valor de la vida será afectado y puede reducirse considerablemente.

5. 14 Selección de las Electroválvulas del Sistema Pulse-Jet

Para los filtros de mangas se emplean electroválvulas de dos vías del tipo “VXF2”, las características técnicas y la selección de la misma las haremos siguiendo las recomendaciones de las tablas 5.12 y 5.13 de la firma SMC.

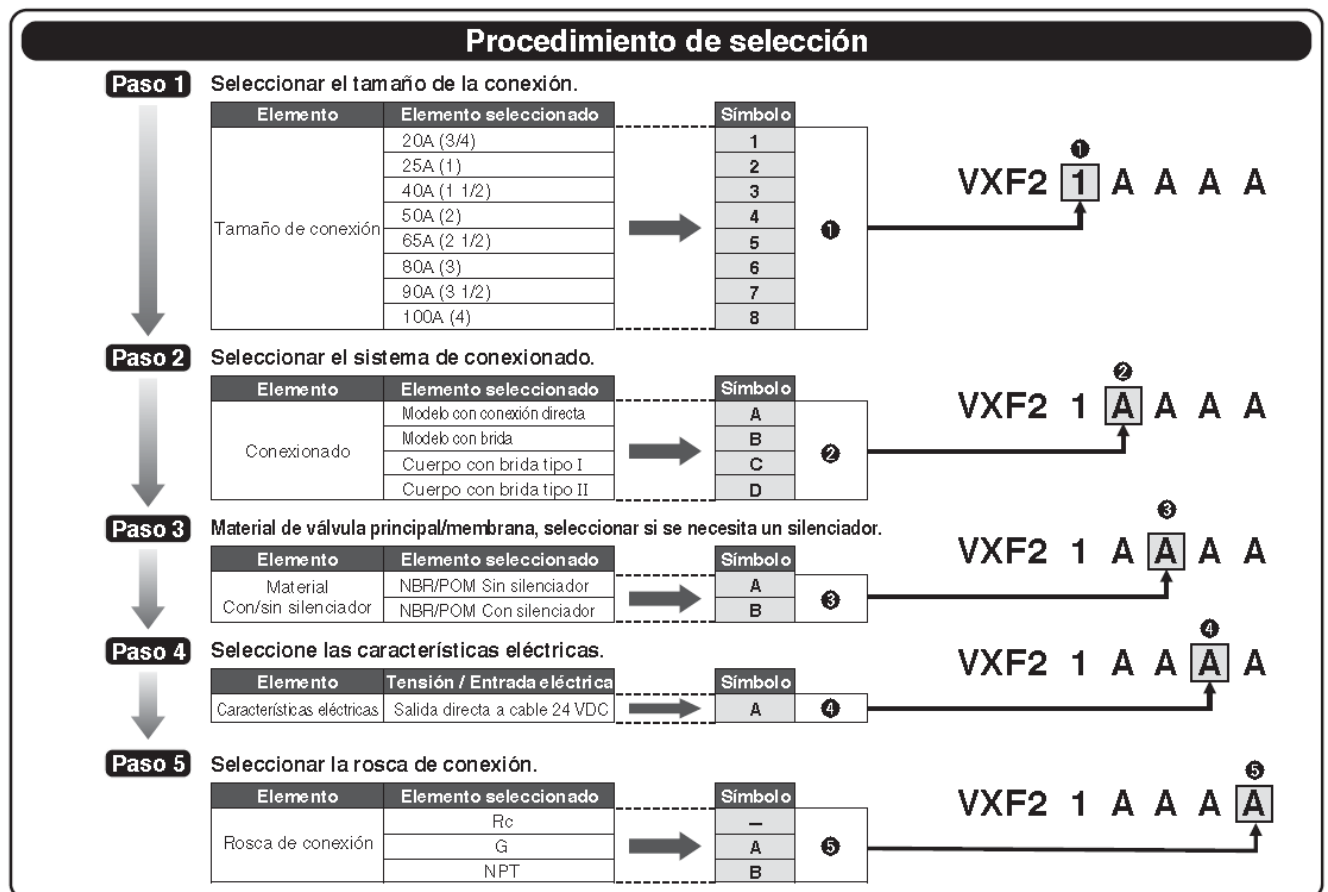


Características técnicas

Modelo con electroválvula

Ref.	VXF21A□□	VXF22A□□	VXF23A□□	VXF24A□□	VXF25 ^A □□	VXF26 ^A _B □□	VXF27B□□	VXF28B□□
Tamaño del orificio [mm ø]	22	28	44	53	70	80	90	100
Tamaño de conexión	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4
Fluido	Aire							
Presión mín. de trabajo [MPa]	0.03				0.1			
Presión máx. de trabajo [MPa]	0.7							
Temperatura del fluido [°C]	-10 (sin congelación) a 60							
Temperatura ambiente [°C]	5 a 60							
Tipo de aislamiento de bobina	Clase B							
Protección	IP65							
Fluctuación de tensión admisible [V]	±10% de la tensión nominal							
Consumo de potencia	AC	[VA]	7	10	7			
	DC	[W]	4.5	8	4.5			

Tabla 5.12 – Características de válvulas y modelos.



Tablas 5.13 – Selección de la válvula

En este caso en particular tenemos un orificio de 1 ½ pulgadas con una presión de trabajo de 0,5516 MPa. La temperatura de trabajo es la ambiente por lo que esta dentro del rango que especifica el producto. Siguiendo los pasos que indican las Tablas 5.13 tenemos:

Modelo de Válvula: (VXF2 3 A A A)



5.15 Cálculo estructural por elementos finitos.

Se estudiarán los esfuerzos a los que está sometida la estructura soporte del filtro de mangas, la cual se muestra en la Fig. 5.8 se tendrá en cuenta además el efecto del viento sobre la misma y se comprobará si la misma satisface los requerimientos de trabajo.

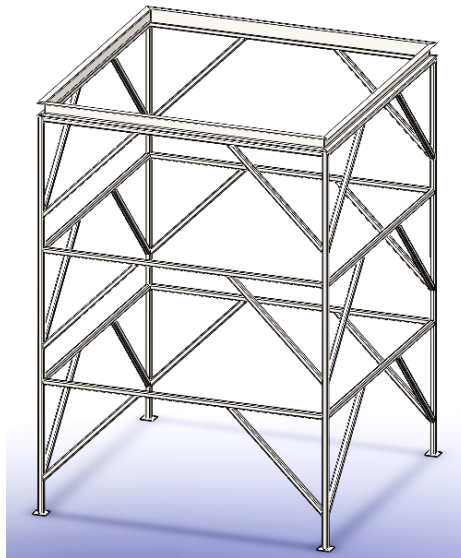


Fig. 5.8 – Estructura soporte del filtro de mangas.

Para determinar la carga estática sobre la estructura se suma el peso de las partes que soporta la misma y se considera además el peso del producto si el filtro se obstruyera y se acumulara un 45% de cascara sobre el volumen total. El peso de las partes metálicas que soporta la estructura es de 2.368 Kg y el peso del material acumulado y depositado en un 45% del volumen del filtro es de 4.404 Kg eso suma un peso total de 6.772 Kg. Se tomara para el cálculo estático un peso total de 7.000 Kg.

Efecto del viento

Para considerar este efecto en el cálculo estructural se toma el Reglamento CIRSOC del INTI. Se seguirá el procedimiento de cálculo allí indicado y los resultados de este se integrará al cálculo por elementos finitos.

Procedimiento de cálculo:

- 1) Velocidad de referencia. (β)
- 2) Velocidad básica de diseño. (V_0)
- 3) Cálculo de la presión dinámica básica (q_0)
- 4) Determinación de la presión dinámica de cálculo (q_z)
- 5) Cálculo de las acciones

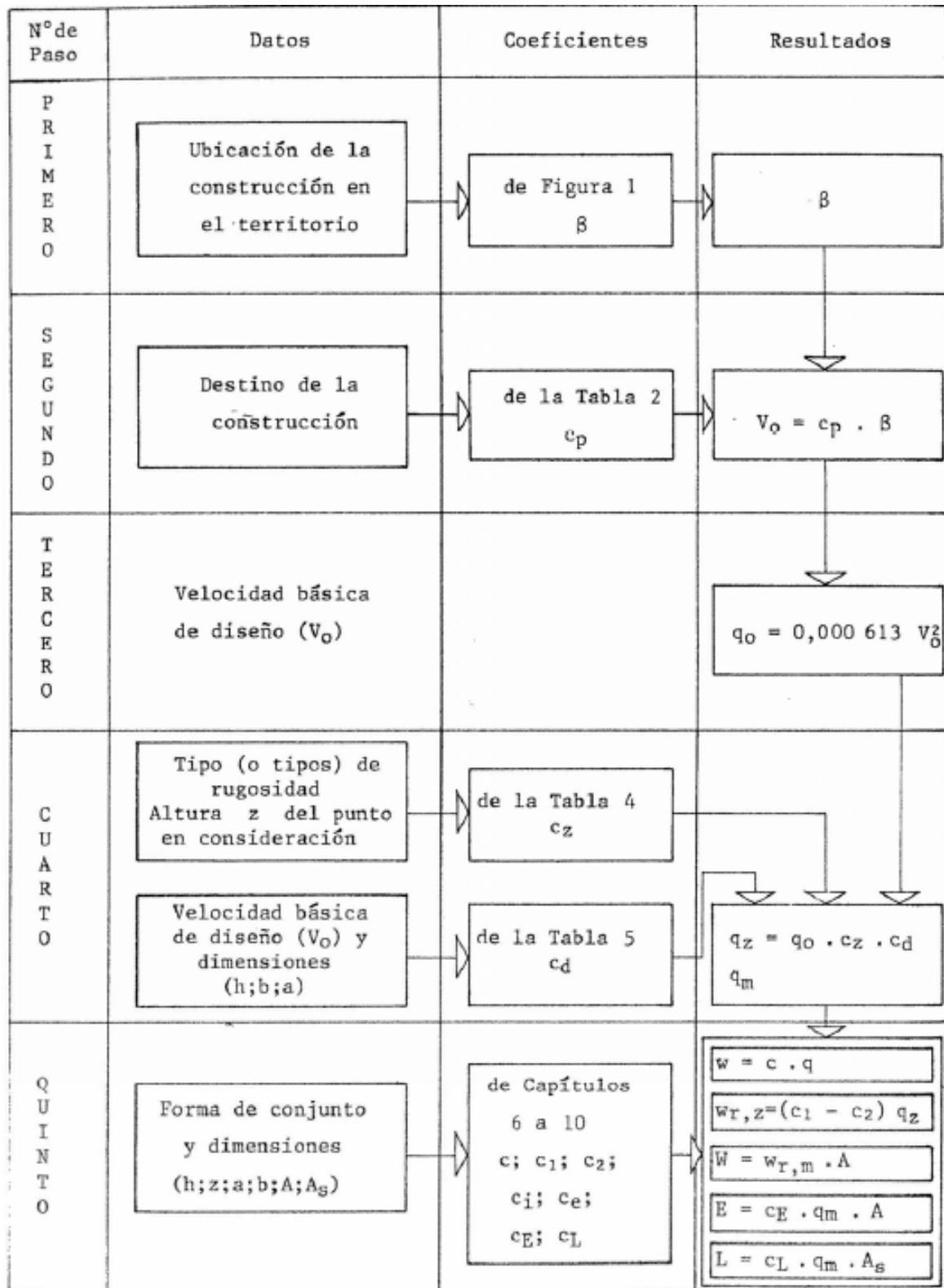


Fig. 5.9 – Esquema del procedimiento de cálculo.

- 1) La velocidad de referencia depende de donde estará instalada la estructura, que en nuestro caso será dentro de la provincia de Córdoba. Según el reglamento CIRSOC, la velocidad de referencia β para la provincia de Córdoba es de 25 m/seg.



- 2) La velocidad básica de diseño esta dada por la siguiente formula: $V_0 = C_p \times \beta$ Siendo: V_0 la velocidad básica de diseño, expresada en metros por segundo. C_p es el coeficiente de velocidad probable, que toma en consideración el riesgo y el tiempo de riesgo adoptado para la construcción.

El coeficiente C_p para este tipo de estructura es igual a 1,45 por lo que la velocidad de diseño es:

$$V_0 = 1,45 \times 25 = 36,25 \text{ m/s}$$

- 3) La presión dinámica básica esta dada por la siguiente formula:

$$q_0 = 0,000613 \times V_0^2 = 0,8055203125 \text{ [KN/m}^2\text{]} \quad \text{Ec. 5.18}$$

$$q_0 = 80,55203125 \text{ [Kgf/m}^2\text{]}$$

- 4) La presión dinámica de cálculo esta dada por la siguiente ecuación:

$$q_z = q_0 \times c_z \times c_d \quad \text{Ec. 5.19}$$

El coeficiente c_z es un coeficiente adimensional que expresa la ley de variación de la presión con la altura y toma en consideración la rugosidad del terreno. Se determina por la Tabla 4 del reglamento CIRSOC, en este caso el coeficiente $c_z = 1$

El coeficiente c_d es un coeficiente adimensional de reducción que toma en consideración las dimensiones de la construcción. El coeficiente c_d se emplea cuando algunas de las dimensiones del proyecto superan los 20 metros, como en este proyecto todas las dimensiones están por debajo de ese valor, no consideraremos este calculo.

Por lo tanto para este proyecto el valor de la presión dinámica de cálculo será:

$$q_z = q_0 \times c_z = 80,55 \times 1 = \mathbf{80,55} \text{ [Kgf/m}^2\text{]}$$

- 5) Calculo de las acciones:

La acción unitaria ejercida por el viento sobre una de las caras de un elemento de superficie de una construcción, ubicado al nivel z, se determinará con:

$$W_z = c \times q_z \quad \text{Ec. 5.20}$$



Donde “ W_z ” es la acción unitaria expresada en $[KN/m^2]$ y “ c ” es un coeficiente de presión que depende en cada caso de la forma geométrica de la construcción y de otros factores tales como: la relación de sus dimensiones, la rugosidad de la superficie, la permeabilidad de las paredes, la orientación con relación a la dirección del viento, la ubicación en el espacio con respecto a otras superficies o construcciones, etc.

Construcciones prismáticas de base Cuadrangular: existe una relación “ λ ” que representa el coeficiente entre la altura y la dimensión horizontal de la cara expuesta. Según que cara esta expuesta al viento se designara:

$$\lambda_a = \frac{h}{a} \qquad \lambda_b = \frac{h}{b}$$

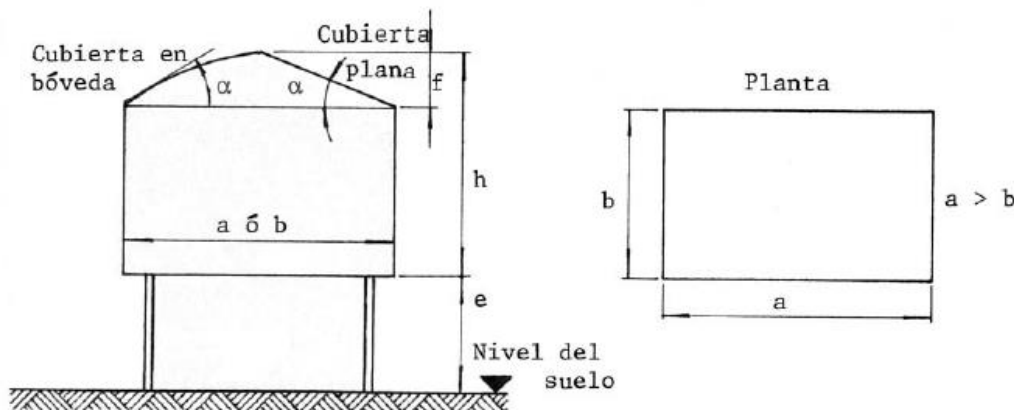


Fig. 5.10 – Característica de la construcción (Reglamento CIRSOC)

Para este proyecto $a = b$ ya que es una estructura cuadrada y $e < h$, el coeficiente de forma para este caso se toma como γ_e y se determinara de la Fig. 5.11 en función de λ_b y la relación $\frac{a \times e}{h^2}$

La relación $\frac{a \times e}{h^2} = \frac{2,2 \times 3}{4,5^2} = 0,3259$

El coeficiente γ_e se calcula por la siguiente ecuación:

$$\gamma_e = \gamma_o - \frac{e}{h} \times (\gamma_o - \gamma_h)$$

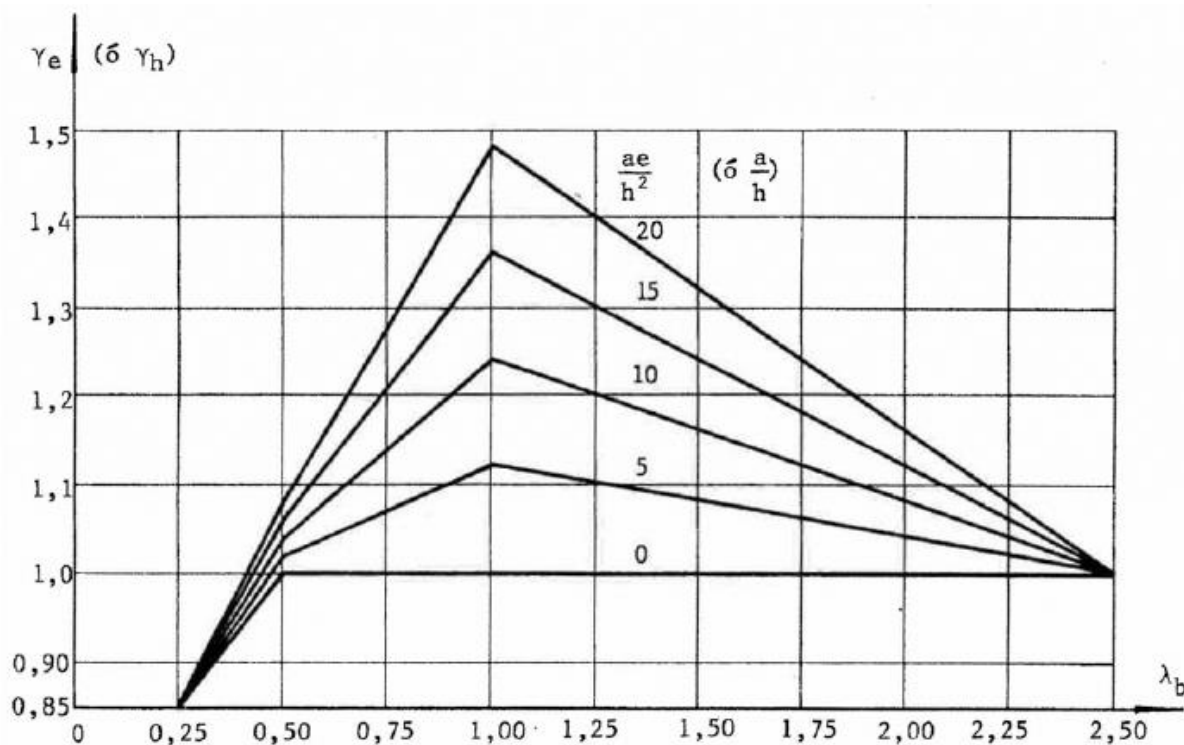


Fig. 5.11 Valores de los coeficientes γ_e ó γ_h para construcciones prismáticas de base cuadrangular separadas del suelo con $\lambda_a \leq 1$ y $\lambda_b < 2,5$ y viento normal a la cara S_a .

$\lambda_b = 2,04$ y $\frac{a \times e}{h^2} = 0,32$ con estos valores entramos al grafico y definimos $\gamma_e = 1$.

Como la parte expuesta al viento es la parte donde termina la base soporte hasta su altura máxima, es decir la cota “h”, se considerara el efecto del mismo sobre una de estas caras y se supondrá que el mismo actúa en forma perpendicular a la misma.

Teniendo en cuenta lo expresado en el párrafo anterior, la acción resultante total se obtiene por la siguiente formula:

$$W = C_e \times q_z \times h \times a \quad \text{Ec. 5.21}$$

Donde:

W: la acción resultante total (1 KN \approx 100 Kgf)

C_e : el coeficiente global de empuje.

q_z : la presión dinámica de calculo (1 KN/m² \approx 100 Kgf/m²)

h: la altura propia del panel (m)

a: la longitud horizontal del panel (m)



El valor de C_e se determina por la Tabla 6 del reglamento CIRSOC, tal como se observa en la Fig. 5.12. Por lo que podemos determinar la acción resultante de la cara de barlovento de la siguiente forma:

$$W_b = 0,8 \times 80,55 \times 4,5 \times 2,15$$

$$W_b = 623,45$$

Dirección del viento	Coeficiente c_e	
	Caras a barlovento	Caras a sotavento
Perpendicular a la pared	+ 0,8	– (1,3 γ – 0,8)
Oblicuo a la pared	Cuando fuera necesario tener una indicación de la acción del viento oblicuo, se podrá utilizar el diagrama de la Figura 16.	

Fig. 5.12 – Valores del coeficiente global de empuje C_e , reglamento CIRSOC

Por otro lado la acción resultante total sobre la cara de sotavento será la siguiente:

$$W_s = -(C_e) \times 80,55 \times 4,5 \times 2,15$$

$$W_s = -(1,3 \times \gamma_e - 0,8) \times 80,55 \times 4,5 \times 2,15$$

$$W_s = 389,66$$

La acción resultante total sobre la estructura será: $W_t = W_b + W_s$

$$W_t = 623,45 + 389,66 = \mathbf{1013, 11 \text{ Kgf}}$$

Lo que esta indicando este valor de “W” es que en función de la presión dinámica requerida para el caso y en función de las características de la estructura, la fuerza ejercida sobre uno de los paneles laterales del filtro de mangas cuya área es de $9,68 \text{ m}^2$ es de $1013,11 \text{ Kgf}$, o lo que es lo mismo una fuerza por unidad de superficie de $\mathbf{104,66 \text{ Kgf/m}^2}$.

Determinadas las fuerza que actúan sobre la estructura, podemos cargar estos datos en el software de calculo de elementos finitos y verificar si la misma soporta sin problemas los esfuerzos a que esta sometida.

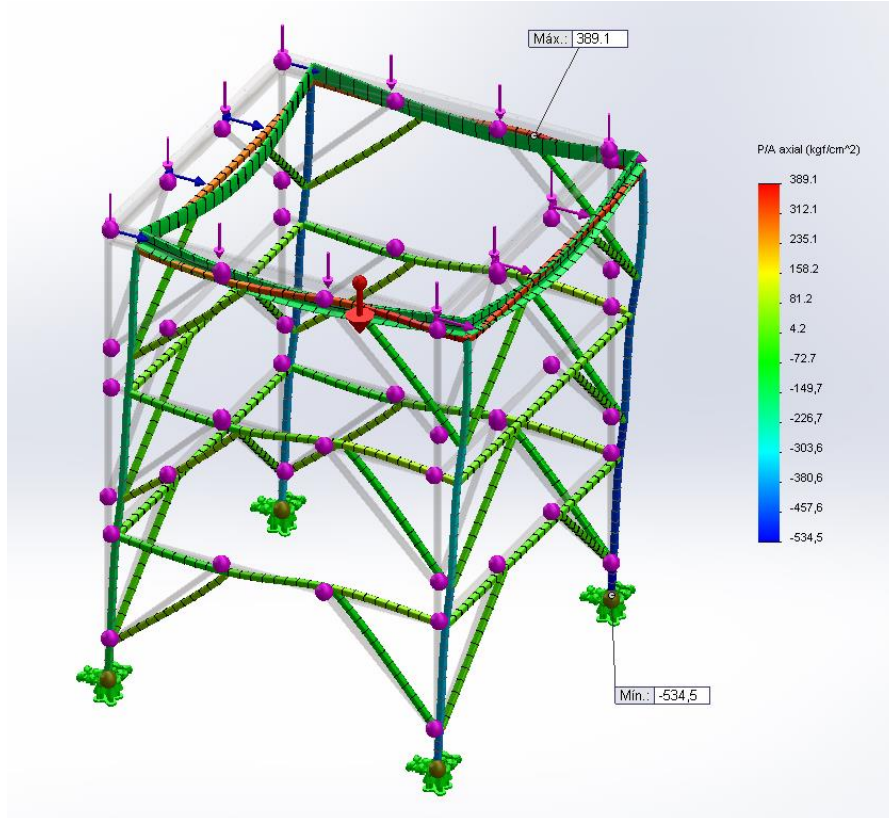


Fig. 5.13 – Resultados de las tensiones sobre la estructura.

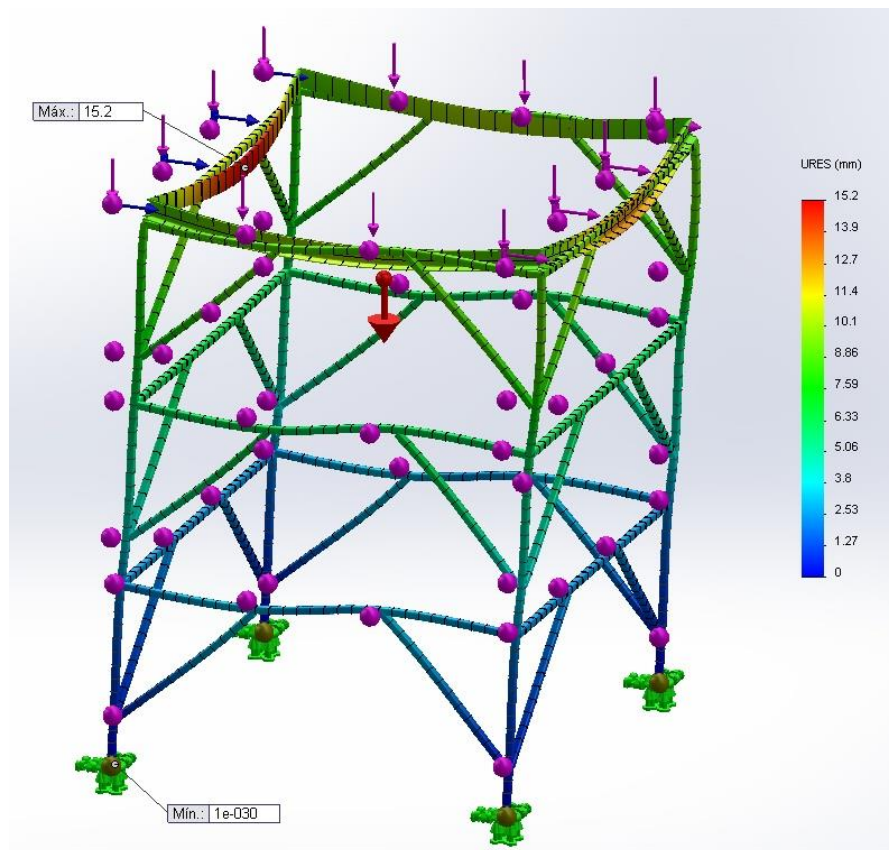


Fig. 5.14 – Resultados de los desplazamientos.

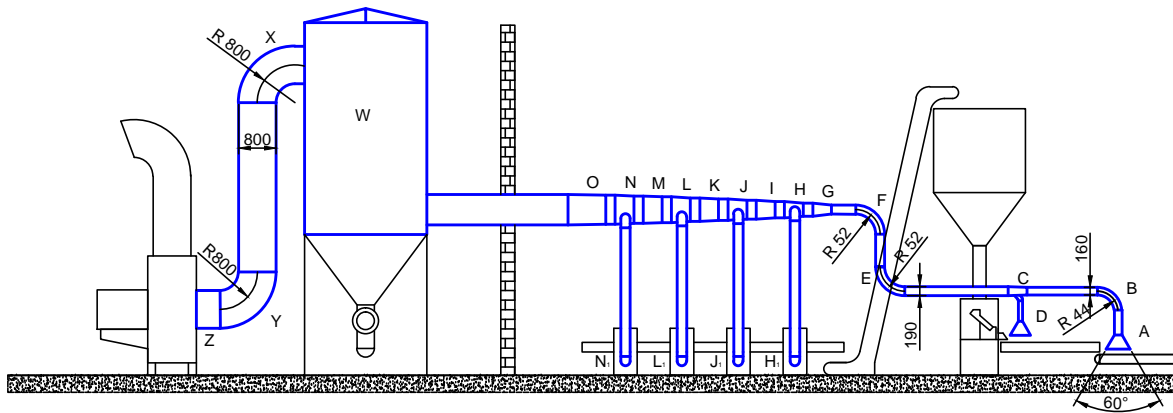


Como se puede observar en las figuras anteriores, donde se observa el resultado de las tensiones y desplazamientos estructurales, los mismos no superan los valores límites de tensión del material que es acero estructural **ASTM A36** cuyo límite de elasticidad es de **2.530 Kgf/cm²**. Por otro lado, la deformación está dentro de parámetros aceptables.

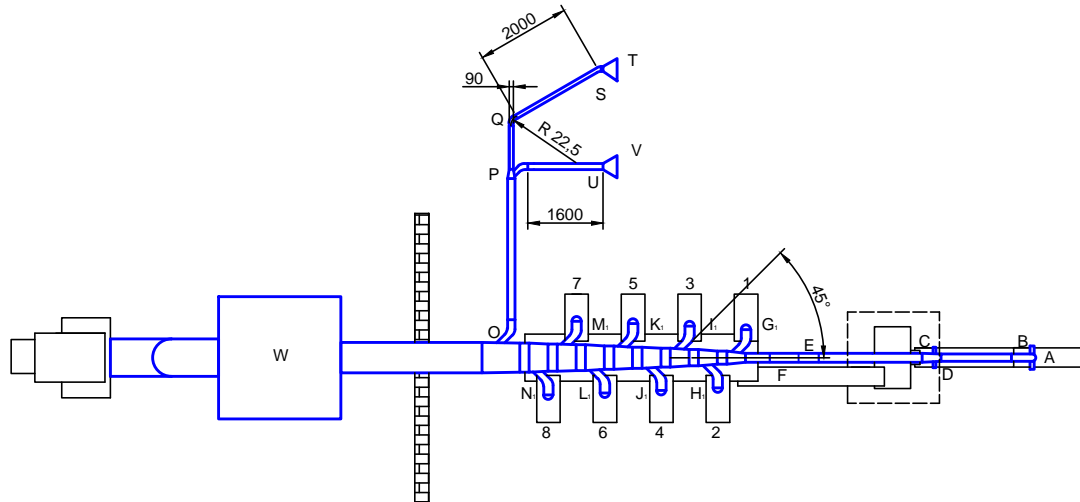


ANEXO

(Planos)



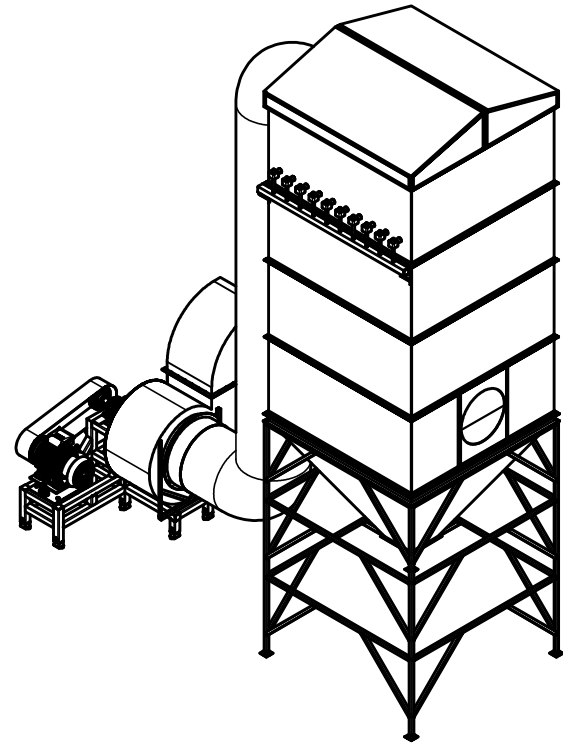
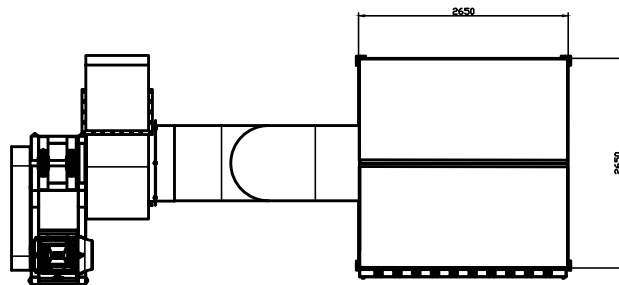
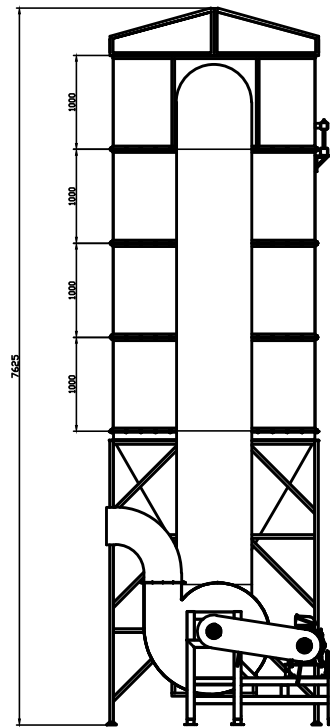
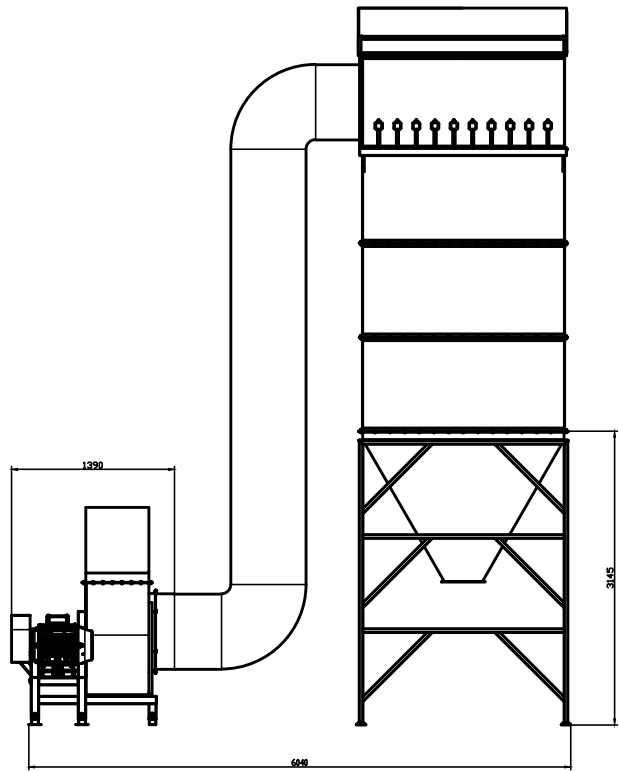
VISTA DE FRENTE



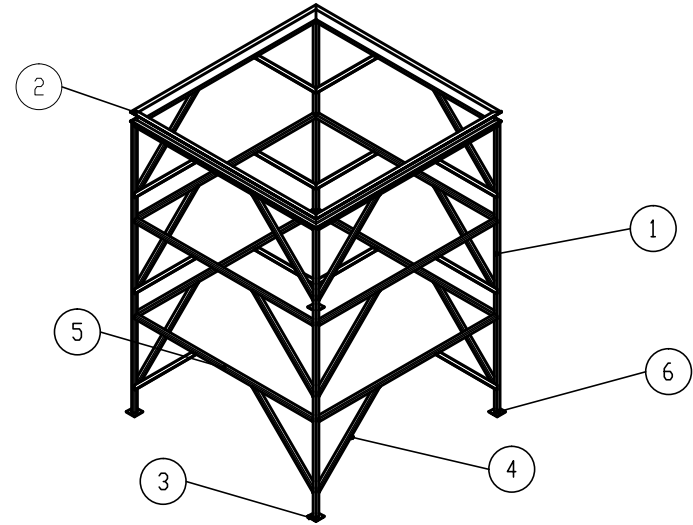
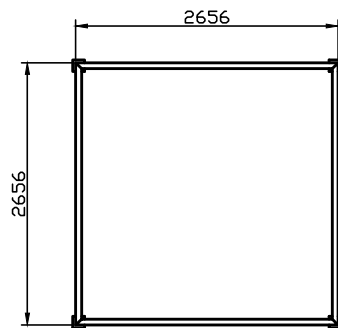
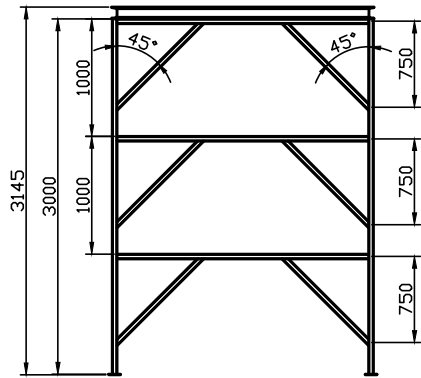
VISTA DE PLANTA

MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA	
DIBUJADO	REVISADO	APROBADO		
FECHA	01-01-13			
FIRMAS				
MATERIAL:			PESO:	REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO	Nº DE PLANO	
1:100		Tramos de ductos y accesorios	FM-001	

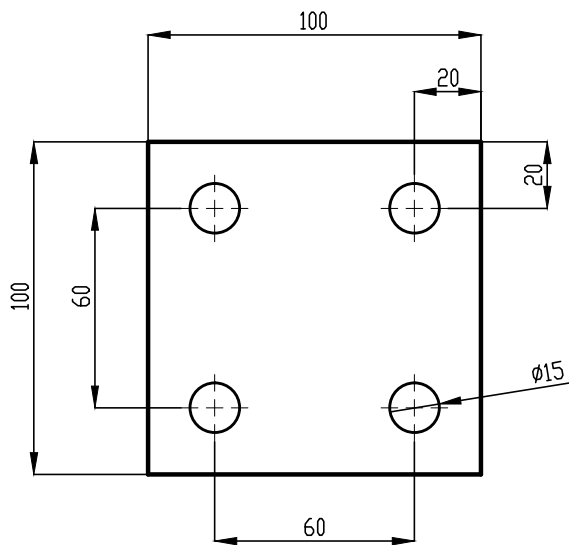
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES							
Clase de Tolerancia	Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)						
Designacion	Descripcion	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000	+ de 2000 a 4000
c	grosera	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm)				
Designación	Descripción	de 30 a 120	de 120 a 400	de 400 a 1000	de 1000 a 2000	de 2000 a 8000
c	grueso	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
HAURO H. GALINEZ		* UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA *				
REDUJADO	REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA			
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL	Acero SAE 1045	PESO			REVISIÓN: 00	
ESCALA	1:50	NORMA	TÍTULO	Filtro de Murgas		
				Nº DE PLANO: FM-000		



6	16	Cartelas	FM-004-06			
5	12	Largueras horizontales	FM-004-05			
4	32	Refuerzos	FM-004-04			
3	4	Placa de sujeción	FM-004-03			
2	4	Soporte tolva	FM-004-02			
1	4	Parantes	FM-004-01			
Nº	Cant.	Designación	Número de Plano	Observaciones		
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000	+ de 2000 a 4000
n	media	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO			
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL: CARRO ESTRUCTURAL 80X80X5			PESO:	REVISION: 00		
ESCALA	NORMA	TITULO	Nº DE PLANO			
1:25		Estructura soporte	FM-004			



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa 3/16

PESO:

REVISION: 00

ESCALA
1:2

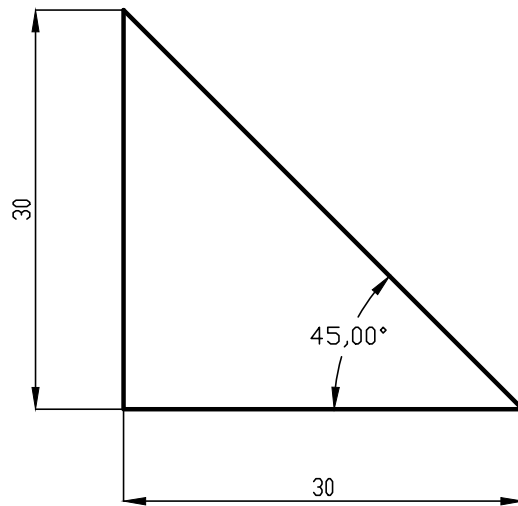


TITULO

Placa de sujeción

Nº DE PLANO

FM-004-03



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO REVISADO APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

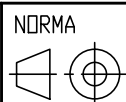
FIRMAS

MATERIAL: Chapa 3/16

PESO:

REVISION: 00

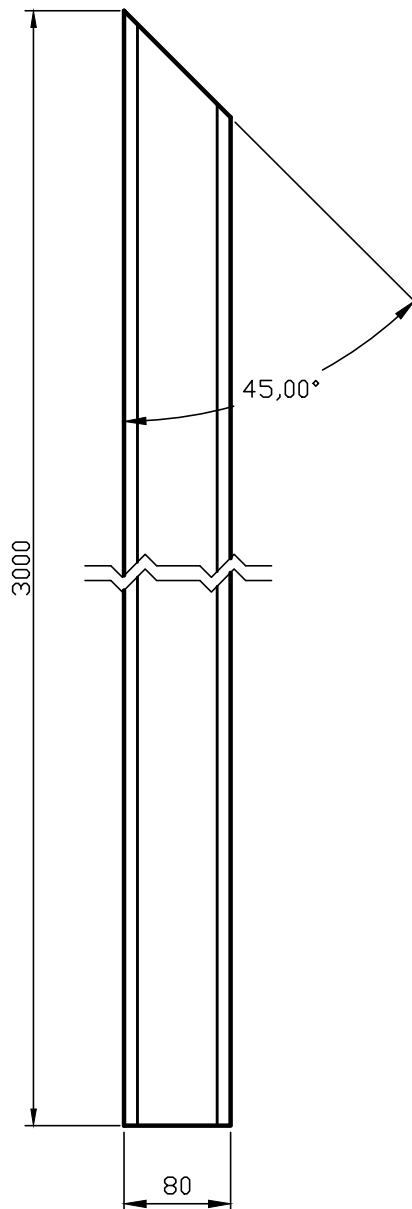
ESCALA
2:1



TITULO

Cartela

Nº DE PLANO
FM-004-06



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000	+ de 2000 a 4000
m	media	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: CAÑO ESTRUCTURAL 80x80x5

PESO:

REVISION: 00

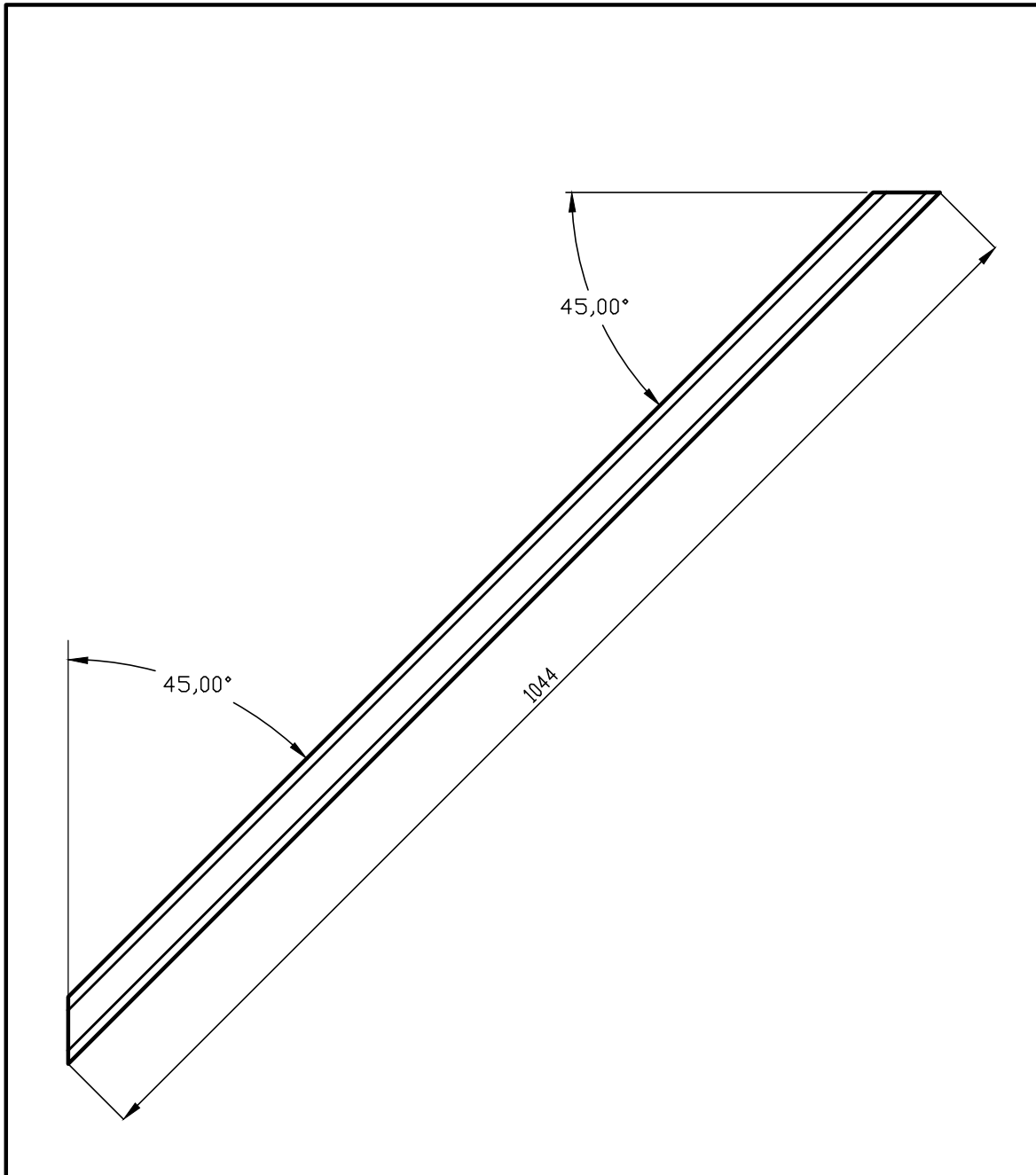
ESCALA
1:5



TITULO

Parante

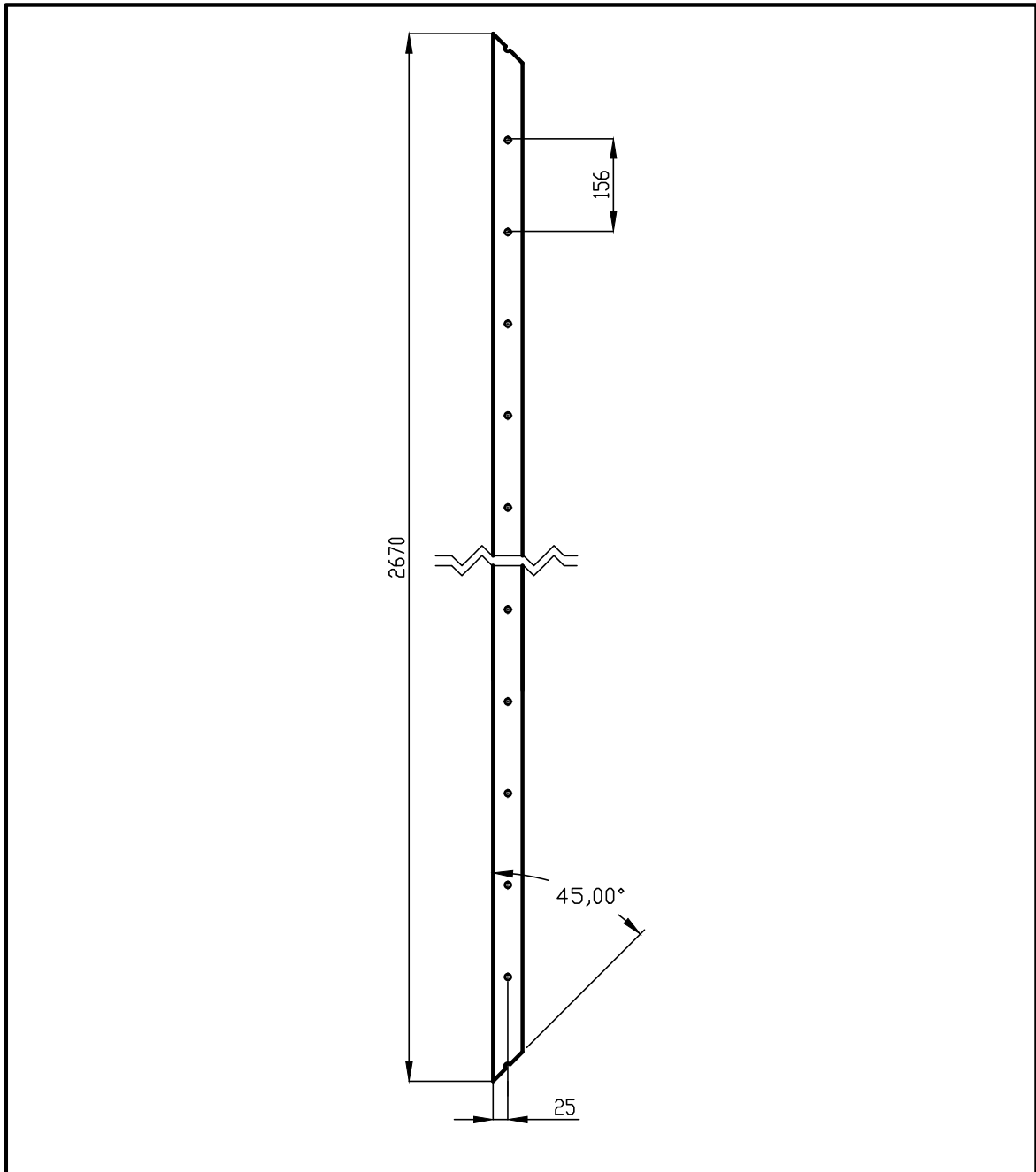
Nº DE PLANO
FM-004-01



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

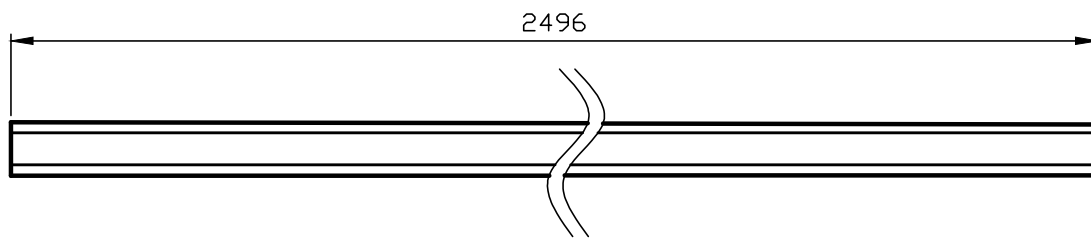
MAURO H. GALINDEZ				UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA	
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA	
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: CAÑO ESTRUCTURAL 80X80X5			PESO:		REVISION: 00
ESCALA 1:10	NORMA 	TITULO Refuerzo			Nº DE PLANO FM-004-04



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA		
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA	
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: PERFIL U 100X10			PESO:		REVISION: 00
ESCALA 1:10	NORMA 	TITULO Soporte tolva			Nº DE PLANO FM-004-02



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO REVISADO APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

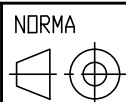
FIRMAS

MATERIAL: CAÑO ESTRUCTURAL 80X80X5

PESO:

REVISION: 00

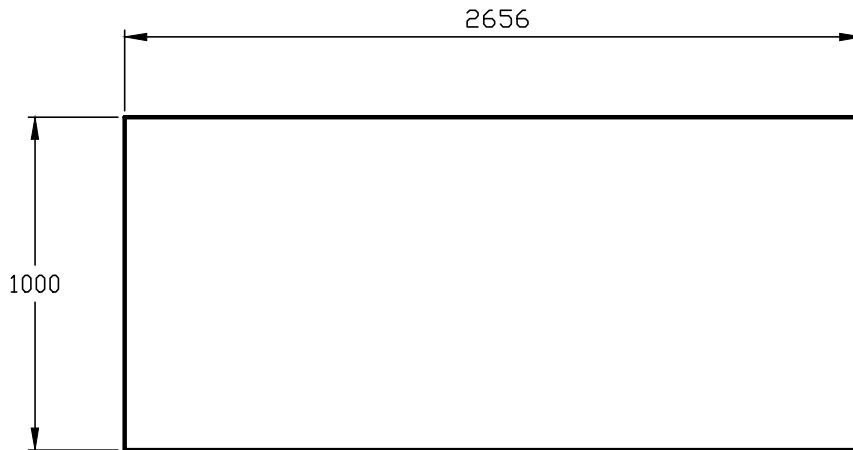
ESCALA
1:5



TITULO

Largueros horizontales

Nº DE PLANO
FM-004-05



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO REVISADO APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 14

PESO:

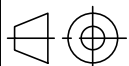
REVISION: 00

ESCALA

TITULO

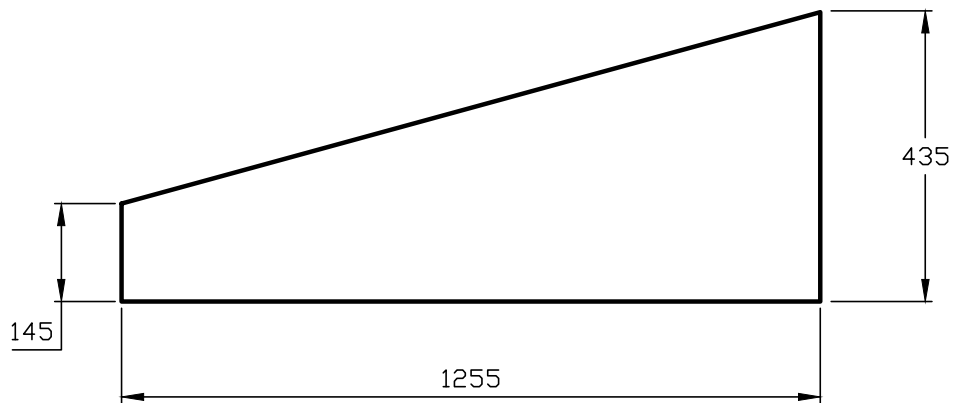
Nº DE PLANO

1:20



Chapas laterales de Modulos

FM-000-1-3



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO REVISADO APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 14

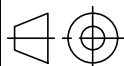
PESO:

REVISION: 00

ESCALA

1:10

NORMA

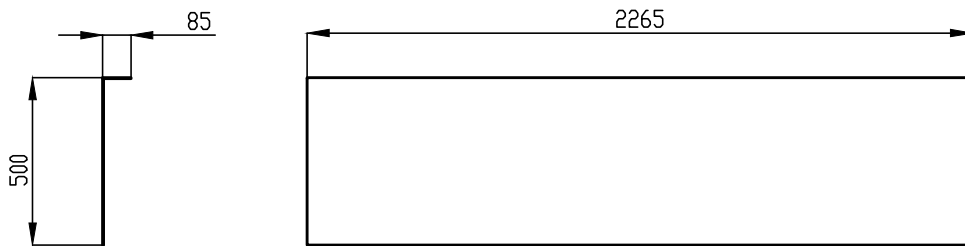


TITULO

Chapas laterales de tapas

Nº DE PLANO

FM-000-3-7



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 14

PESO:

REVISION: 00

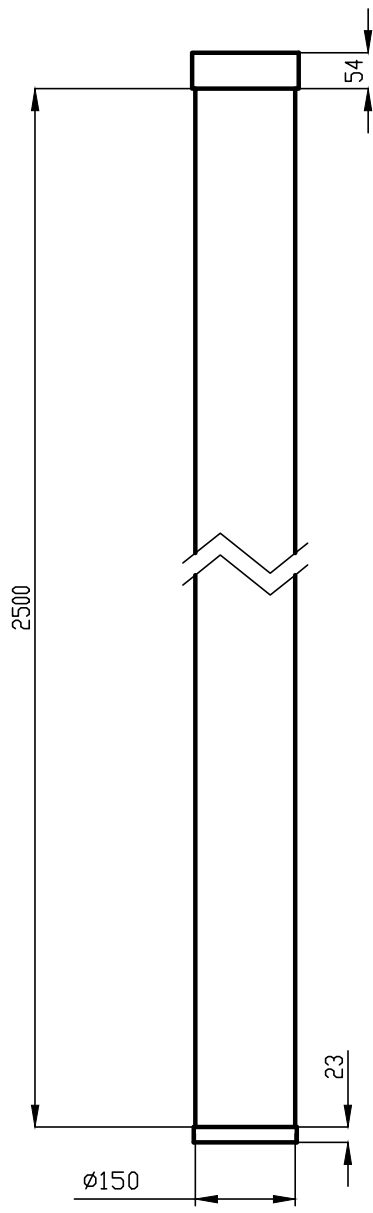
ESCALA
1:10



TITULO

Deflector de partículas

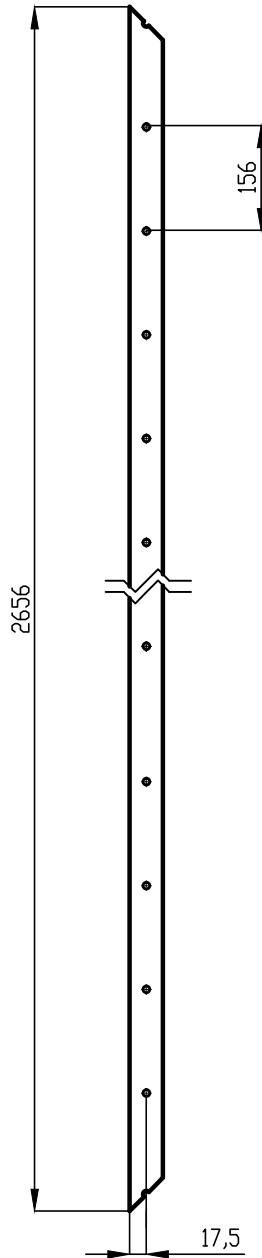
Nº DE PLANO
FM-006



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA		
DIBUJADO		REVISADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA		
APROBADO					
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: Filtro de poliester			PESO:		REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO			Nº DE PLANO
1:20		Manga			FM-005



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designacion	Descripcion	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Perfil L 35x35x5

PESO:

REVISION: 00

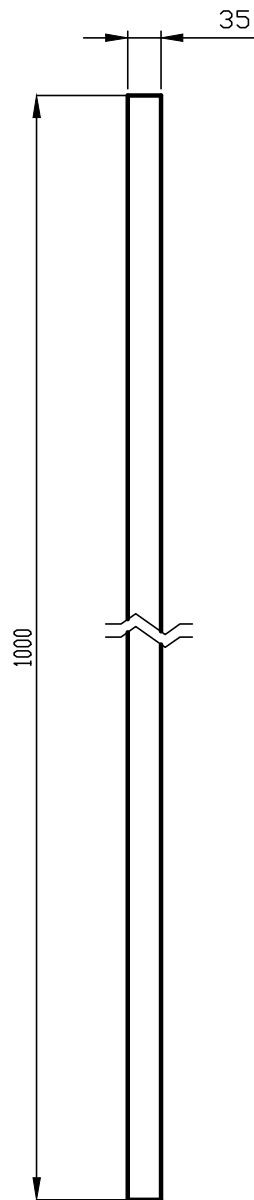
ESCALA
1:10



TITULO

Perfil horizontal

Nº DE PLANO
FM-000-1-1



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designacion	Descripcion	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Perfil L 35x35x5

PESO:

REVISION: 00

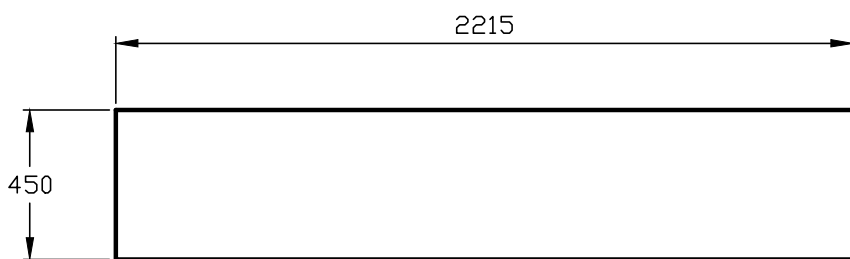
ESCALA
1:10



TITULO

Perfil vertical

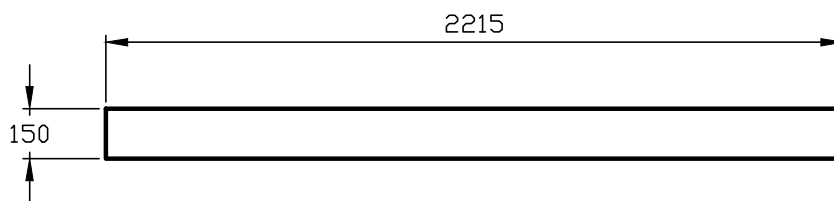
Nº DE PLANO
FM-000-1-2



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA			
DIBUJADO	REVISADO	APROBADO				
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL: Chapa calibre 14			PESO:		REVISION: 00	
ESCALA 1:20	NORMA 	TITULO Chapa frontal de tapas			Nº DE PLANO FM-000-3-8	



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

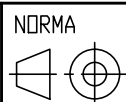
FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 14

PESO:

REVISION: 00

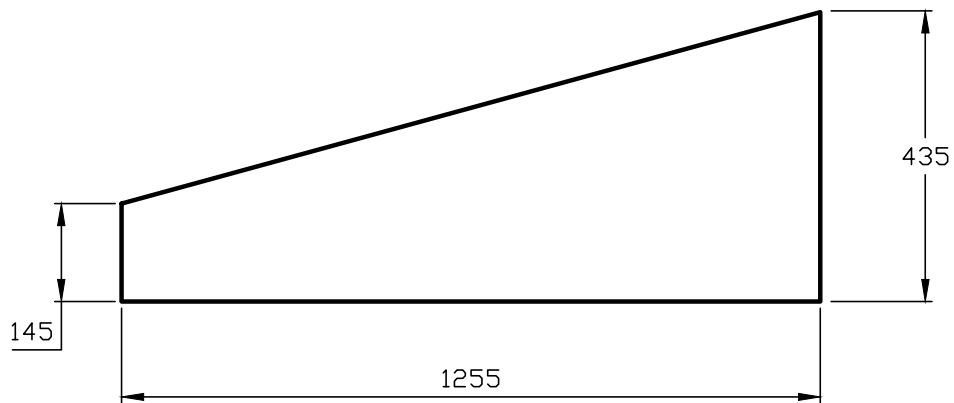
ESCALA
1:20



TITULO

Chapa posterior de tapas

Nº DE PLANO
FM-000-3-9



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO REVISADO APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 14

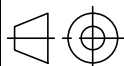
PESO:

REVISION: 00

ESCALA

1:10

NORMA

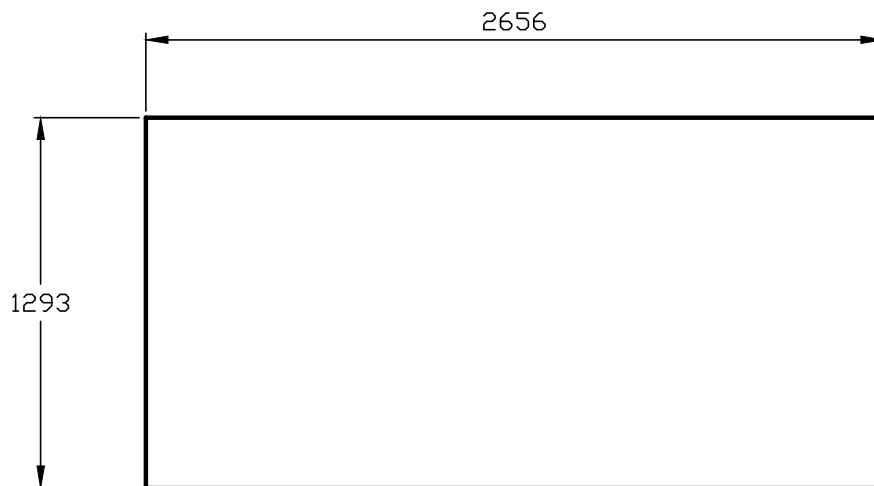


TITULO

Chapas laterales de tapas

Nº DE PLANO

FM-000-3-7



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 14

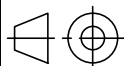
PESO:

REVISION: 00

ESCALA

1:20

NORMA

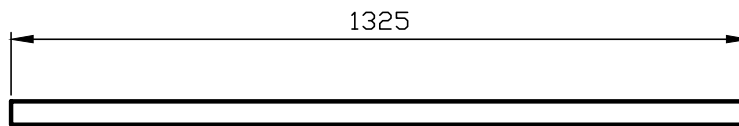


TITULO

Chapa superior de tapas

Nº DE PLANO

FM-000-3-6



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

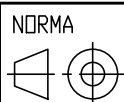
FIRMAS

MATERIAL: Perfil L 35x35x5

PESO:

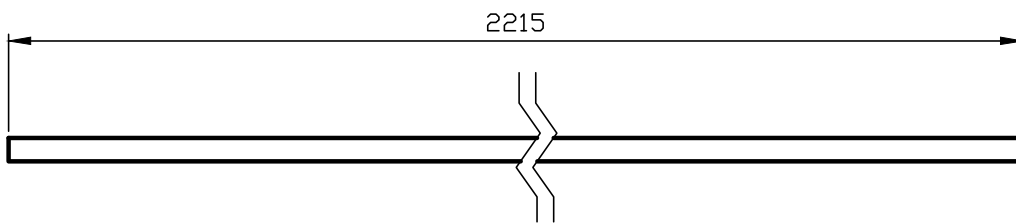
REVISION: 00

ESCALA
1:10



TITULO
Perfil horizontal corto de tapas

Nº DE PLANO
FM-000-3-2



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Perfil L 35x35x5

PESO:

REVISION: 00

ESCALA
1:10

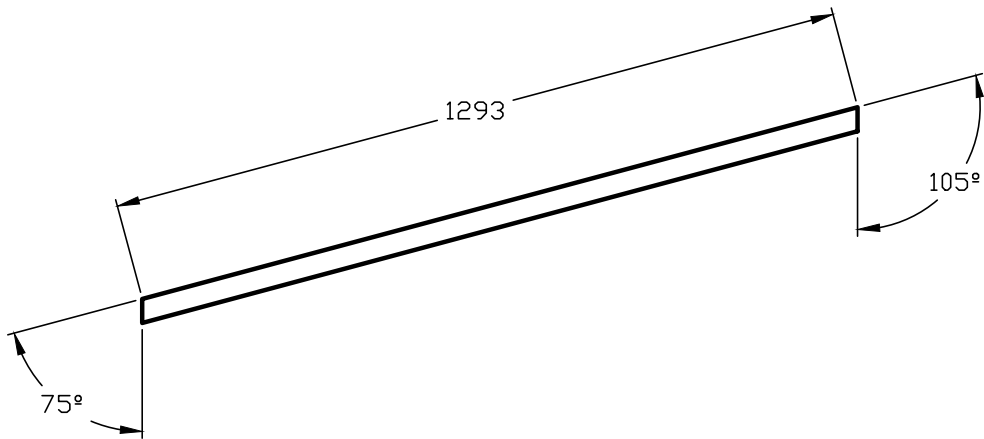


TITULO

Perfil horizontal largo de tapas

Nº DE PLANO

FM-000-3-1



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Perfil L 35x35x5

PESO:

REVISION: 00

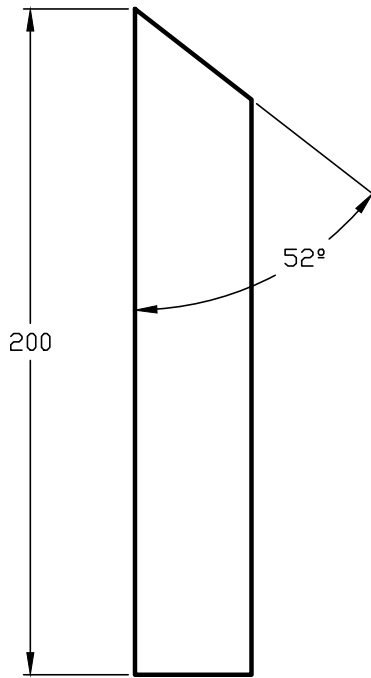
ESCALA
1:10



TITULO

Perfil inclinado de tapas

Nº DE PLANO
FM-000-3-5



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designacion	Descripcion	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Perfil L 35x35x5

PESO:

REVISION: 00

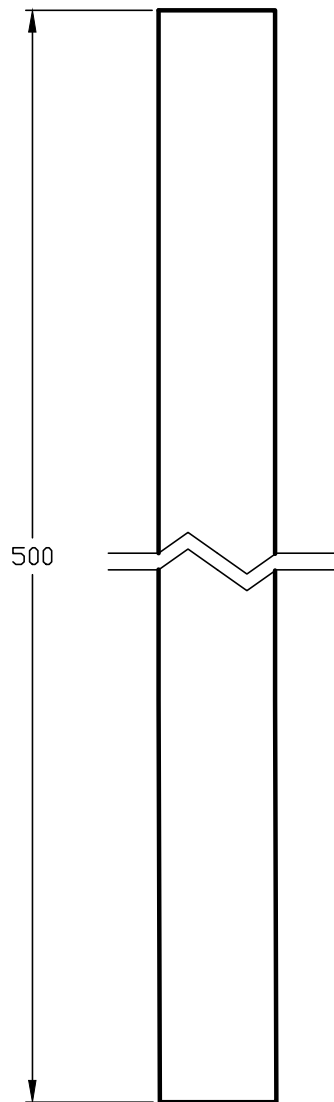
ESCALA
1:2



TITULO

Perfil vertical corto de tapas

Nº DE PLANO
FM-000-3-4



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Perfil L 35x35x5

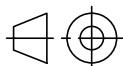
PESO:

REVISION: 00

ESCALA

1:2

NORMA

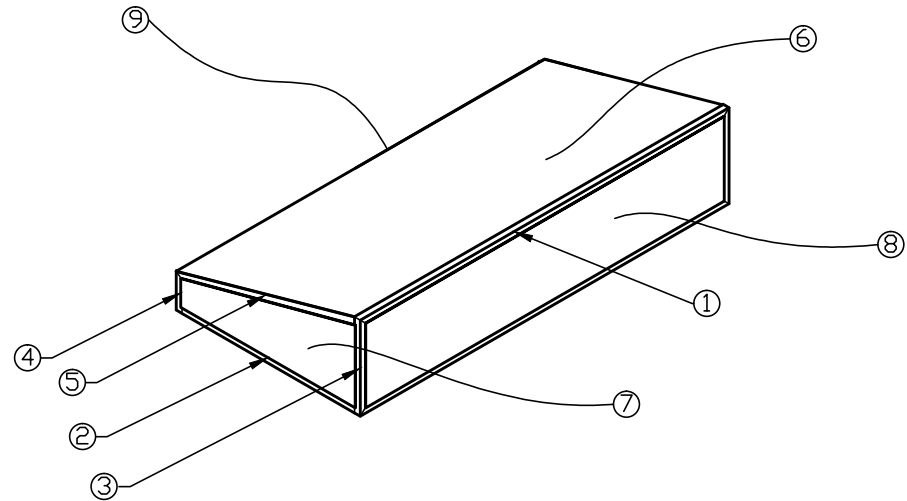
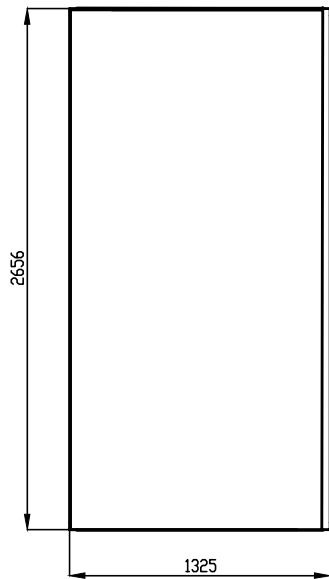
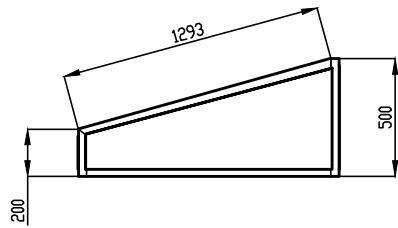


TITULO

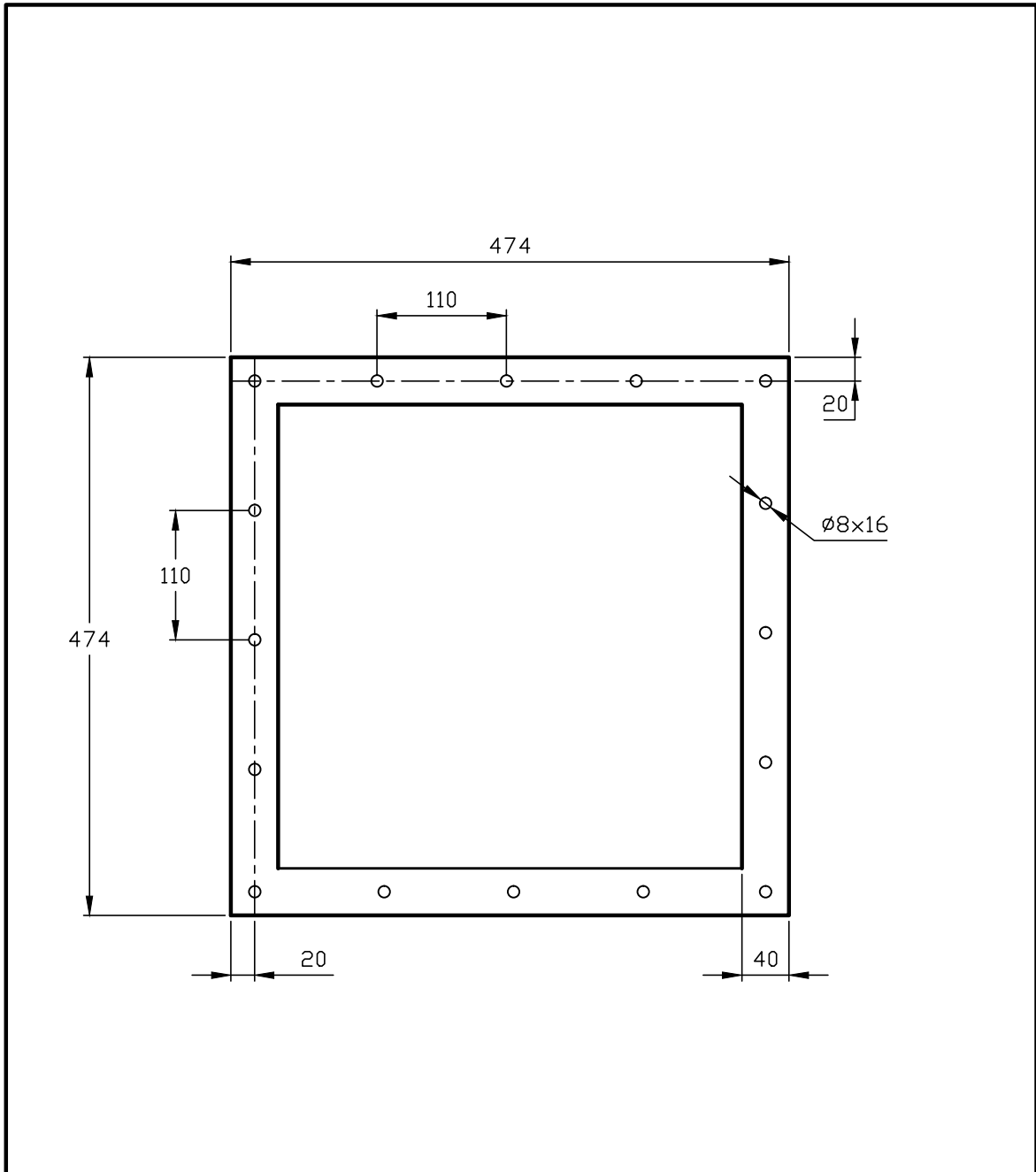
Perfil vertical largo de tapas

Nº DE PLANO

FM-000-3-3



9	1	Chapas Posterior	FM-000-3-9			
8	1	Chapa Frontal	FM-000-3-8			
7	2	Chapas Laterales	FM-000-3-7			
6	1	Chapa Superior	FM-000-3-6			
5	2	Perfiles inclinados	FM-000-3-5			
4	2	Perfiles vertica. Cortos	FM-000-3-4			
3	2	Perfiles vertica. Largos	FM-000-3-3			
2	2	Perfiles horizon. Cortos	FM-000-3-2			
1	4	Perfiles horizon. Largos	FM-000-3-1			
Nº	Cant.	Designacion	Número de Plano	Observaciones		
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
n	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO			
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL: Chapa calibre 14 y Perfil 35x35x5			PESD:	REVISION: 00		
ESCALA	NORMA	TITULO	Nº DE PLANO			
1:25		Tapas superiores	FM-000-3			



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA

FECHA 01-01-13

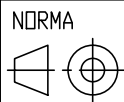
FIRMAS

MATERIAL: Chapa de 1/8

PESO:

REVISION: 00

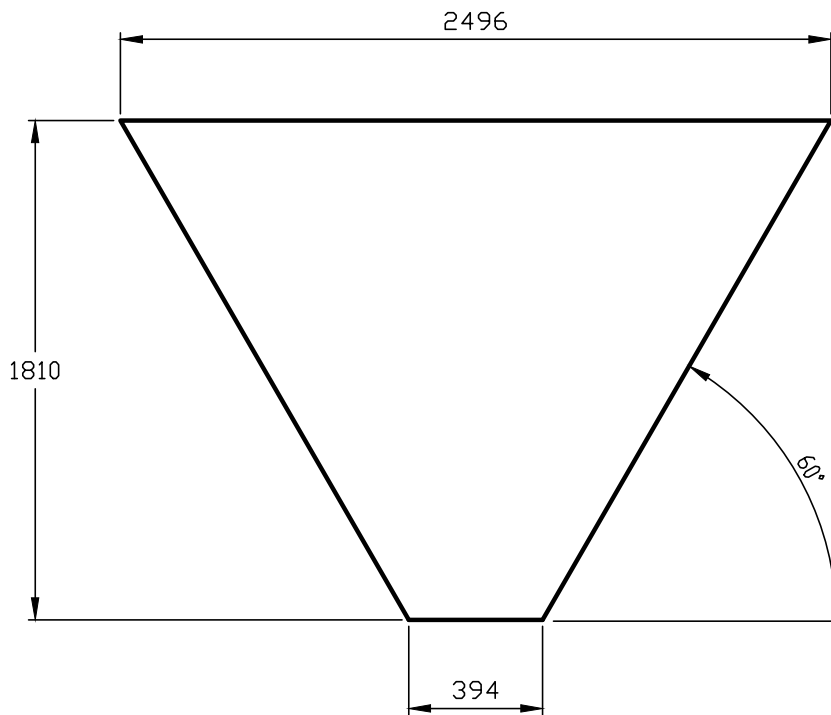
ESCALA
1:10



TITULO

Brida tolva

Nº DE PLANO
FM-000-02-2



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

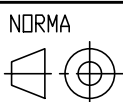
FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 12

PESO:

REVISION: 00

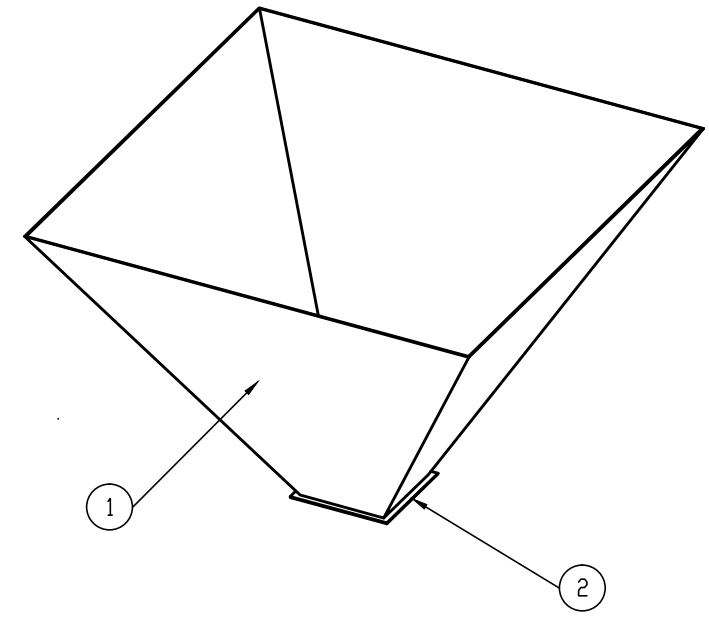
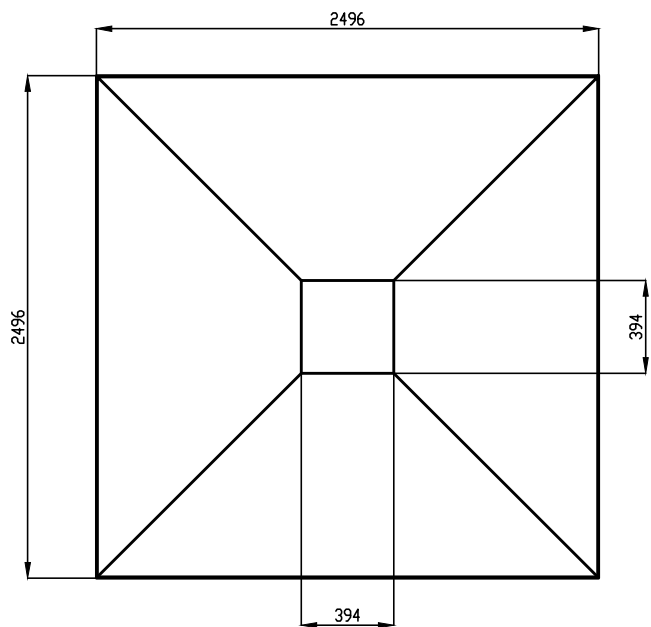
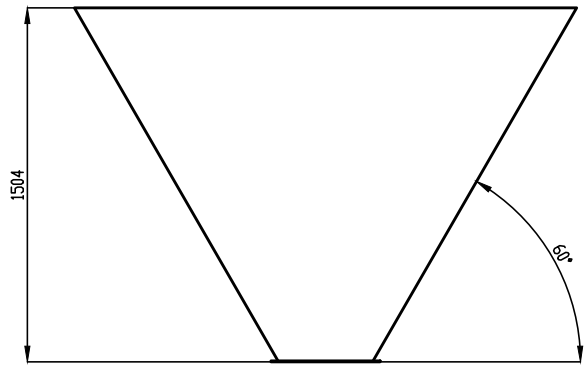
ESCALA
1:25



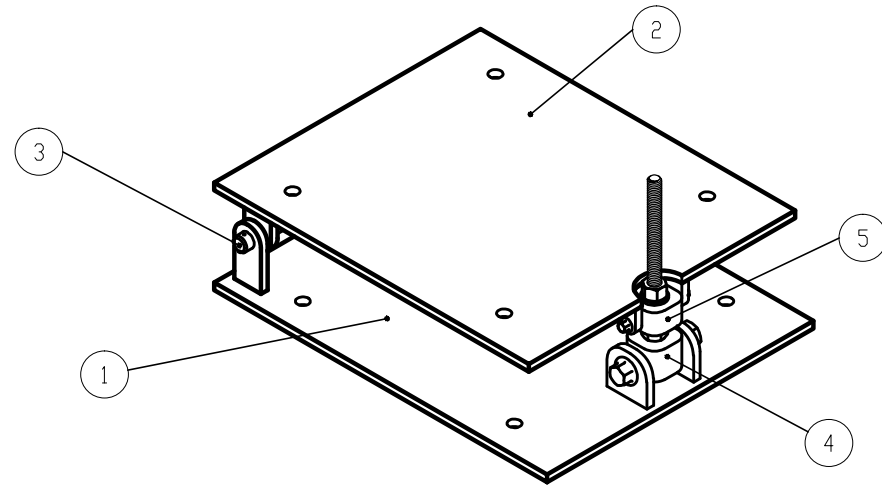
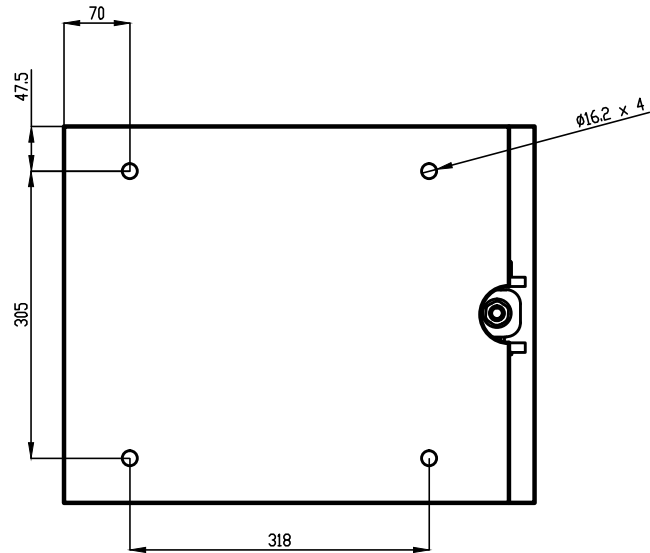
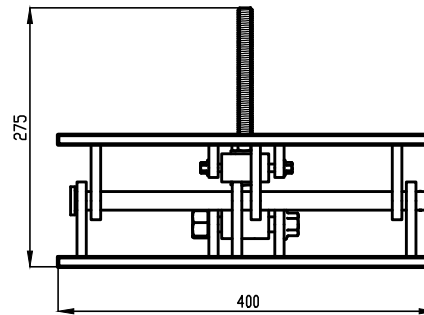
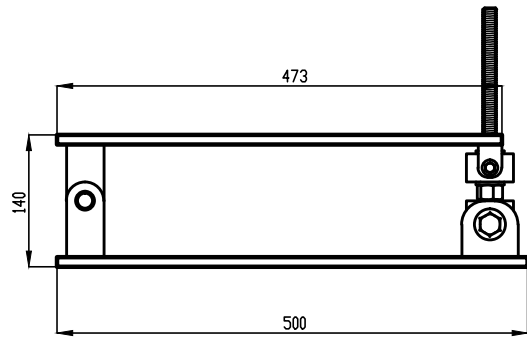
TITULO

Pared lateral tolva

Nº DE PLANO
FM-000-2-1



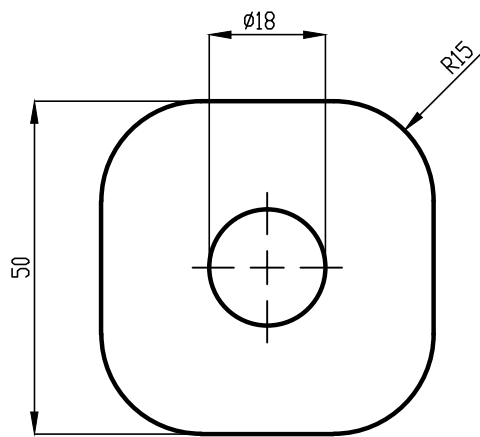
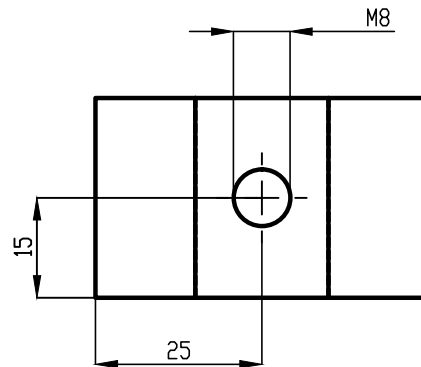
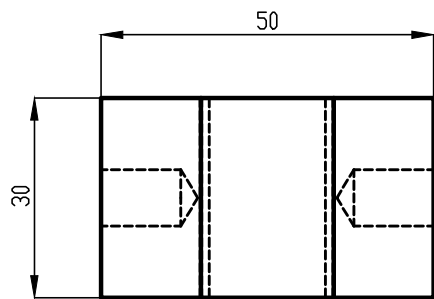
2	1	Brida	FM-000-2-2			
1	4	Paredes Laterales	FM-000-2-1			
Nº	Cant.	Designación	Número de Plano	Observaciones		
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
n	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO			
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL: Chapa calibre 12 y 1/8			PESO:	REVISIÓN: 00		
ESCALA	NORMA	TÍTULO	Nº DE PLANO			
1:25		Tolva de descarga	FM-000-2			



Nº	Cant.	Designacion	Numero de Plano	Observaciones
5	1	Cubo Pivot	FM-01-01-04-BM5	
4	1	Tornillo Tensor	FM-01-01-04-BM4	
3	1	Perno de Unión	FM-01-01-04-BM3	
2	1	Placa Superior	FM-01-01-04-BM2	
1	1	Placa Inferior	FM-01-01-04-BM1	

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
n	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLOGICA		
DIBUJADO	REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA		
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: Chapa 10 mm. SAE 1010				PESD:	REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO	Nº DE PLANO		
1:5		Base motor	FM-01-01-04-000		



Nota: 2 orificios roscados M8 a lados opuestos del cubo.

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

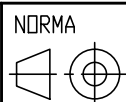
FIRMAS

MATERIAL: SAE 1020

PESO:

REVISION: 00

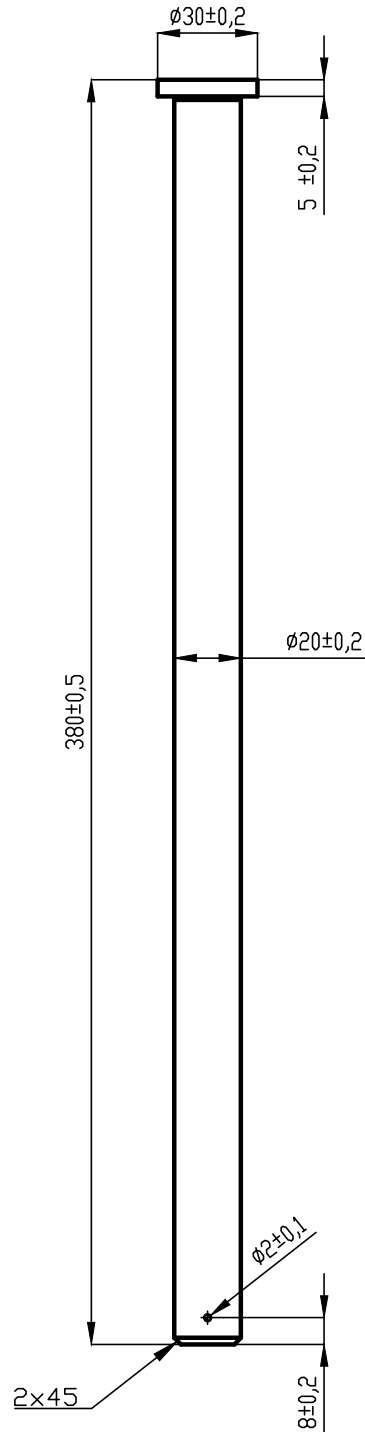
ESCALA
1:1



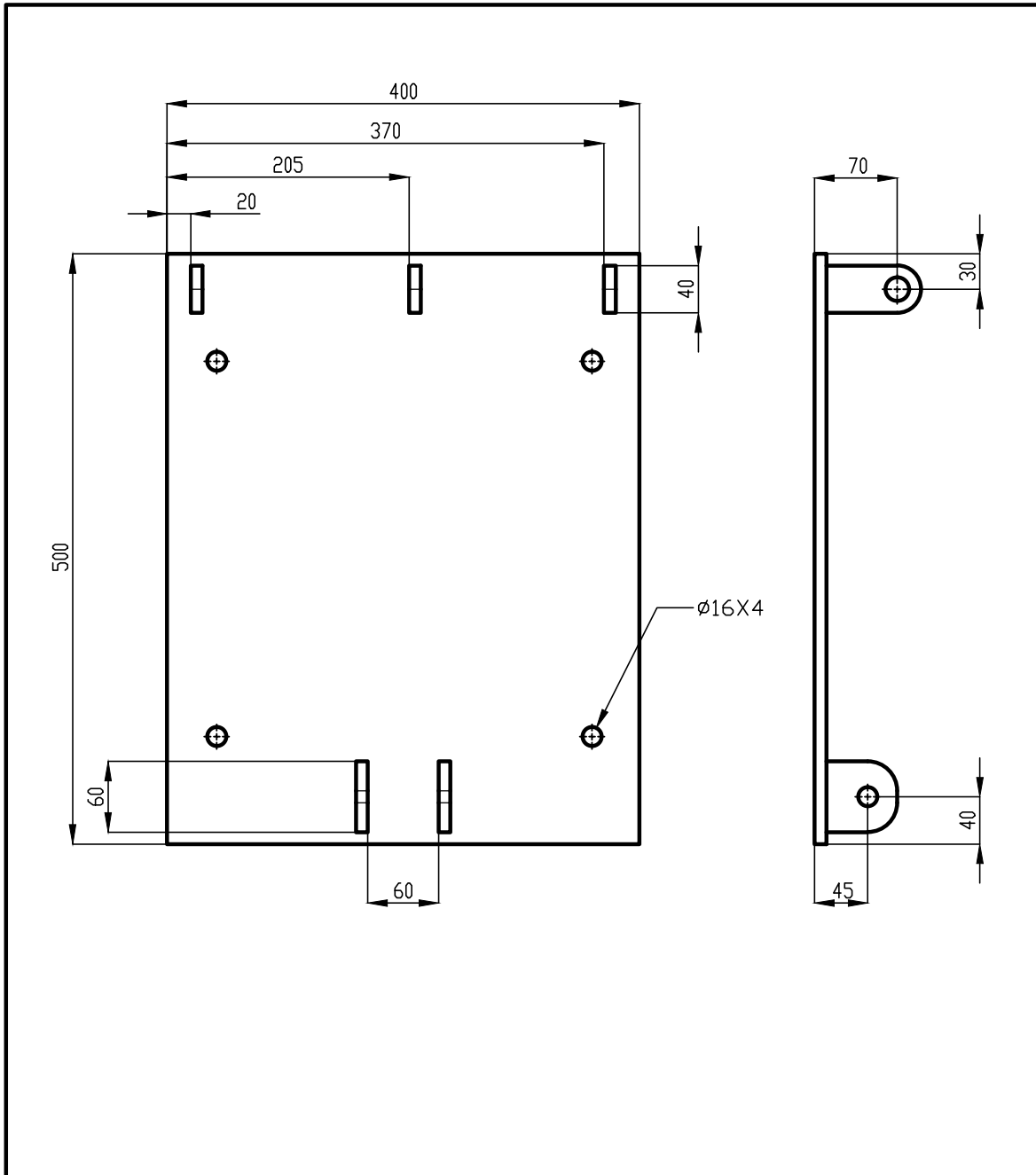
TITULO

Cubo pivot

Nº DE PLANO
FM-01-01-04-BM5



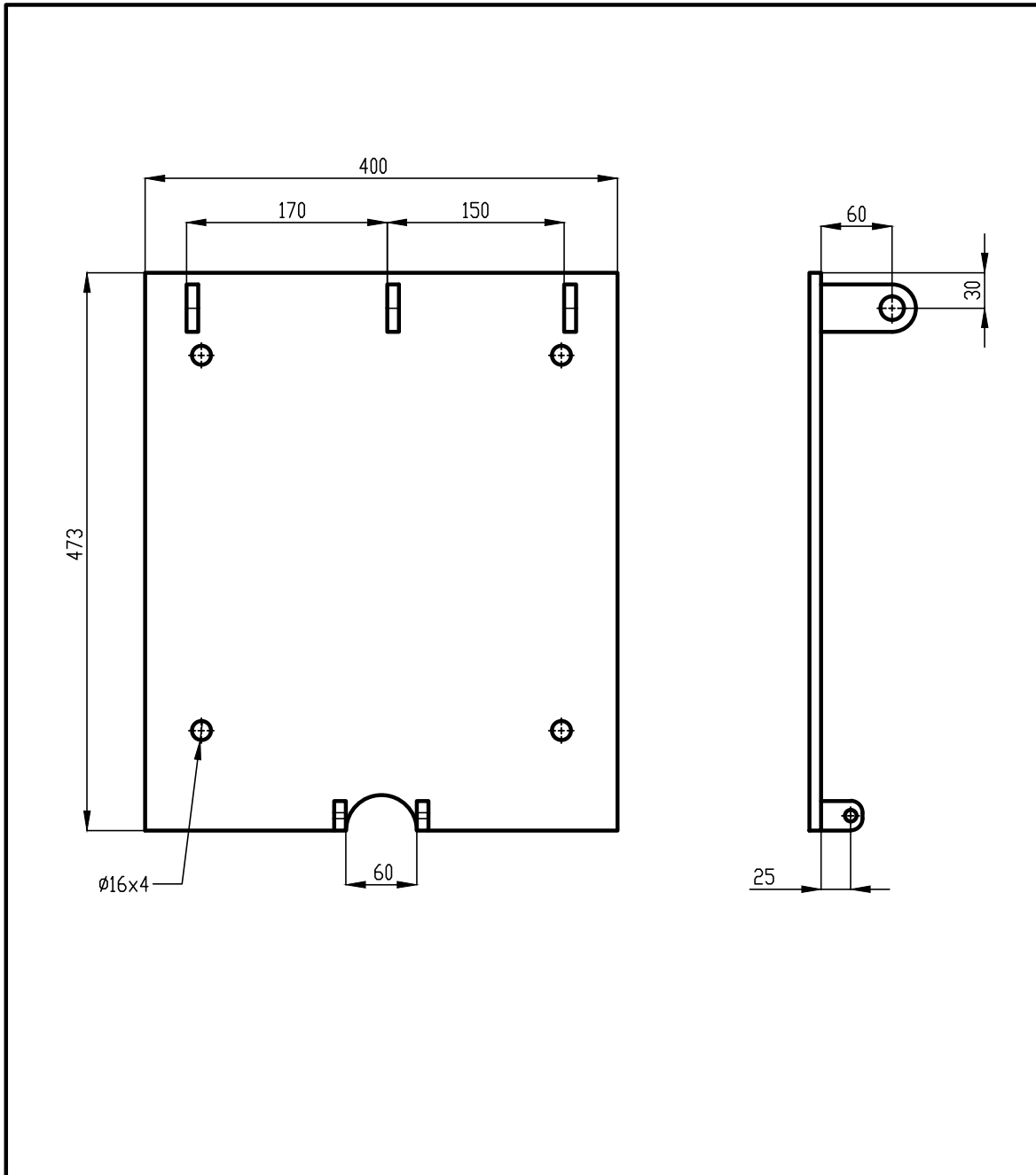
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA	
DIBUJADO		REVISADO	NACIONAL FACULTAD	
FECHA	01-01-13	APROBADO	REGIONAL VILLA MARIA	
FIRMAS				
MATERIAL: Barra de acero SAE 1045			PESO:	REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO	Nº DE PLANO	
1:2		Perno de unión	FM-01-01-04-BM3	



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$

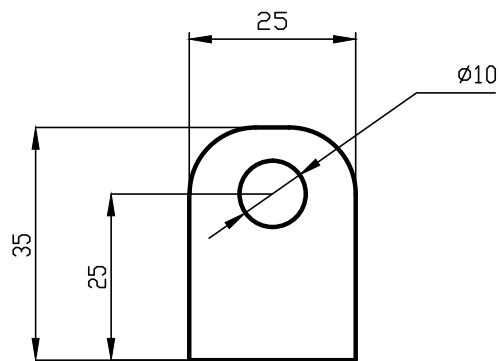
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA		
DIBUJADO	REVISADO	APROBADO			
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: Chapa 3/8			PESO:		REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO			Nº DE PLANO
1:5		Placa inferior			FM-01-01-04-BM1



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ				UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA	
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA	
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: Chapa 3/8			PESO:		REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO			Nº DE PLANO
1:5		Placa superior			FM-01-01-04-BM2



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

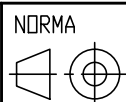
FIRMAS

MATERIAL: Chapa 3/8

PESO:

REVISION: 00

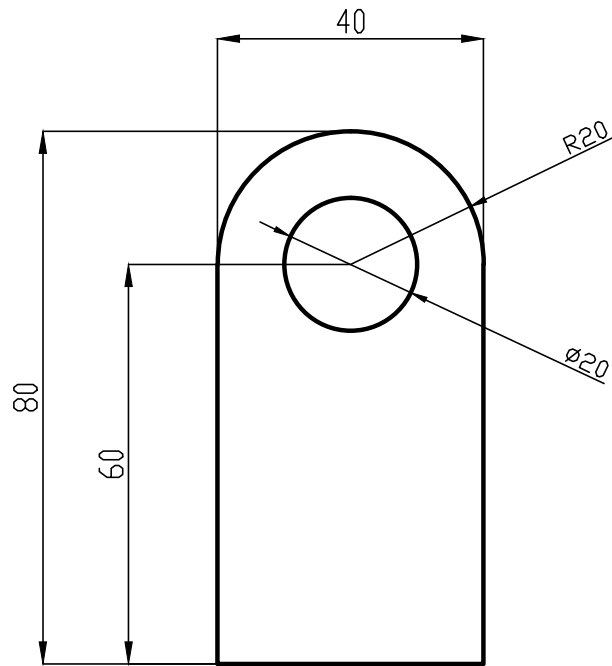
ESCALA
1:1



TITULO

Soporte de cubo

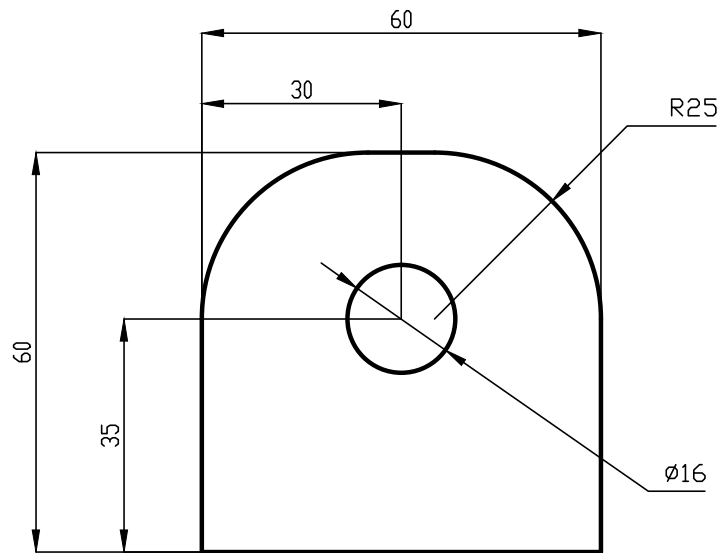
Nº DE PLANO
FM-01-01-04-BM6



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ				<input type="checkbox"/> UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA <input type="checkbox"/>	
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA	
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: Chapa 3/8			PESO:		REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO			Nº DE PLANO
1:1		Soporte de perno			FM-01-01-04-BM7



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

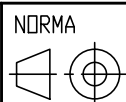
FIRMAS

MATERIAL: Chapa 3/8

PESO:

REVISION: 00

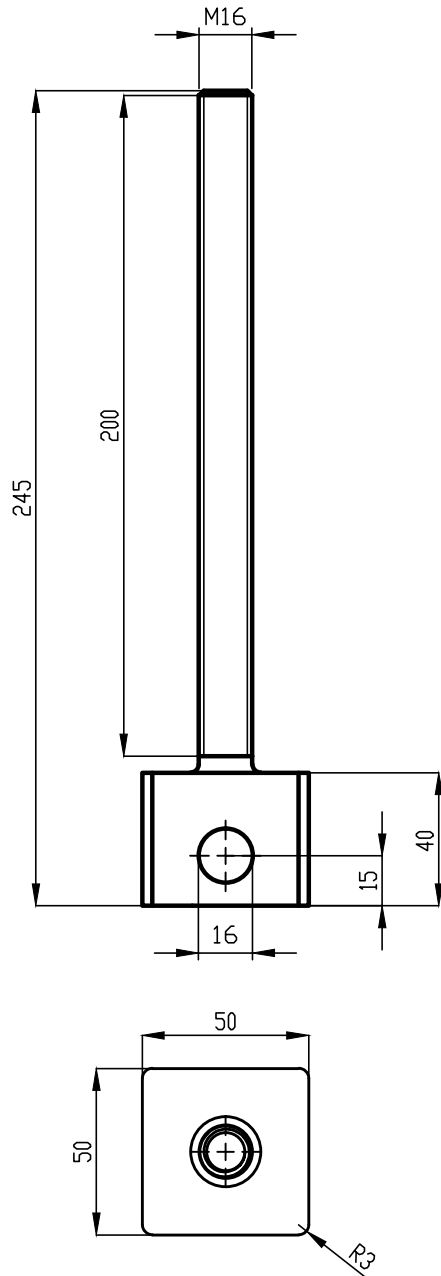
ESCALA
1:1



TITULO

Soporte de tornillo tensor

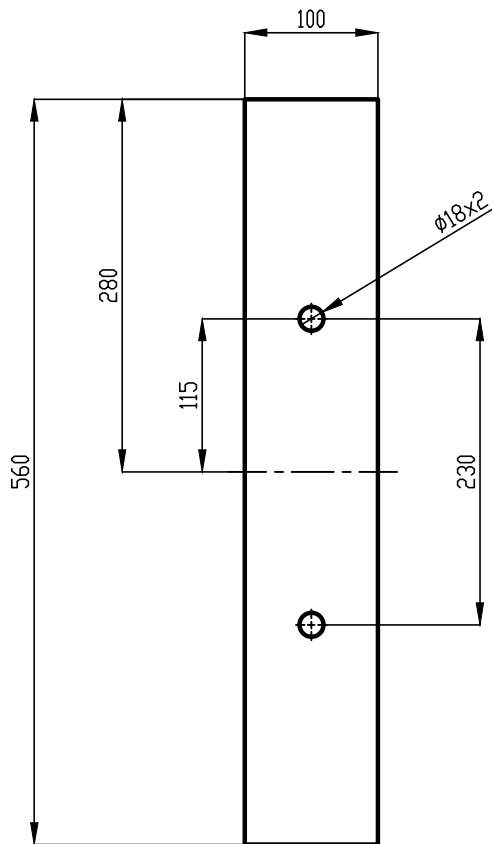
Nº DE PLANO
FM-01-01-04-BM8



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA		
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA	
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: Chapa 3/16			PESO:		REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO			Nº DE PLANO
1:5		Tornillo tensor			FM-01-01-04-BM4



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa 5/16

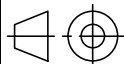
PESO:

REVISION: 00

ESCALA

1:5

NORMA

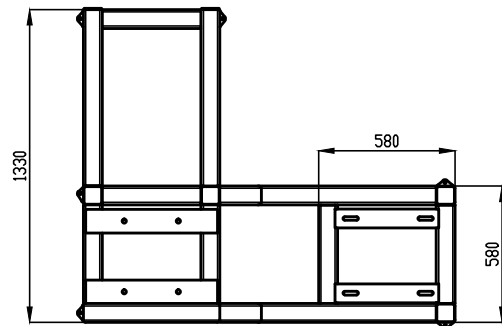
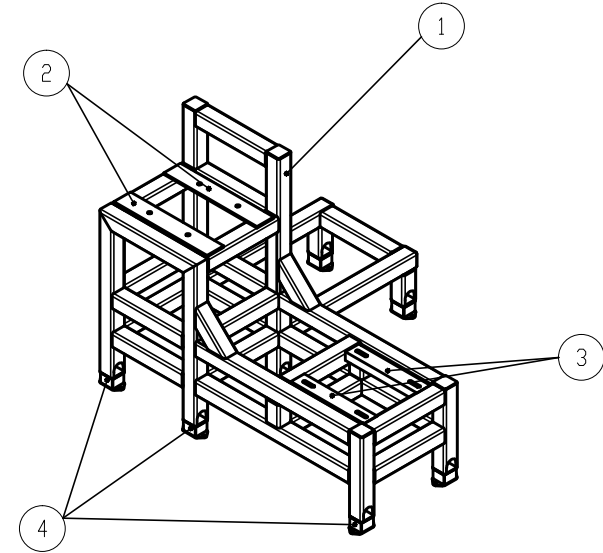
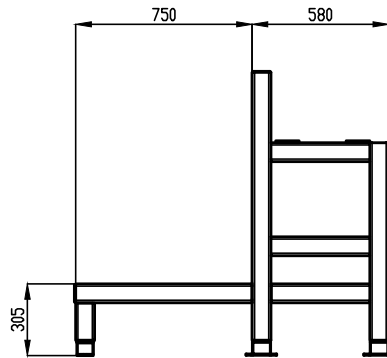
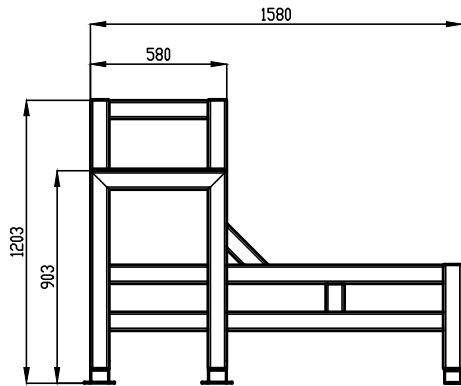


TITULO

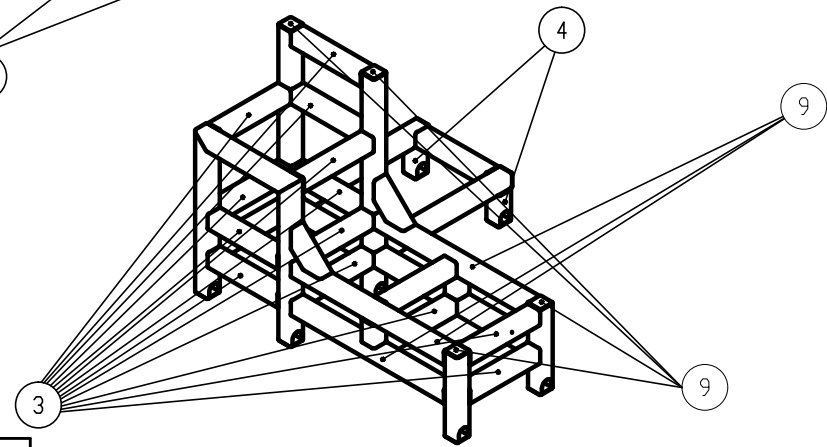
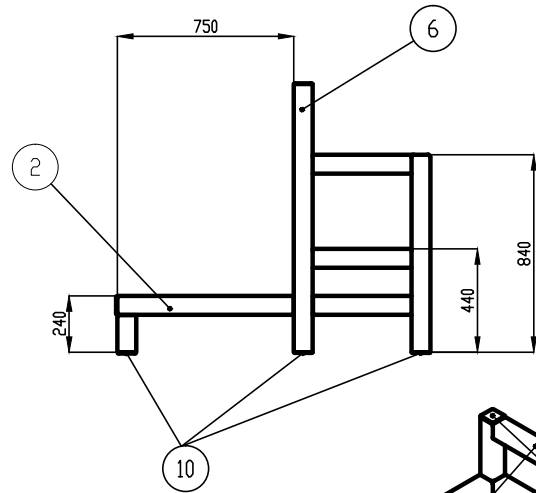
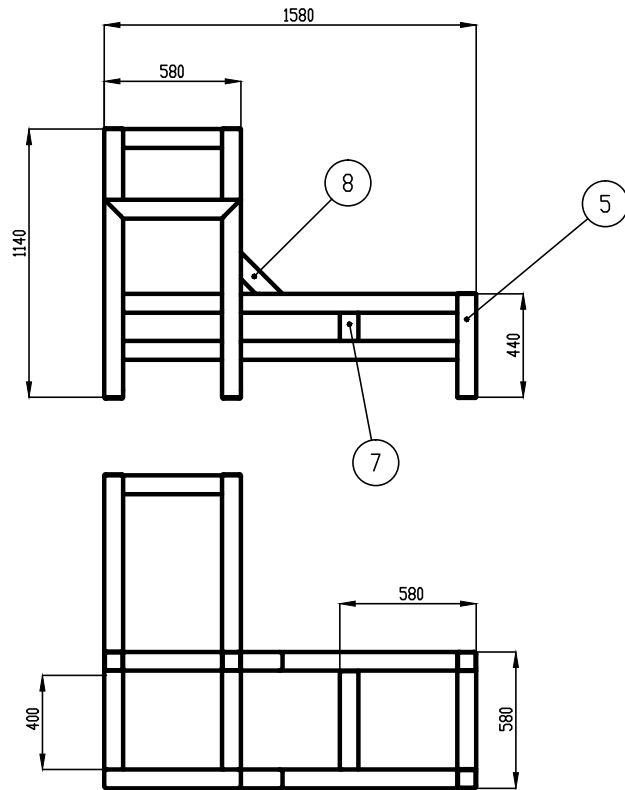
Base de cajas

Nº DE PLANO

FM-01-01-03-BC2

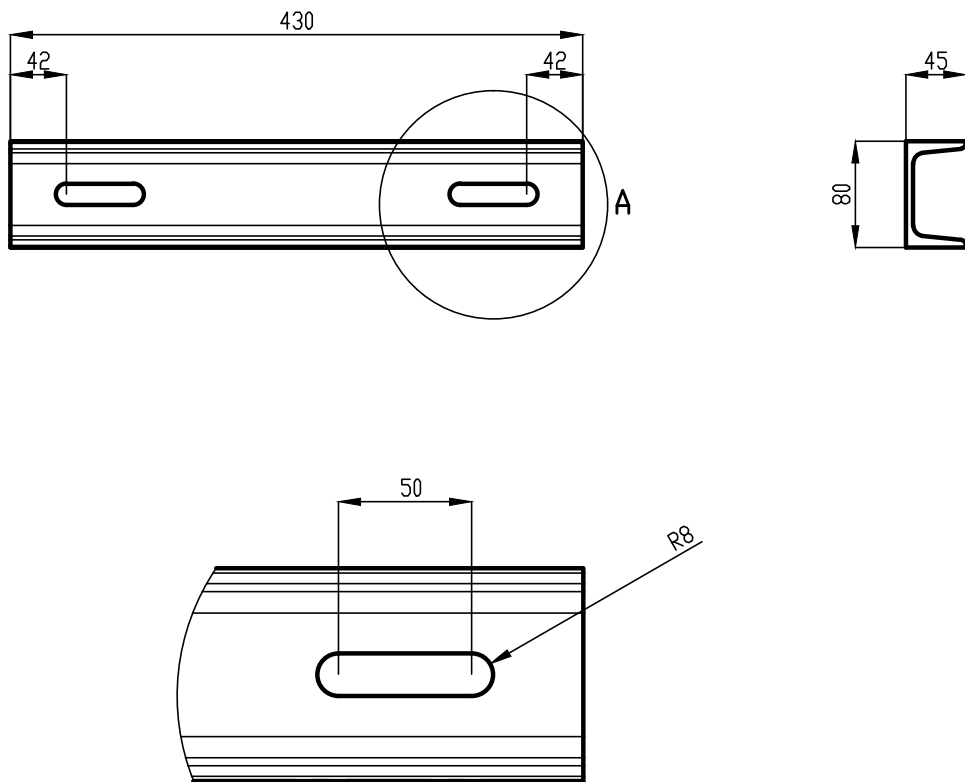


4	1	Amortigua. de Vibracion		
3	1	Soporte Base de Motor	FM-01-01-03-SM1	
2	1	Base Cajas	FM-01-01-03-BC2	
1	1	Estructura	FM-01-01-03-E00	
Nº	Cant.	Designacion	Numero de Plano	Observaciones
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES				
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)		
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400
n	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5
				+ de 400 a 1000
				+ de 1000 a 2000
				± 1,2
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLOGICA	
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO	
FECHA	01-01-13			
FIRMAS				
MATERIAL: Caño estructural 80x80x5			PESD:	REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO	Nº DE PLANO	
1:20		Conjunto estructura	FM-01-01-03-000	



10	8	Tapas de pie	FM-01-01-03-E10	
9	6	Tapas de terminación	FM-01-01-03-E09	
8	1	Refuerzo ángulo	FM-01-01-03-E08	
7	1	Refuerzo	FM-01-01-03-E07	
6	1	Pie Base largo	FM-01-01-03-E06	
5	1	Pie base mediano	FM-01-01-03-E05	
4	1	Pie base corto	FM-01-01-03-E04	
3	1	Miembros interiores	FM-01-01-03-E03	
2	1	Larguero bajo voluta	FM-01-01-03-E02	
1	1	Larguero base motor	FM-01-01-03-E01	
Nº	Cant.	Designación	Número de Plano	Observaciones

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
n	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO	REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA			
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL: Caño estructural 80x80x5			PESD:		REVISION: 00	
ESCALA	NORMA	TÍTULO	Nº DE PLANO			
1:20		Estructura soporte	FM-01-01-03-E00			



A (2 : 5)

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA

FECHA 01-01-13

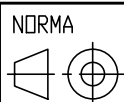
FIRMAS

MATERIAL: Perfil U 80x45x5

PESO:

REVISION: 00

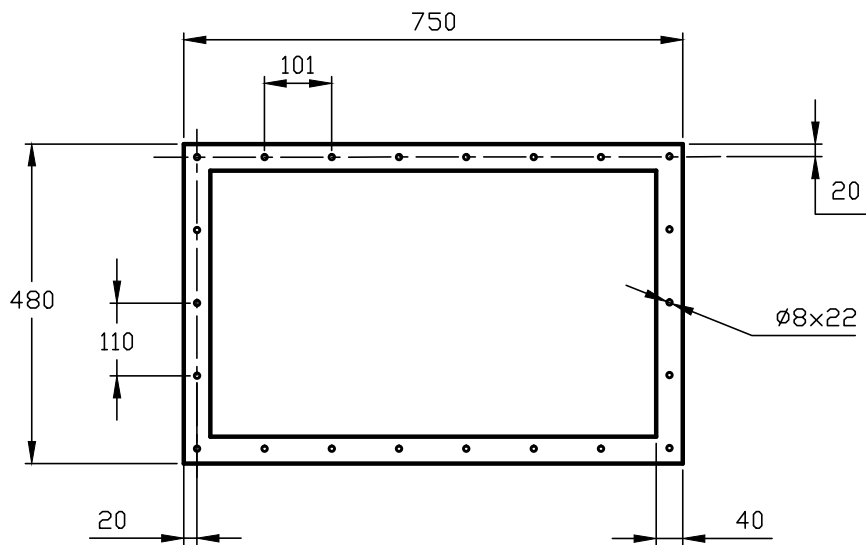
ESCALA
1:5



TITULO

Soporte base motor

Nº DE PLANO
FM-01-01-03-SM1



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 14

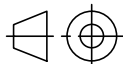
PESO:

REVISION: 00

ESCALA

1:10

NORMA

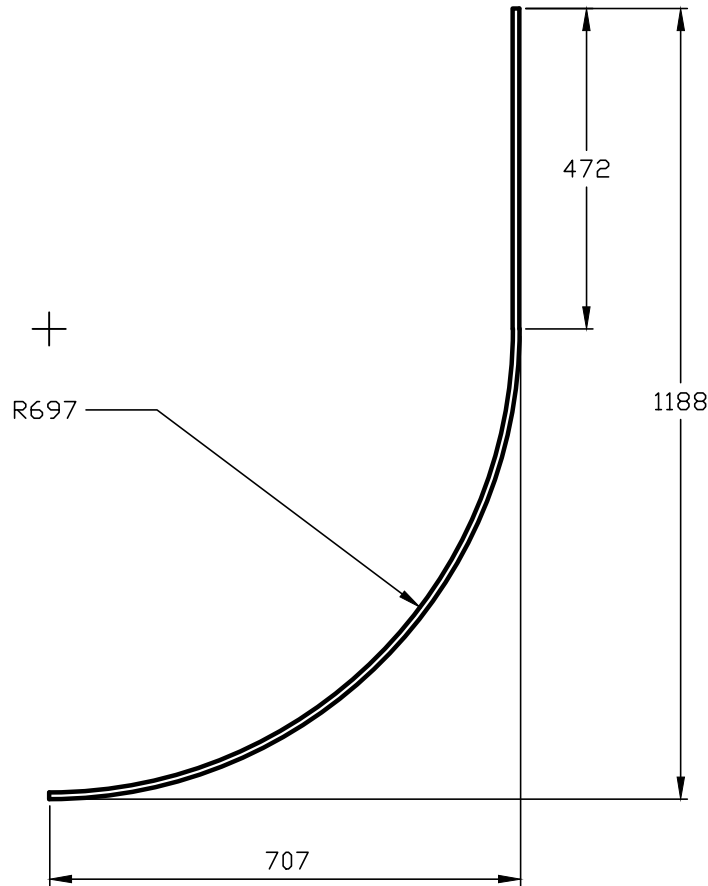


TITULO

Brida de escape voluta

Nº DE PLANO

FM-01-01-02-V03



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO REVISADO APROBADO

NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 14

PESO:

REVISION: 00

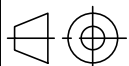
ESCALA

NORMA

TITULO

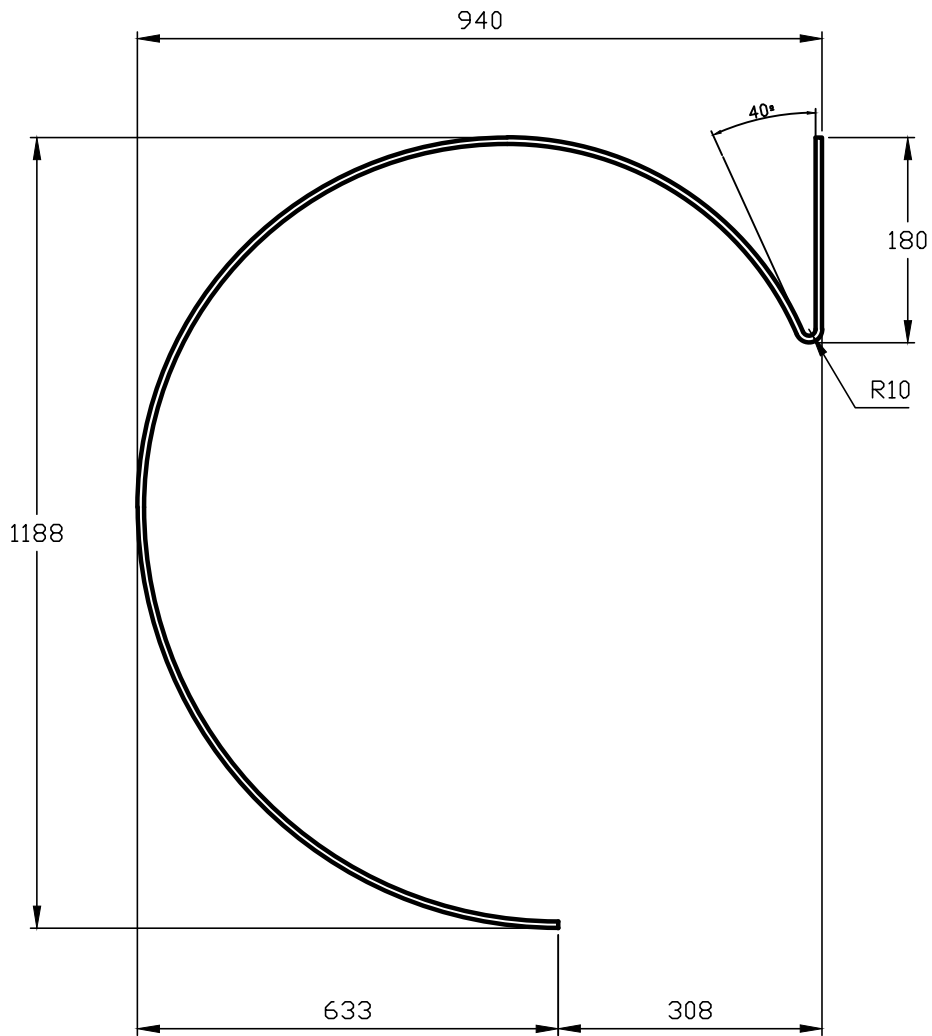
Nº DE PLANO

1:10



Chapa Env. 1

FM-01-01-02-V05



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 14

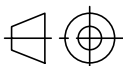
PESO:

REVISION: 00

ESCALA

1:10

NORMA

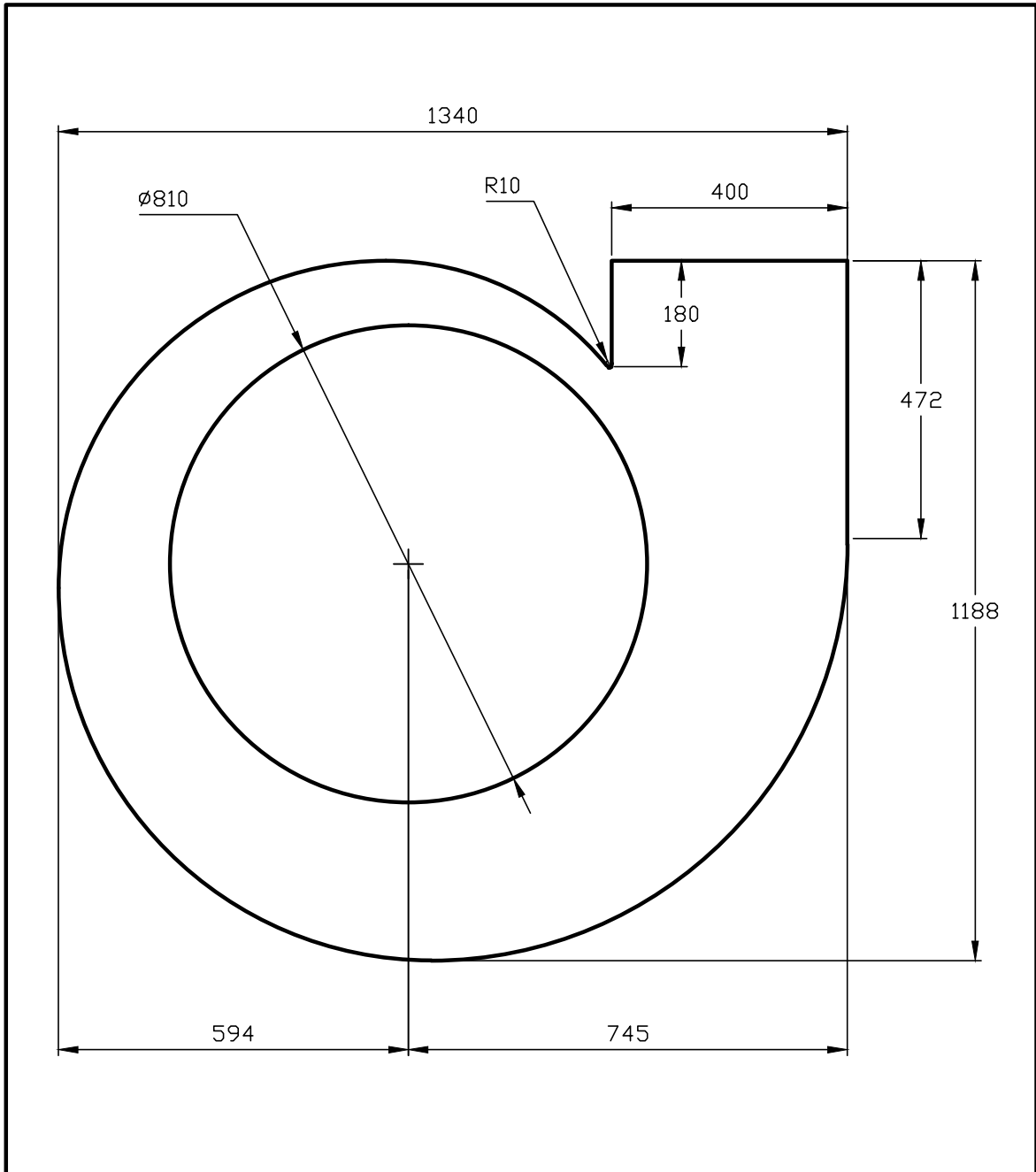


TITULO

Chapa Env. 2

Nº DE PLANO

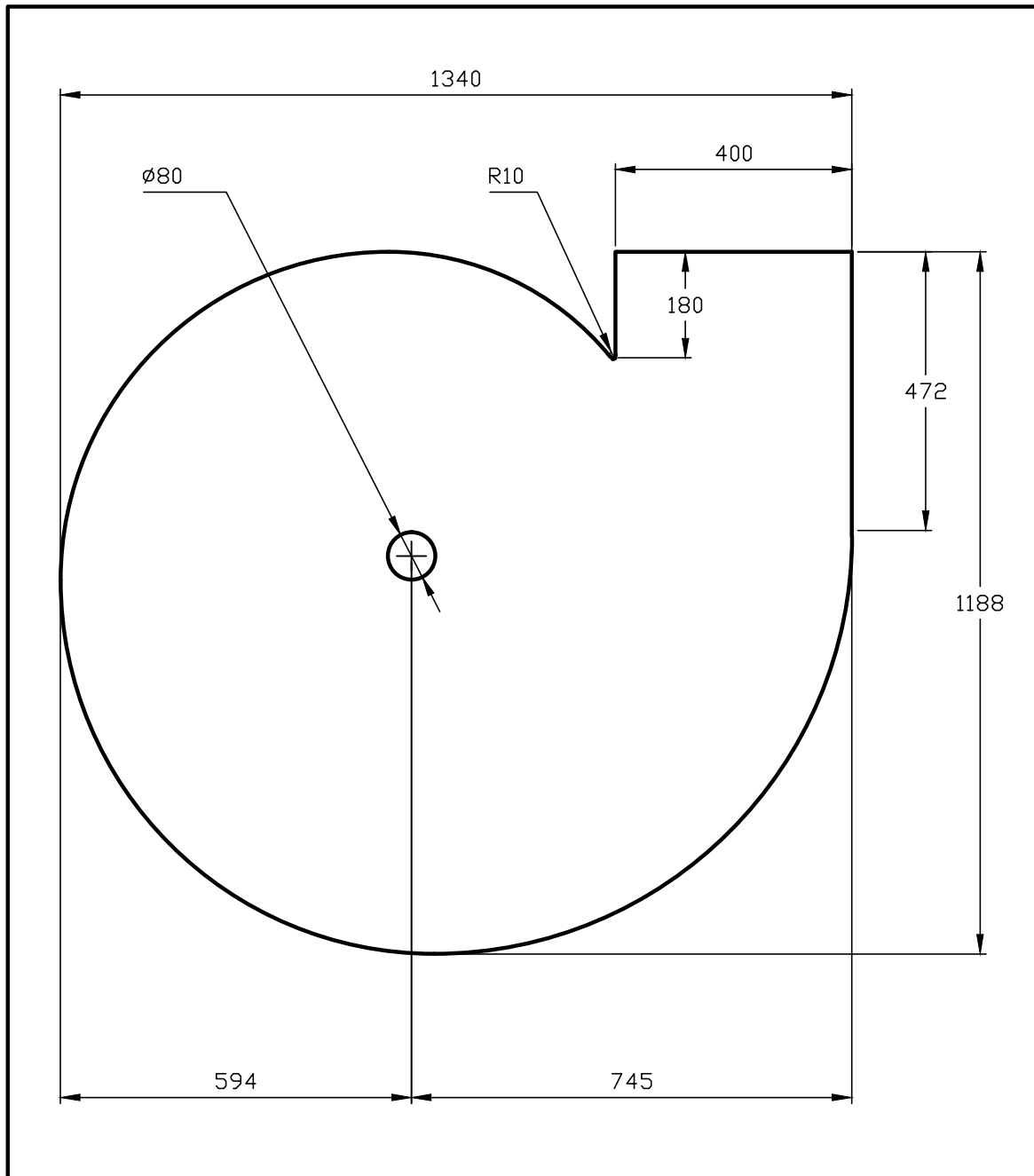
FM-01-01-02-V06



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

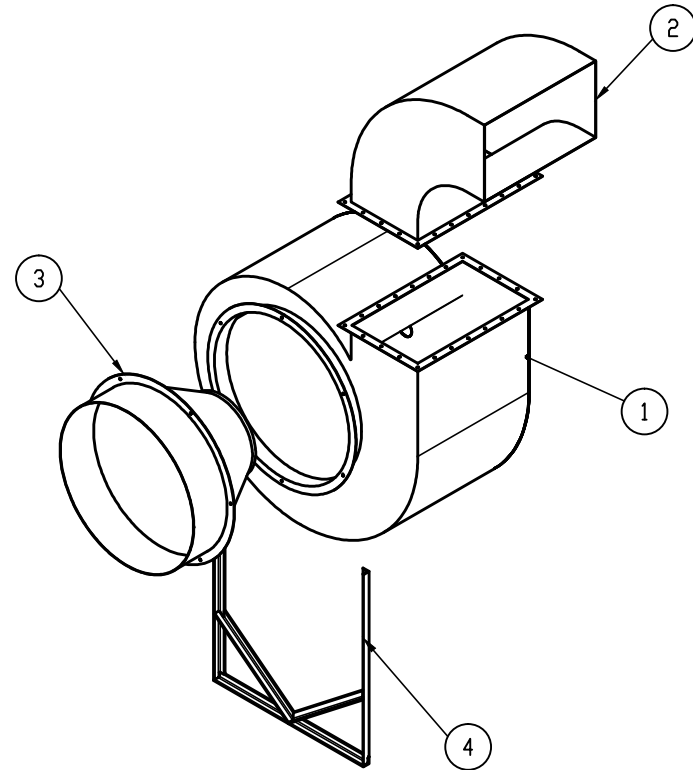
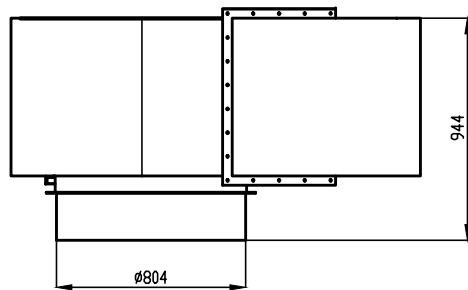
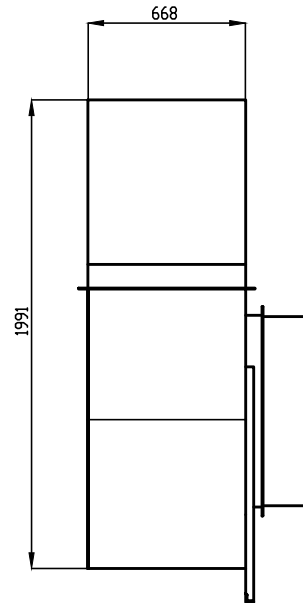
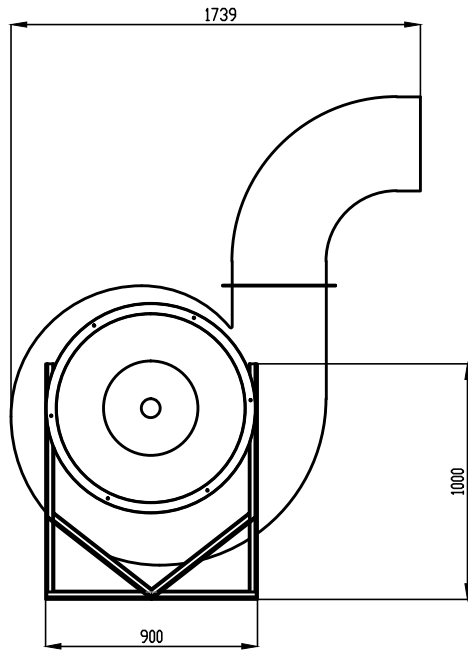
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA			
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO			
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL: Chapa calibre 14			PESO:		REVISION: 00	
ESCALA	NORMA	TITULO			Nº DE PLANO	
1:10		Chapa frontal			FM-01-01-02-V01	



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

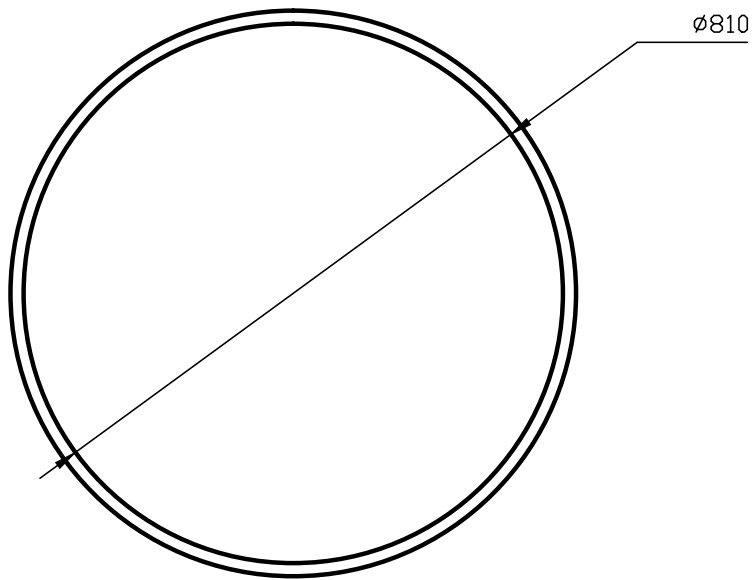
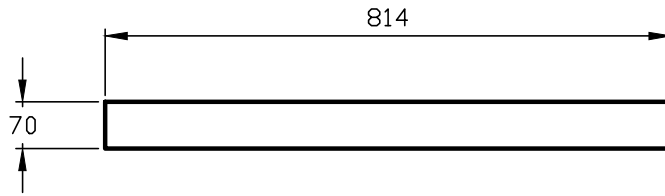
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA		
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA	
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: Chapa calibre 14			PESO:		REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO	Nº DE PLANO		
1:10		Chapa posterior voluta	FM-01-01-02-V02		



4	1	Soporte de voluta	FM-01-01-02-SV4	
3	1	Tobera de admisión	FM-01-01-02-TA0	
2	1	Tobera de escape	FM-01-01-02-TE0	
1	1	Voluta	FM-01-01-02-V00	
Nº	Cant.	Designación	Número de Plano	Observaciones

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
n	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA		
DIBUJADO		REVISADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA		
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: Chapa calibre 14			PESQ:	REVISION: 00	
ESCALA	NORMA	TITULO	Nº DE PLANO		
1:20		Conjunto voluta	FM-01-01-02-000		



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 14

PESO:

REVISION: 00

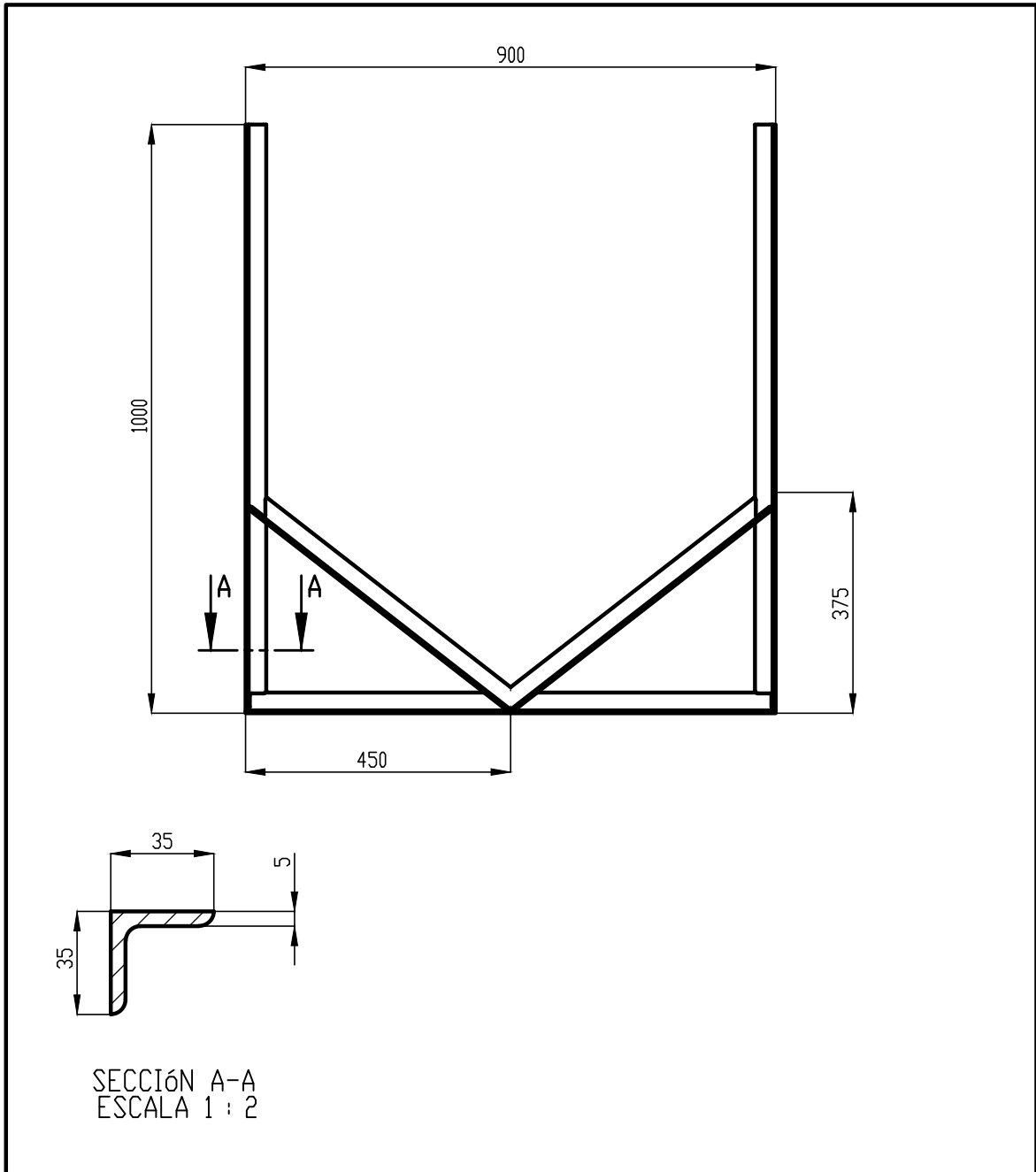
ESCALA
1:10



TITULO

Pestaña de voluta

Nº DE PLANO
FM-01-01-02-V04

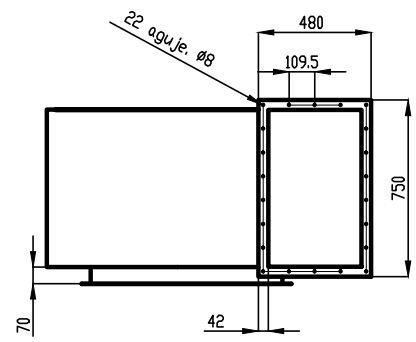
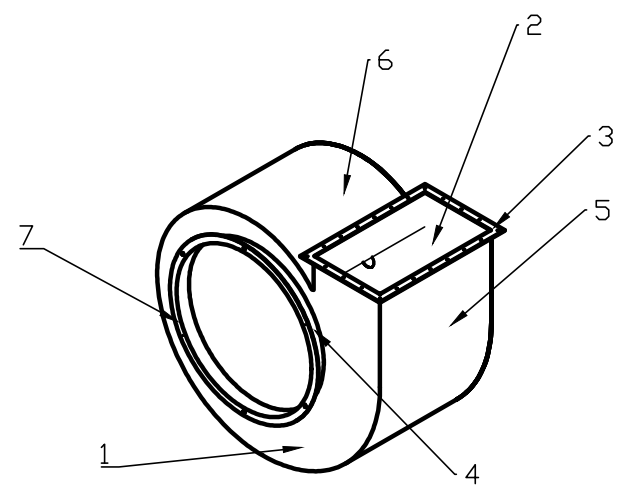
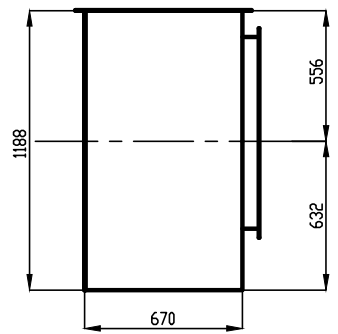
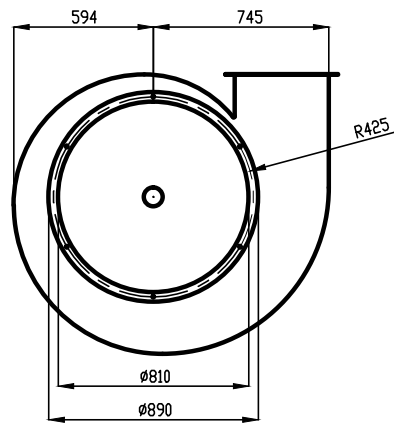


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

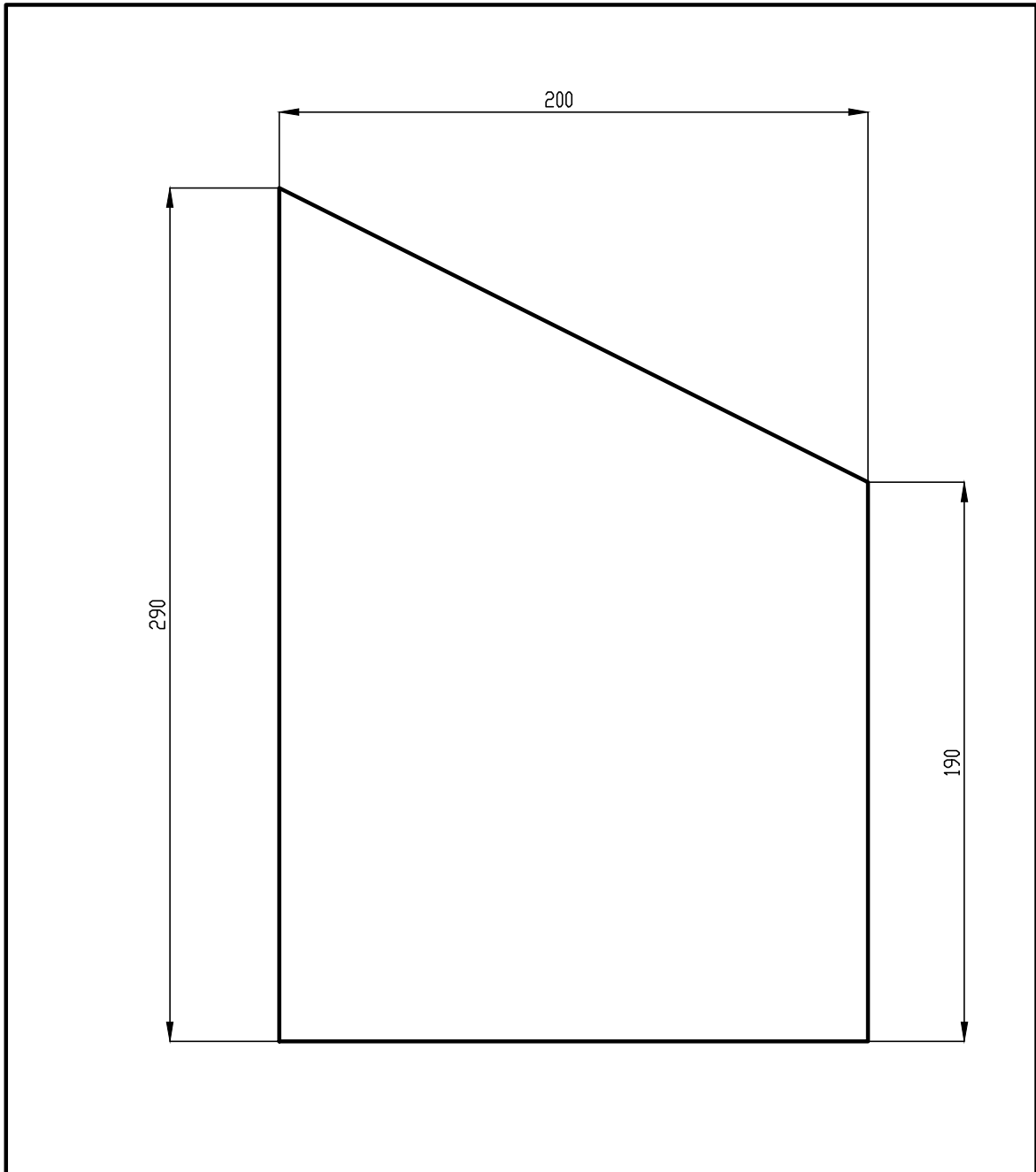
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA		
DIBUJADO		REVISADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA		
FECHA	01-01-13	APROBADO			
FIRMAS					
MATERIAL: Perfil L 35x35x5			PESO:		REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO	Soporte de voluta		Nº DE PLANO
1:10					FM-01-01-02-SV4



Nº	Cant.	Designación	Número de Plano	Observaciones
7	1	Brida de admisión	FM-01-01-02-V07	
6	1	Chapa envolvente 2	FM-01-01-02-V06	
5	1	Chapa envolvente 1	FM-01-01-02-V05	
4	1	Pestaña de voluta	FM-01-01-02-V04	
3	1	Brida de escape	FM-01-01-02-V03	
2	1	Chapa posterior	FM-01-01-02-V02	
1	1	Chapa frontal	FM-01-01-02-V01	

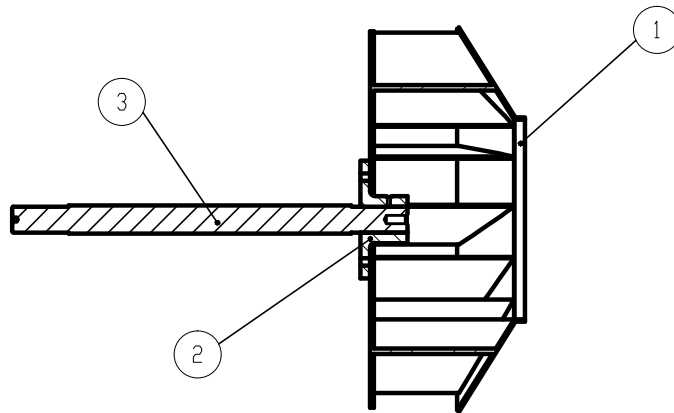
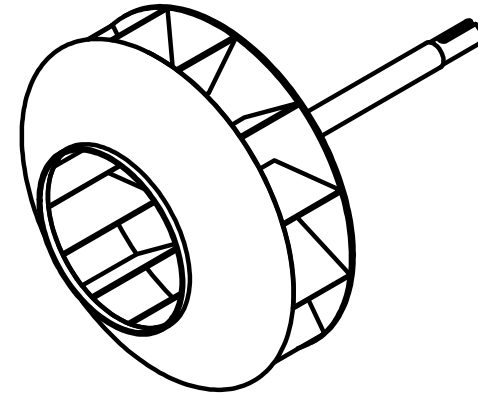
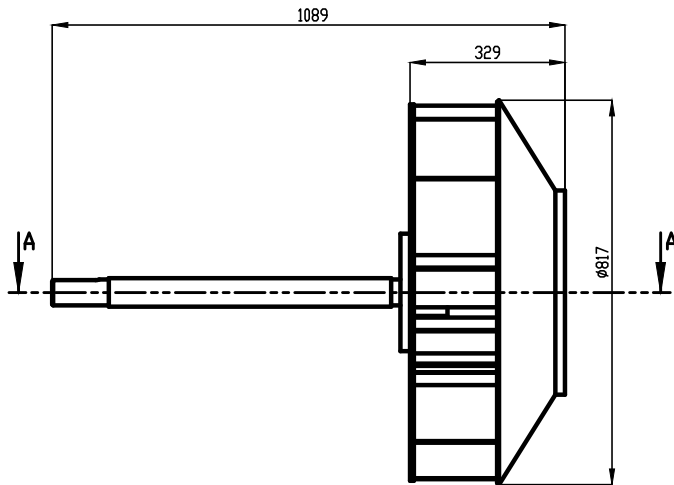
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
n	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	NACIONAL FACULTAD			
FECHA: 01-01-13			REGIONAL VILLA MARIA			
FIRMAS:						
MATERIAL: Chapa calibre 14 y Perfil L 35x35x5					PESD:	REVISION: 00
ESCALA: 1:20	NORMA:	TÍTULO:	Voluta			Nº DE PLANO: FM-01-01-02-V00



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

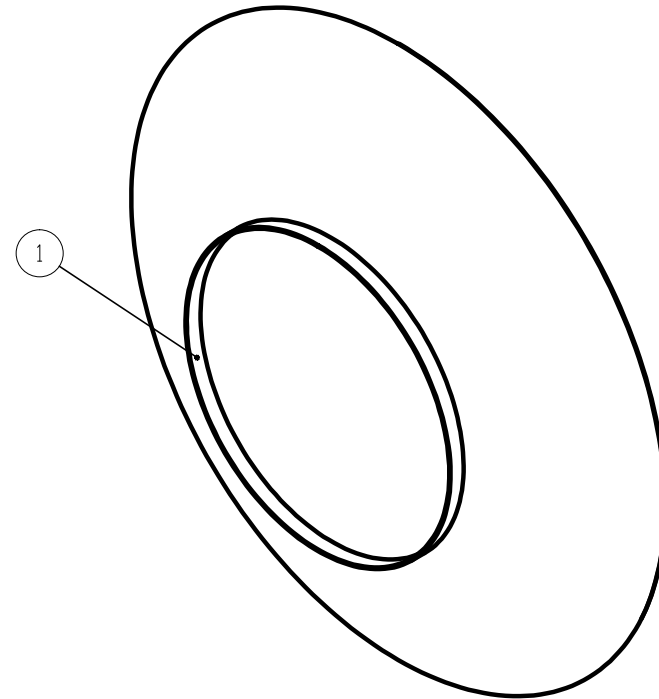
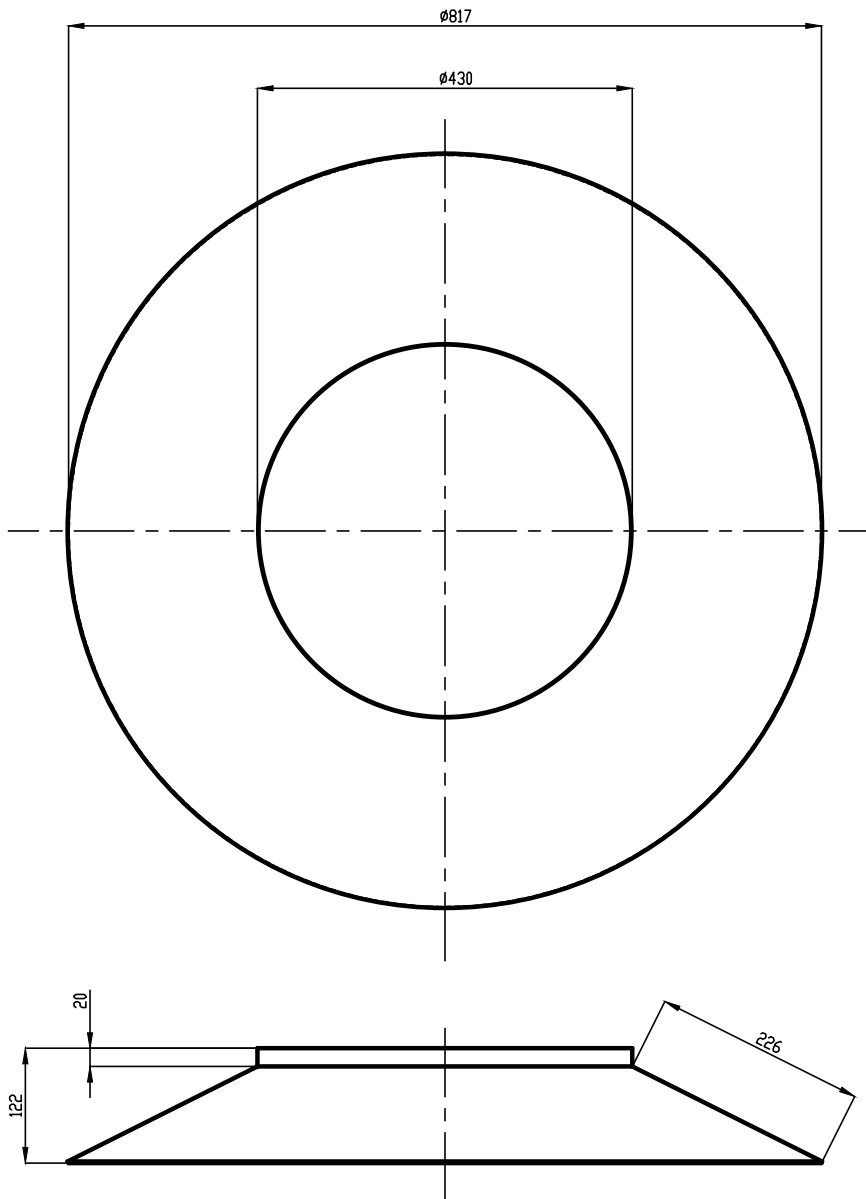
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ			<input type="checkbox"/> UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA <input type="checkbox"/> NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA		
DIBUJADO	REVISADO	APROBADO			
FECHA	01-01-13				
FIRMAS					
MATERIAL: Chapa 3/16			PESO:		REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO			Nº DE PLANO
1:2		Álabe			FM-01-01-01-R01

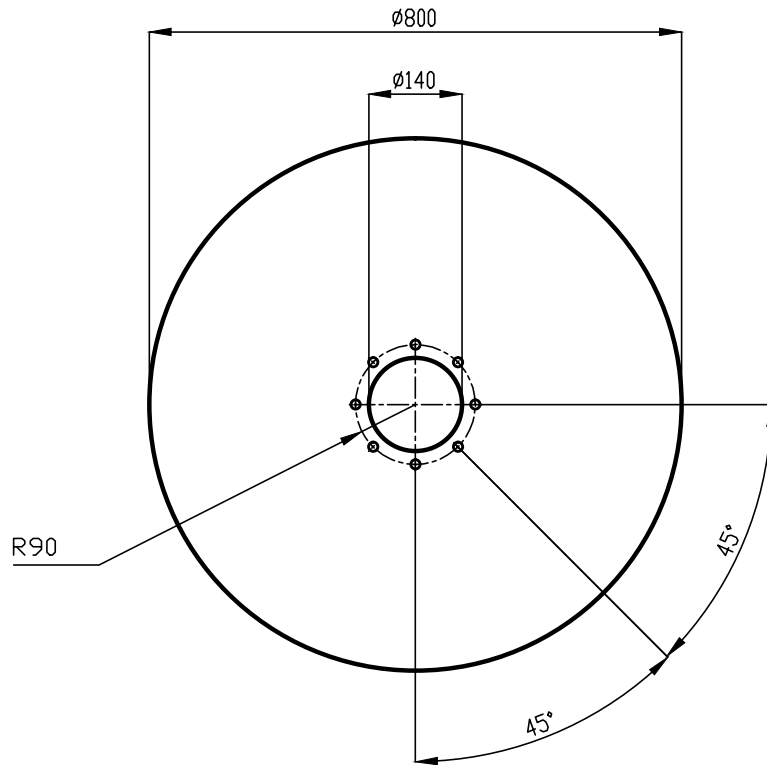


CORTE A-A

3	1	Eje de rotor	FM-01-01-01-E00			
2	1	Masa de rotor	FM-01-01-01-M00			
1	1	Rotor	FM-01-01-01-R00			
Nº	Cant.	Designación	Número de Plano	Observaciones		
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
n	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO			
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL: Acero SAE 1010 Y SAE 1045			PESD:	REVISION: 00		
ESCALA	NORMA	TÍTULO	Nº DE PLANO			
1:20		Conjunto rotor	FM-01-01-01-000			



1	1	Pestaña de Rotor	FM-01-01-01-R03	
Nº	Cant.	Designación	Número de Plano	Observaciones
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES				
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)		
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400
n	media	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$
				+ de 400 a 1000
				+ de 1000 a 2000
				$\pm 0,8$
				$\pm 1,2$
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA	
DIBUJADO		REVISADO	NACIONAL FACULTAD	
FECHA		APROBADO		REGIONAL VILLA MARIA
01-01-13				
FIRMAS				
MATERIAL: Chapa Nº 18			PESO:	REVISION: 00
ESCALA	NORMA	TITULO		Nº DE PLANO
1:10		Cono de rotor		FM-01-01-01-R02



NOTA: 8 orificios distribuidos a 45° de diametro 13,5 mm.

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

MATERIAL: Chapa 5/16

PESO:

REVISION: 00

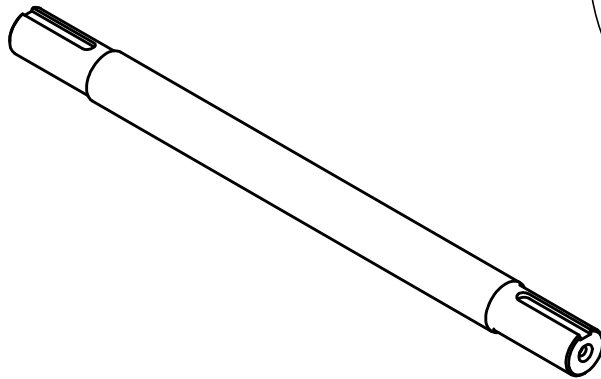
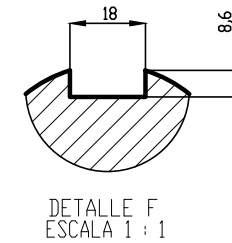
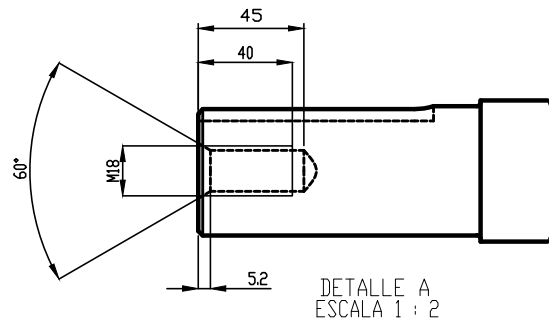
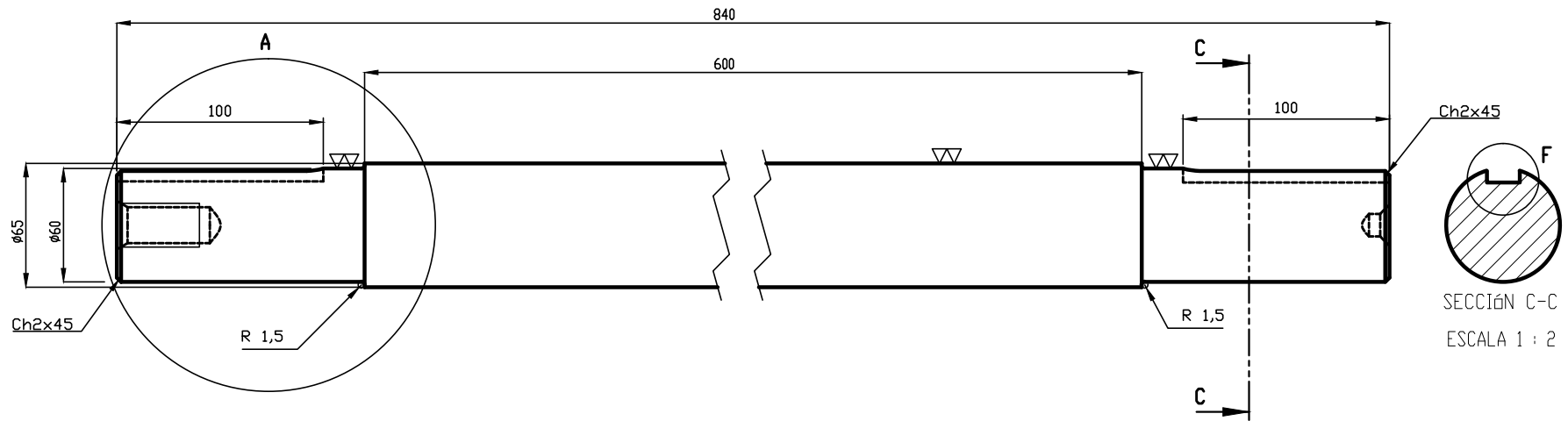
ESCALA
1:10



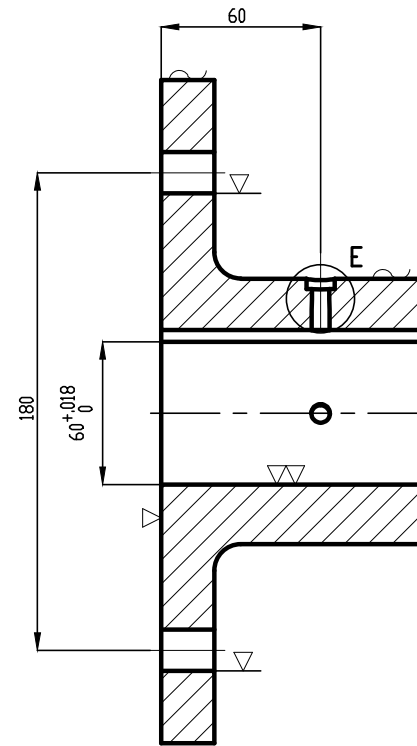
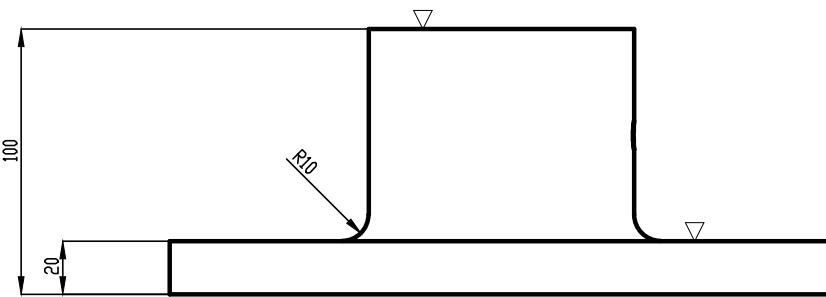
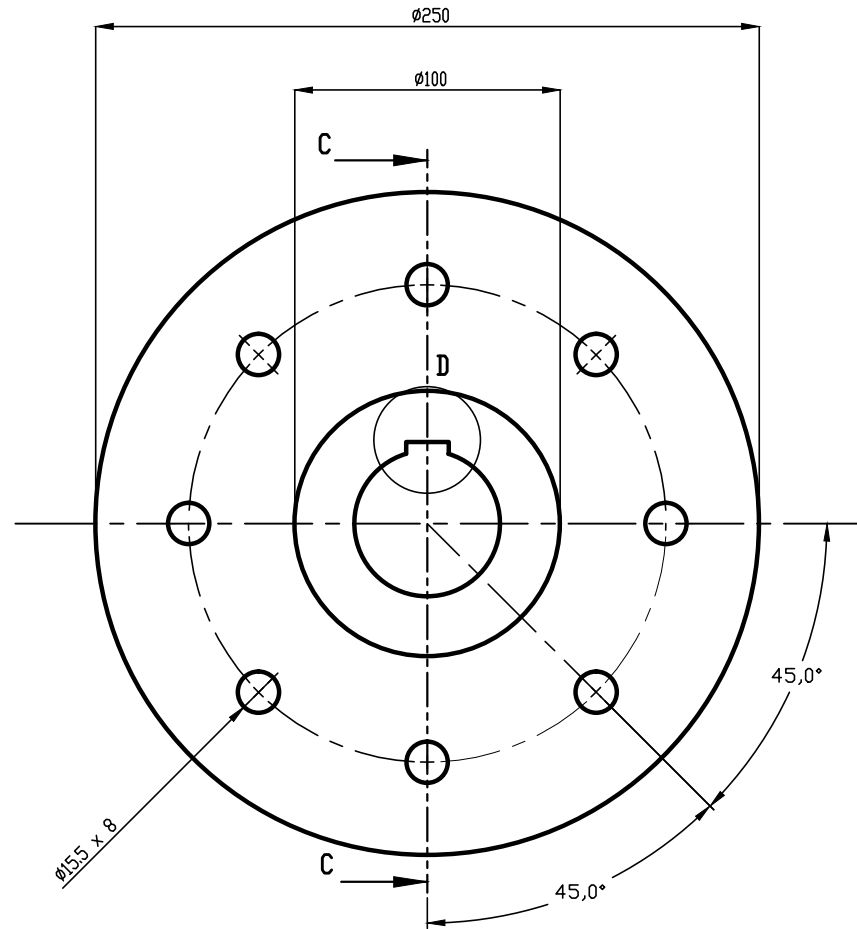
TITULO

Disco

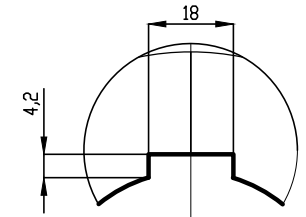
Nº DE PLANO
FM-01-01-01-R04



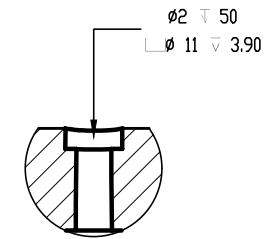
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 3 a 6	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000
f	Fina	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA			
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL: Acero SAE 1045			PESD:		REVISION: 00	
ESCALA	NORMA	TITULO			Nº DE PLANO	
1:10		Eje rotor			FM-01-01-01-E00	



SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 2

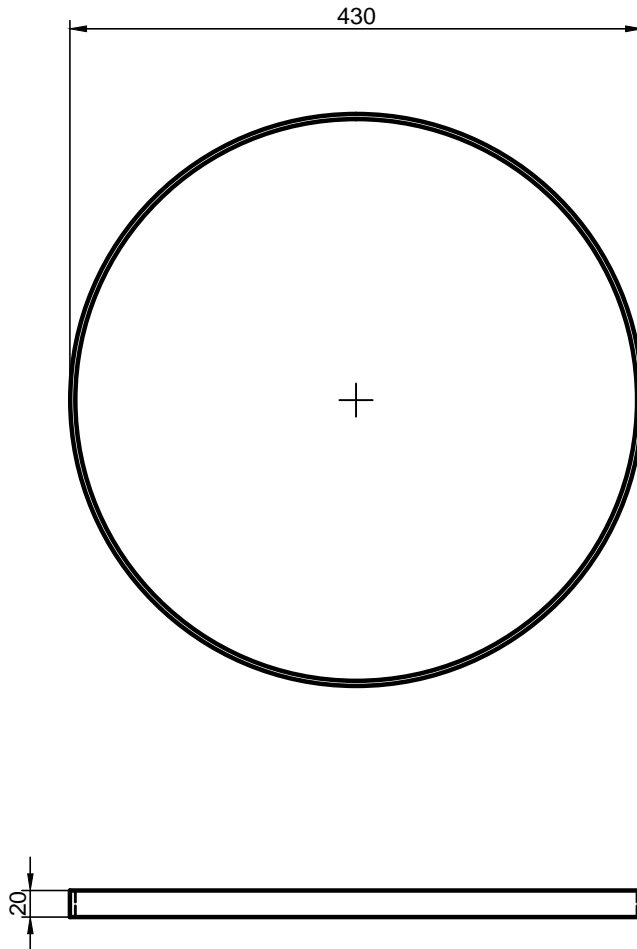


DETALLE D
ESCALA 1 : 1



DETALLE E
ESCALA 1 : 1

TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO		NACIONAL FACULTAD	
FECHA	01-01-13				REGIONAL VILLA MARIA	
FIRMAS						
MATERIAL: Fundición Gris			PESO:		REVISION: 00	
ESCALA	NORMA	TITULO		Nº DE PLANO		
1:5		Masa rotor		FM-01-01-01-M00		



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

NACIONAL FACULTAD

FECHA 01-01-13

REGIONAL VILLA MARIA

FIRMAS

MATERIAL: Chapa calibre 18

PESO:

REVISION: 00

ESCALA

NORMA

TITULO

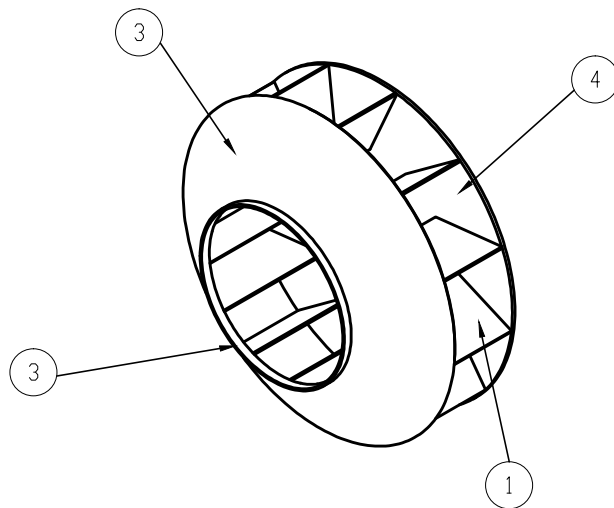
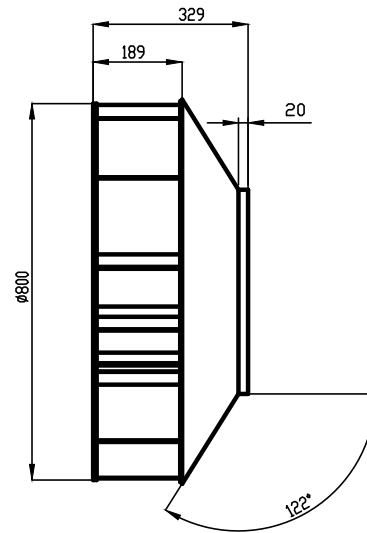
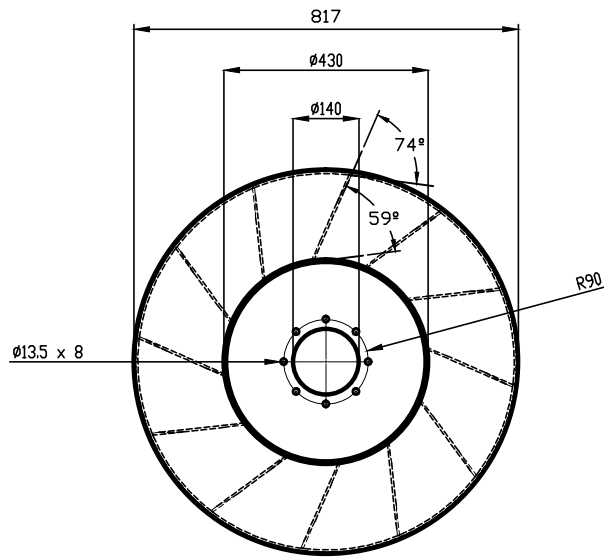
1:5



Pestaña de cono

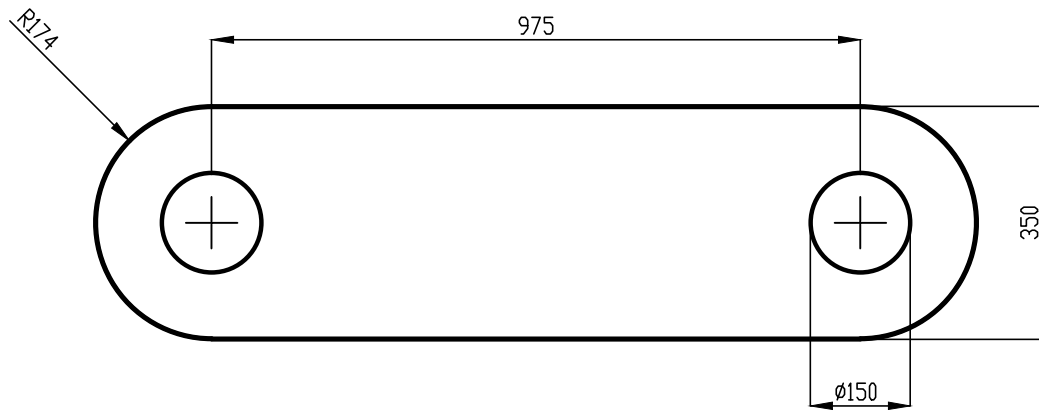
Nº DE PLANO

FM-01-01-01-R03



Nota: 12 alabes distribuidos en 360°

4	1	Disco de rotor	FM-01-01-01-R04			
3	1	Pestaña de cono	FM-01-01-01-R03			
2	1	Cono de rotor	FM-01-01-01-R02			
1	12	Alabes	FM-01-01-01-R01			
Nº	Cant.	Designación	Numero de Plano	Observaciones		
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
n	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	NACIONAL FACULTAD			
FECHA		REGIONAL VILLA MARIA				
FIRMAS						
MATERIAL: Chapa calibre 18 y 5/16			PESD:		REVISION: 00	
ESCALA	NORMA	TITULO		Nº DE PLANO		
1:20		Rotor		FM-01-01-01-R00		



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

DIBUJADO

REVISADO

APROBADO

**NACIONAL FACULTAD
REGIONAL VILLA MARIA**

FECHA 01-01-13

FIRMAS

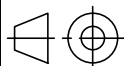
MATERIAL: Chapa calibre 18

PESO:

REVISION: 00

ESCALA
1:10

NORMA

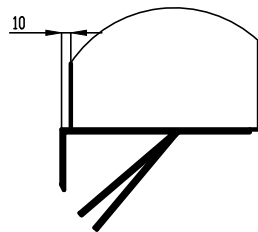
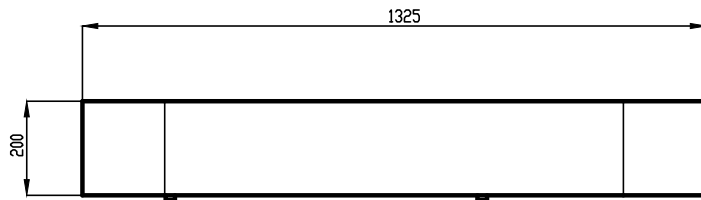
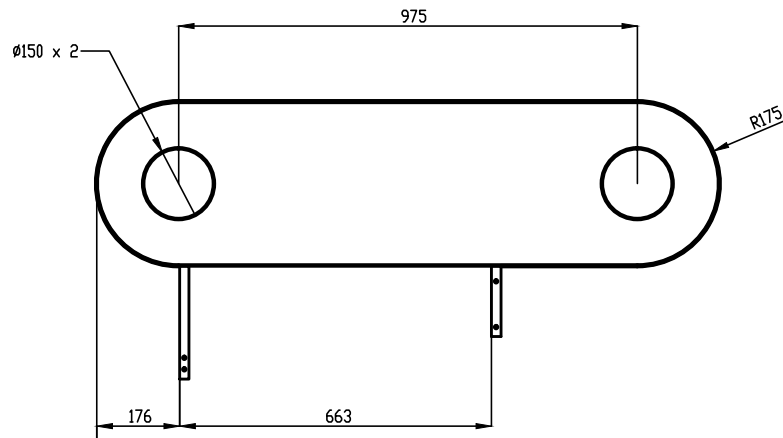


TITULO

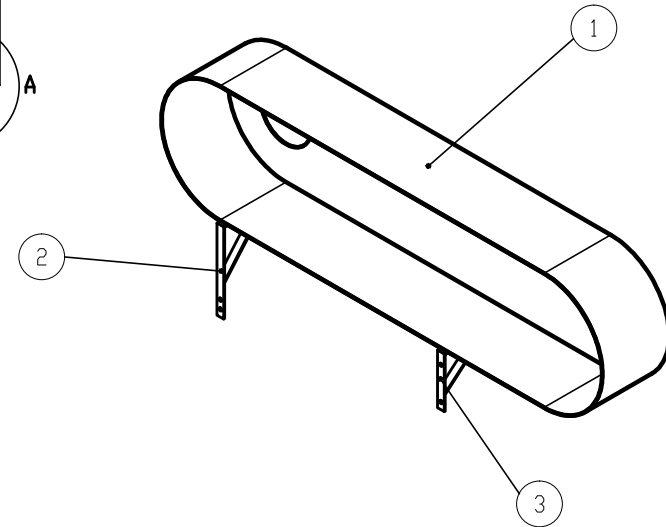
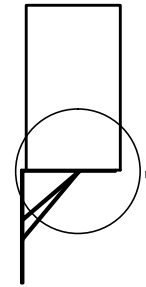
Cubre correas

Nº DE PLANO

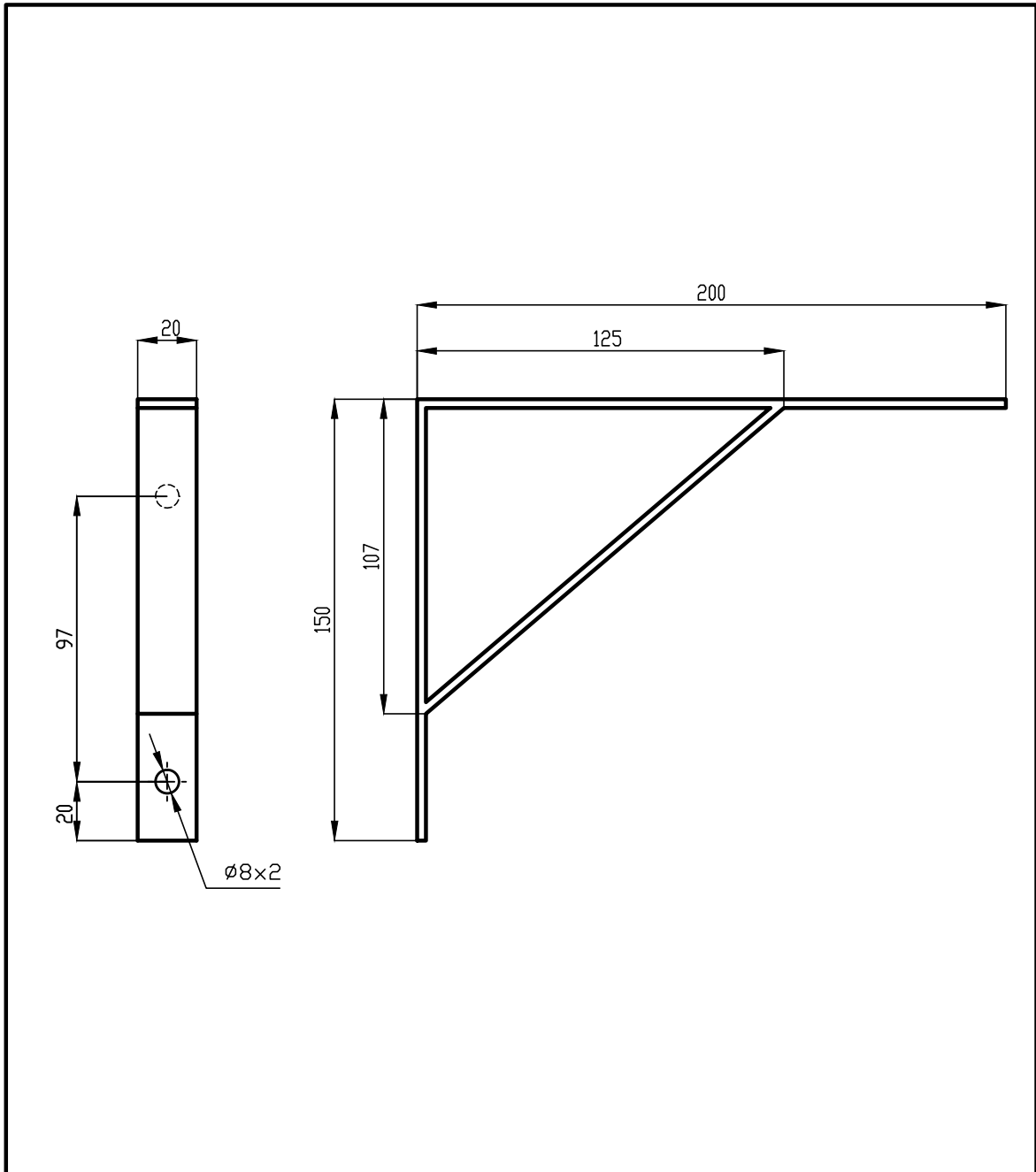
FM-01-01-05-CC0



A (1 : 5)



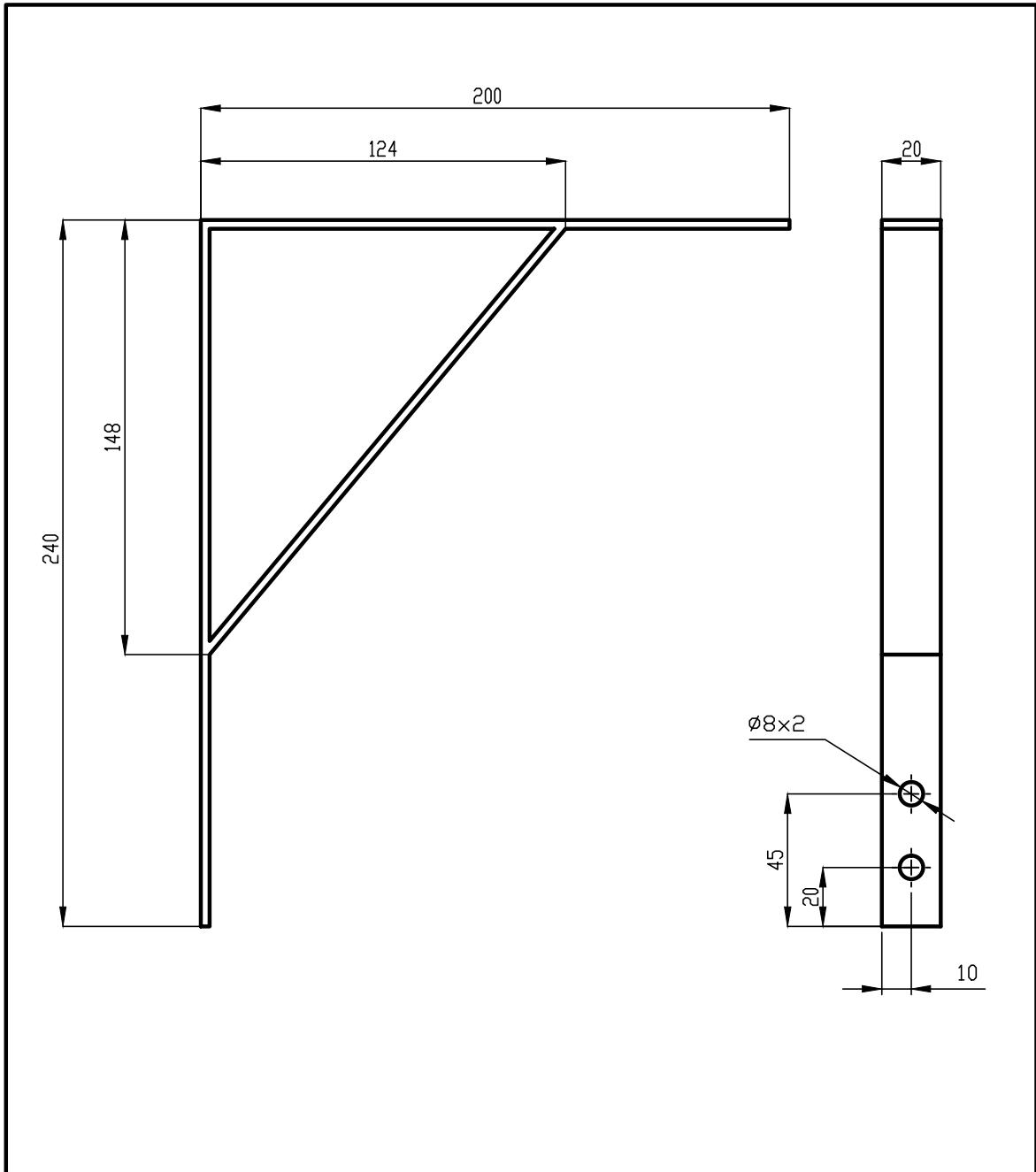
3	1	Soporte corto	FM-01-01-05-SC1			
2	1	Soporte largo	FM-01-01-05-SL2			
1	1	Cubre correas	FM-01-01-05-CC0			
Nº	Cant.	Designación	Número de Plano	Observaciones		
TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES						
Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
n	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2
MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	NACIONAL FACULTAD			
FECHA 01-01-13		APROBADO		REGIONAL VILLA MARIA		
FIRMAS						
MATERIAL: Chapa 18 y Planchuela 20mm. x 1/8			PESD:	REVISION: 00		
ESCALA 1:10	NORMA 	TITULO Protección de transmisión		Nº DE PLANO FM-01-01-05-000		



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA		
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL: Planchuela de 20 mm. x 1/8			PESO:		REVISION: 00	
ESCALA	NORMA	TITULO			Nº DE PLANO	
1:2		Soporte protección corto			FM-01-01-05-SC1	



TOLERANCIAS GENERALES PARA DIMENSIONES LINEALES

Clase de Tolerancia		Desviaciones Admisibles Respecto al Valor Nominal (mm.)				
Designación	Descripción	+ de 6 a 30	+ de 30 a 120	+ de 120 a 400	+ de 400 a 1000	+ de 1000 a 2000
m	media	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2

MAURO H. GALINDEZ			UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA			
DIBUJADO		REVISADO	APROBADO	NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARIA		
FECHA	01-01-13					
FIRMAS						
MATERIAL: Planchuela de 20 mm. x 1/8			PESO:		REVISION: 00	
ESCALA	NORMA	TITULO	Nº DE PLANO			
1:2		Soporte protección largo	FM-01-01-05-SL2			