

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**CÁLCULO Y SELECCIÓN EN UN SISTEMA COLECTOR
DE POLVO (PULSE JET) EN UNA PLANTA DE ZINC –
VOTORANTIM CAJAMARQUILLA**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

WALTER, MORALES CRUZ

PROMOCION 2009 - II

LIMA PERÚ

2013

DEDICATORIA

**A mi familia. mis padres, mi
esposa Madeleine y mis hijos
Fabricio y Lorena que me han
apoyado incondicional para lograr
mis objetivos.**

TABLA DE CONTENIDO

Prólogo	1
CAPÍTULO 1	3
INTRODUCCIÓN	3
1.1 Introducción	3
1.2 Objetivo	4
1.3 Alcance	4
1.4 Limitaciones	5
1.5 Descripción de Planta de Zinc	5
CAPÍTULO 2	7
GENERALIDADES SOBRE FILTRACIÓN	7
2.1 Definiciones	7
2.1.1 Polución de Aire	7
2.1.2 Partículas de Polvo	7
2.1.3 Fuentes de Contaminación	8
2.1.4 Partículas PM10	8
2.2 Tipos de Sistemas de Filtración de Polvo	9
2.2.1 Cámaras de Ascentamiento	9
2.2.2 Ciclones.	10
2.2.3 Colectores de Procesos Húmedos	12
2.2.4 Precipitadores Electrostáticos	14
2.2.5 Filtro de Mangas	15
2.2.5.1 Limpieza por Sacudido Mecánico	17
2.2.5.2 Limpieza por Aire Reverso	17

III

2.2.5.3	Limpieza Plenum Pulse	18
2.2.5.4	Limpieza Pulse Jet	19
2.3	Elementos de Filtro de Mangas (Pulse Jet)	21
2.3.1	Filtros de Tela (Mangas)	21
2.3.2	Canastillas	21
2.3.3	Venturis.	23
2.3.4	Manifold y Red de Aire Comprimido.	23
2.3.5	Válvula de Diafragma.	24
2.3.6	Economizador.	24
2.3.7	Cámara de Aire Limpio (Cuerpo Superior)	25
2.3.8	Cámaras de Aire Sucio.	26
2.3.9	Tolva y Estructura Soportante (Cuerpo Interior)	27
2.3.10	Sistema de Descarga	27
2.3.11	Válvula Rotativa	28
CAPÍTULO 3		29
PARAMETROS PARA LA SELECCION DE UN FILTRO DE MANGAS TIPO PULSE		
JET		29
3.1	Velocidad de Filtración	29
3.2	Velocidad Intersticial	33
3.3	Eficiencia de Filtrado	34
3.4	Presión Diferencial	34
3.4.1	Telas Filtrantes	41
3.5	Sistema de Succión	43

CAPÍTULO 4	44
CÁLCULO DE CAUDAL, DIÁMETROS Y PÉRDIDA DE CARGA EN DUCTOS	44
4.1 Criterio de Diseño	44
4.2 Bases de Cálculo	44
4.3 Desarrollo de Caudales Inducidos	46
4.3.1 Cámara de Atomización	46
4.3.2 Correas Transportadoras	49
4.3.3 Transportadores Vibratorios	50
4.3.4 Tolvas y Contenedores de Polvo	50
4.3.5 Harneros Vibratorios (Zarandas)	51
4.3.6 Elevador de Capachos (Elevador de Cangilones)	51
4.3.7 Chute Desviador	52
4.4 Resumen de Caudales	53
4.5 Trazado de Líneas de Ducto	54
4.6 Calculo de Diámetros de Ductos y Pérdidas de Carga por Fricción “hf”, Mediante Iteración	55
4.7 Cálculo de Pérdidas de Carga por Singularidades “hs”	59
4.8 Balance del Sistema	65
CAPÍTULO 5	68
CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS	68
5.1 Cálculo y Selección de filtro de manga pulse jet	68
5.2 Calculo y Selección de Ventilador Centrífugo	76
5.3 Selecccion de Motor Electrico	81
CONCLUSIONES	83

RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFIA	87
PLANOS	88
ANEXOS	89

PRÓLOGO

El mundo actual ha tomado gran importancia en la preservación del medio ambiente, por tal motivo todos los gobiernos están exigiendo a las empresas cumplir las leyes para no impactar negativamente al medio ambiente, al momento de realizar sus actividades productivas.

El presente informe tiene la finalidad de mostrar los conceptos utilizados en el cálculo y selección de un filtro de mangas tipo Pulse Jet, el cual es usado para el control de la polución, debido a la alta eficiencia de recolección que se puede conseguir con este equipo, encontrándose éste valor entre 99 y 99,9%.

Para el desarrollo del presente informe se ha visto conveniente dividirlo en cinco (05) capítulos, los cuales se mencionarán a continuación:

Capítulo I, Introducción, se indica cual es el objetivo del informe, especificando el alcance y limitaciones que lograremos con el presente informe, también se describe brevemente el proceso de producción de Zinc.

Capítulo II, aquí describiremos sobre las teorías de filtración, tipos de equipos de filtración existentes, enfatizando más profundamente en los filtros con mangas, especialmente en el tipo Pulse Jet.

Capítulo III, es la parte esencial del trabajo donde describiremos los parámetros para la selección de un filtro de mangas tipo Pulse Jet en el proceso de producción de Zinc, aquí encontraremos tablas proporcionadas por los fabricantes con mayor experiencia en la construcción de estos filtros.

Capítulo IV, aquí calcularemos los caudales inducidos, diámetros de ductos y pérdidas de carga en ductos y finalmente balancearemos la resistencia del sistema.

Capítulo V, en esta última parte, procederemos a calcular la resistencia en los filtros (bolsas) y selección de equipos (filtro de mangas pulse jet, ventilador centrífugo y motor eléctrico).

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En la nueva planta de zinc, área 83 del proyecto, el manejo de polvo de zinc utilizará un único sistema de colección de polvo. El colector de polvo tipo pulse jet H2110 y el extractor centrífugo H2112 realizarán dicha función.

El colector de polvo servirá a los equipos que se listan a continuación:

- Cámaras de atomización de zinc fundido H2107 y H2138, respectivamente.
- Correas transportadoras de polvo de zinc H2115 y H2139.
- Transportadores vibratorios H2140 y H214.
- Contenedores de polvo de zinc H2145, H2146 y H2148.
- Tolvas de polvo de zinc H2123, H2124 y H2159.
- Harneros vibratorios circulares H2109 y H2142.
- Elevador de capachos H2108.
- Chute desviador H2121.

1.2 OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo calcular y seleccionar los equipos idóneos, con la finalidad de controlar la contaminación con polvo de zinc el área de trabajo y garantizar que los contaminantes estén por debajo de lo permisible, para los cuales se realizarán los siguientes pasos:

- Cálculo de caudales inducidos en cada punto de colección.
- Trazado de líneas de ductos.
- Cálculo de diámetros de ductos y pérdidas de carga por fricción “hf”, mediante iteración.
- Cálculo pérdidas de carga por singularidades “hs”.
- Balance del sistema.
- Cálculos y Selección de equipos (filtro de magas Pulse Jet, ventilador centrífugo y motor eléctrico).

1.3 ALCANCES

El alcance del presente informe CÁLCULO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA COLECTOR DE POLVO (PULSE JET) EN PLANTA ZINC – VOTORANTIM CAJAMARQUILLA, comprende los siguientes puntos:

- Requerimientos de aire para cada punto de colección.
- Dimensionar la red de ductos, definiendo los diámetros necesarios.
- Cálculo de pérdidas de carga por fricción y por singularidades.
- Balance del sistema red de ductos.
- Cálculos y selección de equipos (filtro de magas Pulse Jet, ventilador centrífugo y motor eléctrico).

1.4 LIMITACIONES

El informe NO considera los siguientes puntos:

- Suministro y montaje de equipos (filtro de mangas pulse jet, ventilador y motor electrico, etc).
- Fabricacion y montaje de ductos, campanas, plataformas y soportes.
- Cables, bandejas y entubado u otros elementos de electricidad e instrumentación.
- Costos de montaje de todo el sistema.
- Obras civiles.

1.5 DESCRIPCIÓN DE PLANTA DE ZINC

La refinería procesa diferentes concentrados de zinc nacionales procedentes de unidades mineras, de los cuales aproximadamente el 60% se transporta por ferrocarril y la diferencia por camión. Todo el concentrado que se recibe es pesado y descargado formando pilas en el almacén que tiene una capacidad de 10,000 toneladas. Utilizando cargadores frontales, se lleva a cabo la combinación y mezcla de los concentrados junto con óxido de zinc (dross) recirculante del horno de fusión de cátodos, con el objetivo de alcanzar los parámetros fundamentales, como humedad, composición y parámetros específicos.

El zinc líquido obtenido en el horno por fusión de granallas de zinc, barras rechazadas, espumas de zinc, escarchas y láminas de zinc, es bombeado continuamente a los crisoles de grafito. Estos poseen orificios de salida por los cuales fluye un hilo de zinc líquido en forma constante hasta ser alcanzado por una corriente de aire presurizado proveniente de una

compresora, la cual lanza el chorro fino de metal dentro de una cámara de recepción en la que se deposita el zinc en forma de polvo.

El zinc en polvo recolectado en las cámaras de expansión es extraído mediante dos fajas transportadoras para ser enviado a la unidad de clasificación de tamaño mediante el empleo de un sistema de zarandas. El zinc en polvo fino es usado en el proceso de purificación, mientras que los gruesos son empleados en la precipitación de la esponja de cadmio.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES SOBRE FILTRACIÓN

2.1 DEFINICIONES

2.1.1 Polución de aire

Polucion del aire significa la presencia de una o mas sustancias en el aire, que tienen efectos negativos en humanos, animales, plantas y en la actualidad del aire. Las sustancias que cambian la composición del aire negativamente y las sustancias en el aire que causan molestias son llamadas polucion del aire.

Los principales causantes de polución del aire son los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs) y pequeñas partículas de polvo.

2.1.2 Partículas de polvo

Las partículas de polvo forman un complejo de componentes orgánicos y minerales, estos pueden derivar de fuentes naturales, tales como volcanes, o actividades humanas, tales como procesos de combustión industrial o tráfico. Las partículas se clasifican de acuerdo con el tamaño de partícula, las partículas más pequeñas tienen la capacidad de transportar compuestos tóxicos al aparato

respiratorio, algunos de estos componentes son carcinógenos.

Las partículas de polvo pueden irritar los ojos, la garganta y los pulmones, el ardor en los ojos, la tos y la presión en el pecho son comunes con la exposición a niveles altos de polución en el aire.

Tiempos atrás la regulación ambiental se centraba en las partículas suspendidas totales, que son aquellas menores de 100 μm de diámetro aerodinámico. Posteriormente, la atención se empezó a centrar en las partículas menores de 10 μm , y hasta hace apenas unos años el foco de atención se comparte con las partículas finas y ultra finas, es decir, las menores a 2.5 y 1 μm , respectivamente.

2.1.3 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación se definen como los procesos industriales en los cuales se generan los contaminantes (polvo, humos, niebla, gases, olores, humedad u otras condiciones indeseables) que se expelen al ambiente de trabajo y medio ambiente exterior, los cuales, dependiendo del grado de toxicidad, se tienen que controlar y eliminar por medio de diseños de sistemas de ventilación eficaces para protección del trabajador y el medio ambiente.

2.1.4 Partículas PM10

Las llamadas PM10 se pueden dividir, por su tamaño, en las fracciones gruesa, fina y ultrafino, siendo la fracción gruesa la

compuesta por partículas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre 2.5 y 10 μm (PM 2.5-10); la fracción fina que incluye aquellas partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm (PM 2.5), y, finalmente, la fracción ultrafina que incluye a las partículas menores de 1 μm .

Las partículas con diámetros mayores de 10 μm se depositan casi exclusivamente en la nariz y garganta, las PM10 , también llamada fracción torácica o inhalable, puede penetrar y depositarse a lo largo del tracto respiratorio, las partículas finas llegan a los bronquiólos respiratorios y región alveolar, por lo que se les conoce como partículas respirables

2.2 TIPOS DE SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE POLVO

2.2.1 Cámaras de asentamiento

Este tipo de tecnología es una parte del grupo de controles de la contaminación del aire, conocidos colectivamente como “pre-limpiadores”, debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de Materia Particulada (MP), a la entrada de los dispositivos finales de captura, al remover las partículas abrasivas de mayor tamaño.

Ventajas:

- Bajos costos de capital y energía.
- No hay partes móviles, por lo tanto, pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación.
- Excelente funcionamiento y bajo caída de presión.

- El equipo no está sujeto a la abrasión, debido a la baja velocidad del gas.
- Proporciona enfriamiento incidental de la corriente de gas.
- Recolección y disposición en seco.

Desventajas:

- Eficiencias de recolección de MP relativamente bajas, particularmente para MP de tamaño menor a $50 \mu\text{m}$.
- No puede manejar materiales pegajosos o aglutinantes.
- Gran tamaño físico.

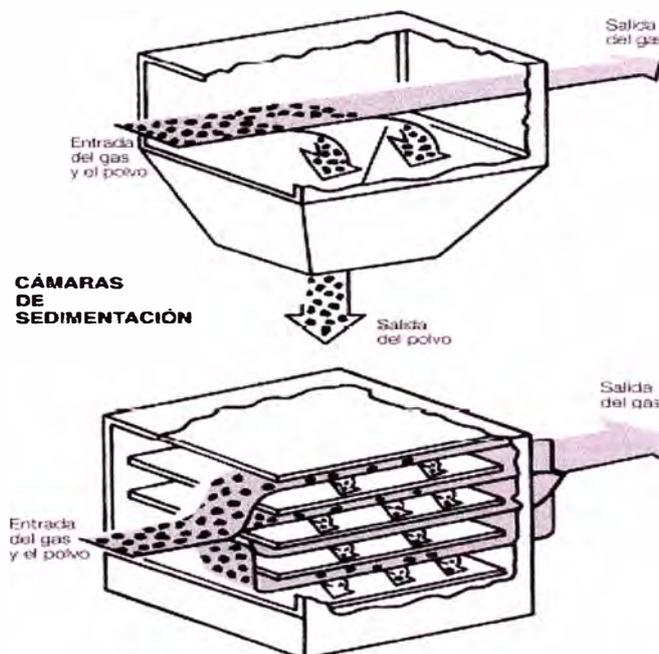


Fig. 2.1: Cámara de asentamiento por gravedad

2.2.2 Ciclones

Son de buena eficiencia si las partículas no son muy pequeñas, son de bajo costo de instalación y de operación y además, la posibilidad de regulación les permite una utilización bastante variedad en la

recuperación de polvos industriales. Los ciclones, salvo algunas excepciones son usados para separar partículas en el rango de 5 a 200 μ m.

No tiene partes móviles, está formado por un cilindro vertical con el fondo cónico, una entrada tangencial en la parte superior y una salida para el polvo en el fondo cónico.

La trayectoria de los gases es un torbellino descendente en espiral, adyacente a la pared, el cual trata de alcanzar el fondo del cono, pero a cierta altura cambia ascendiendo en espiral de menor diámetro en el centro del cuerpo. Esta espiral es concéntrica con la descendente y gira en el mismo sentido, finalmente el gas sale, todavía girando, a través de la chimenea.

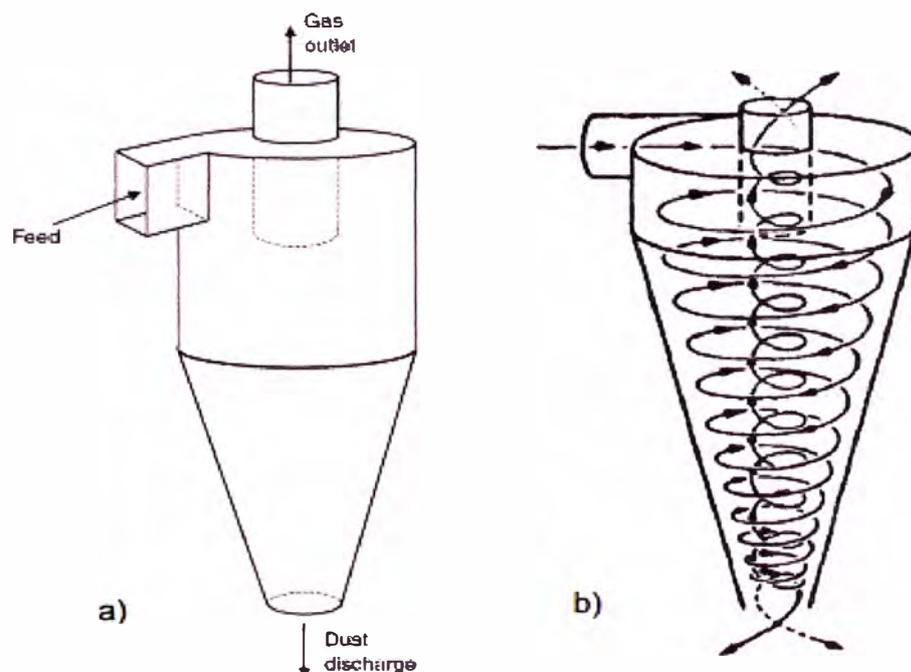


Fig. 2.2: a) Vista exterior de un ciclón típico. b) Movimiento de sólidos y gases en el interior del ciclón.

2.2.3 Colectores de procesos húmedos

Este tipo de colectores usan agua para saturar las partículas, y así poder separarlas. Hoy en día se usan dos tipos de colectores húmedos, los sistemas de filtración húmedos que saturan las partículas llevándolas a un decantador, y precipitadores hidroeléctricos que saturan las partículas cargadas y pasan la solución entre placas de metal con cargas opuestas. Los colectores húmedos son relativamente ineficaces y crean lodo o fango, un problema de contaminación secundaria que también debe considerarse.

Ventajas:

- Eficiencias de colección altas para rangos muy amplios de partículas. Según el tamaño de las partículas en algunos sistemas secos (Filtro de mangas) se requiere la necesidad de usar ciclones gravitacionales previo al filtro final, esto no es necesario en los colectores húmedos (Lavadores de polvo).
- Debido a que la caída de presión es baja (0.7 – 4 "H₂O), el consumo de potencia es mínimo y a la vez son dispositivos baratos en comparación con los filtros de mangas.
- Hay menos limitaciones de humedad y temperatura, si se compara con los sistemas de colección secos (Filtros de manga).
- Instalación mecánica y eléctrica de menor dificultad comparada con los colectores de polvos (filtros de manga).

- Las características de nuestro diseño favorece el mantenimiento simple por la sencillez de la operación, ya que este da fácil acceso a todos los componentes del sistema.
- No requiere el uso de aire comprimido, en su lugar usa agua.

Desventajas:

- Se produce aglomeración o encostramiento en el interior del equipo.
- Las caídas de presión pueden ser altas, depende del modelo de lavador.
- Se tiene dificultad para remover las partículas del líquido lavador en el efluente (Lodo diluido o similar).

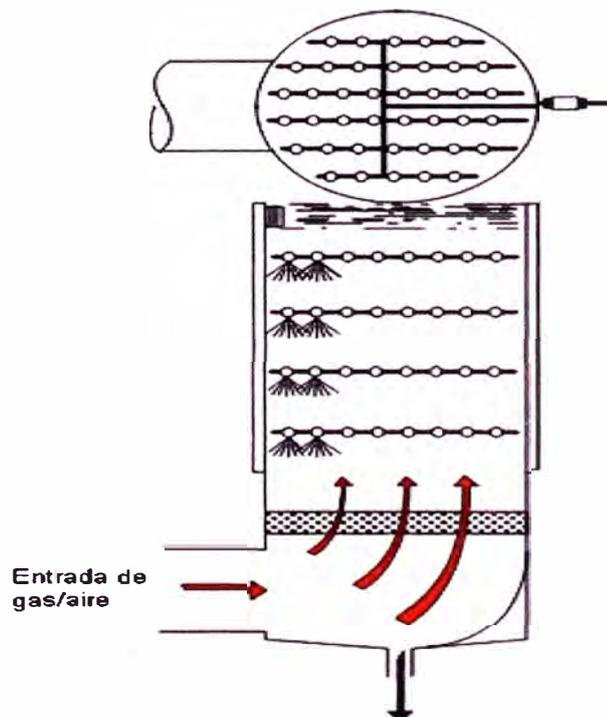


Fig. 2.3: Representación de un Colector Proceso Húmedo

2.2.4 Precipitadores Electrostáticos

En este tipo de colector, los gases cargados pasan a través del precipitador electrostático, donde las partículas se cargan eléctricamente. Las partículas acumuladas se desprenden al golpear las placas colectoras. Los gases pasan a través de una cámara con un campo eléctrico que se mantiene entre dos tipos de electrodos (de descarga y colector).

A un potencial crítico, las moléculas de gas se descomponen en iones positivos y negativos por ionización y ocurre cerca del electrodo de descarga o en el mejor de los casos en el electrodo de descarga.

En el momento del contacto de la partícula con el electrodo, pierde su carga y puede ser retirada fácilmente. Como en los colectores o filtro de mangas, los precipitadores son extremadamente eficientes y se usan por lo general en las industrias del cemento, electricidad, pulpa, papel y acero.

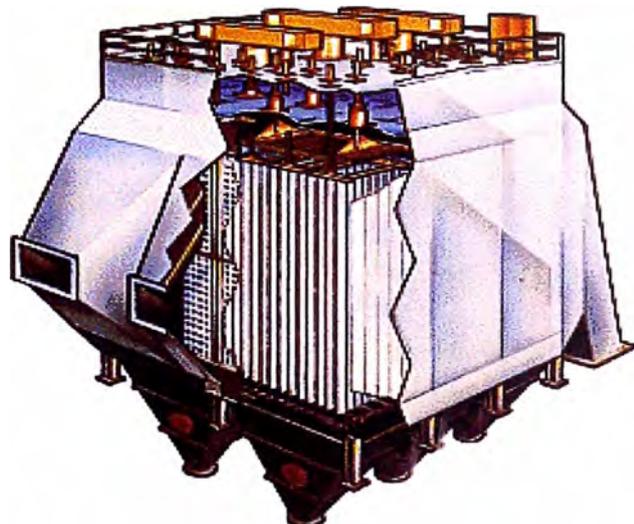


Fig. 2.4: Colector Electroestático.

2.2.5 Filtro de Mangas

En una unidad de filtro de mangas el paso de gas con concentración de partículas a lo largo de la superficie de la tela se produce radialmente, causando que la materia particulada sea recolectada en la cara de contacto de la tela y el flujo de gas limpio salga a la atmósfera; los filtros de tela pueden estar en forma de láminas, cartuchos corrugados o cilindros, siendo este último el de uso más común con un número de unidades individuales encasilladas en grupos. Generalmente a los filtros de mangas son llamados casas de bolsas (baghouse) ya que la tela está configurada en forma de bolsas.

El filtro opera cíclicamente y alterna entre las fases de filtrado (duraciones relativamente larga) y de limpieza (duraciones cortas), con cada ciclo de limpieza se remueve al menos parte de la capa de polvo atrapada en la bolsa durante la filtración y se aflojan algunas partículas que permanecen en la tela. Cuando se reinicia la filtración, la capacidad de filtrado es disminuida porque se pierde parte de la capa de polvo; por consiguiente las partículas sueltas son forzadas a ingresar a través del filtro por el flujo de gas que ingresa provocando una leve fuga de estas; a medida que se capturan más partículas la eficiencia de filtración aumenta hasta el siguiente ciclo de limpieza, la capa de polvo que se forma en la bolsa es principalmente responsable para obtener altas eficiencias tales como de 99 a 99.9% para telas nuevas.

La filtración del polvo puede ser tanto en la parte interna de la manga como en la parte externa, además existen dos tipos de limpieza:

- Limpieza en línea.-El flujo no se interrumpe al desalojar el polvo como es el caso del Pulse Jet
- Limpieza fuera de línea.-El flujo de aire se interrumpe al desalojar el polvo, como es el caso del Aire Reverso, Sacudido Mecánico y Plenum Pulse.

Ventajas:

- Alta eficiencia.
- Poco sensible a cambio del proceso.

Desventajas:

- Reposición periódica de mangas.
- Alto consumo de energía eléctrica.

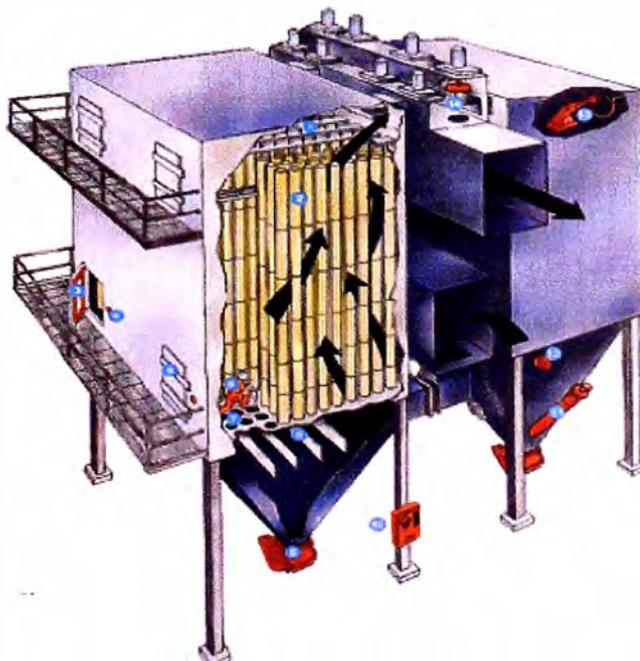


Fig. 2.5: Filtro de mangas Aire Reverso

2.2.5.1 Limpieza por sacudimiento Mecánico

El polvo se desaloja con ayuda de un sistema mecánico para dar movimiento a las mangas, donde la filtración es en el interior y una limpieza fuera de línea.

Ventajas:

- Se puede modernizar a Pulse Jet.

Desventajas:

- Poco fiable por el mecanismo.
- Baja capacidad por el área filtrante.
- Muy agresivo con las mangas.
- Alto costos de mantenimiento.

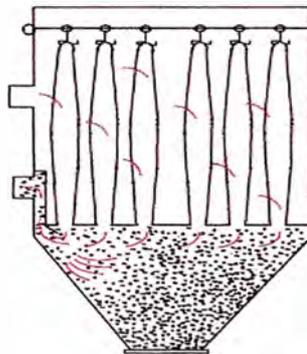


Fig. 2.6: Sistema de Limpieza por sacudido Mecánico

2.2.5.2 Limpieza por Aire Reverso

El polvo se desaloja por flexión de las mangas, cuando estas son apretadas por un suave flujo de aire en dirección contraria al aire de proceso, existen dos tipos:

- Aire Reverso con Sacudido Mecánico
- Aire Reverso con Ventilador de Colapso.

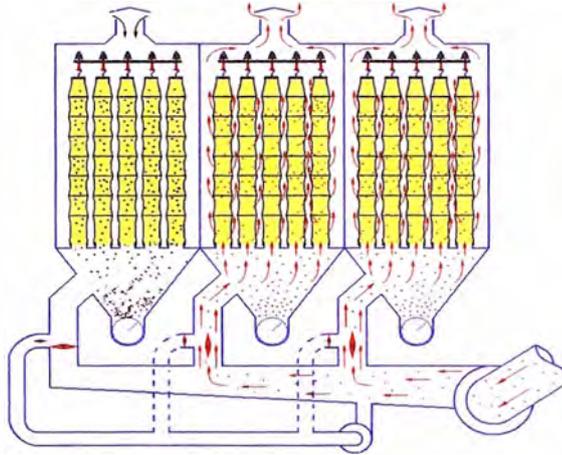


Fig. 2.7: Limpieza por aire reverso con ventilador de colapso

Ventajas:

- Sistema menos agresivo con las mangas.
- Bajos costos de mantenimiento
- Se pueden cambiar mangas en operación, ya que cada cámara es independiente.

Desventajas:

- Baja capacidad dada el área filtrante.
- Gran área física.

2.2.5.3 Limpieza plenum pulse jet

El polvo se desaloja por acción aire comprimido que actúa en una cámara, en donde la limpieza es fuera de línea.

Ventajas:

- Menos componentes que el Pulse Jet
- Mediana Capacidad por dada área filtrante(Limpieza fuera de línea)

- Limpieza poco uniforme.

Desventajas:

- Muchos problemas con la cámara.
- Abrasión localizada.
- No se puede cambiar mangas en operación, ya que la cámara sucia no es independiente.

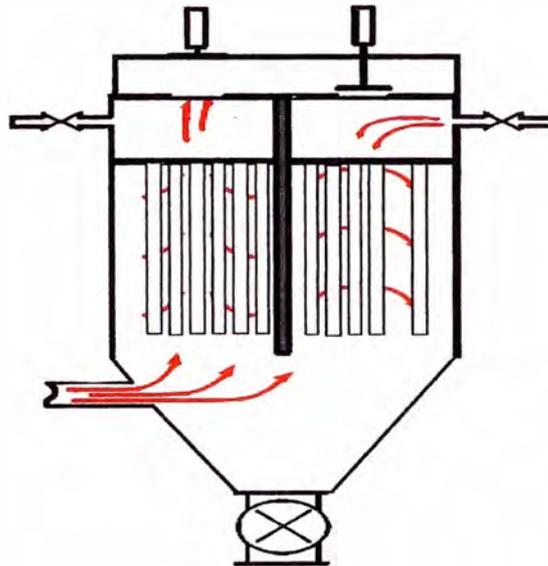


Fig. 2.8: Limpieza tipo Plenum Pulse

2.2.5.4 Limpieza Pulse Jet

Este sistema es parecido al sistema de limpieza plenum pulse, solo que la limpieza se realiza localizada a cada manga mediante un cabezal que entrega el aire a alta presión (80 a 120 psi) y sale por la flauta quien entrega el aire a cada manga.

La válvula solenoide es quien da el pulso a la válvula de diafragma para abrir y cerrar en un ciclo de limpieza con una duración de 0.1 a 0.15 segundos de aire limpio y seco.

Este tipo de filtros, permite una mejor cantidad de aire con igual área en el colector, es decir mayor relación de aire-tela. El sistema pulse-jet funciona generalmente con una relación de aire a tela de 1.5 a 1.8 m³/m²/min. Esto significa que la estructura general del filtro es de menor tamaño, lo que lo hace más económico al construirse. Las mangas filtrantes cuelgan verticalmente dentro de la unidad y se sujetan por la parte superior con abrazaderas y la parte inferior de la manga es cerrada. En estos sistemas, las mangas tienen canastillas internas de alambre.

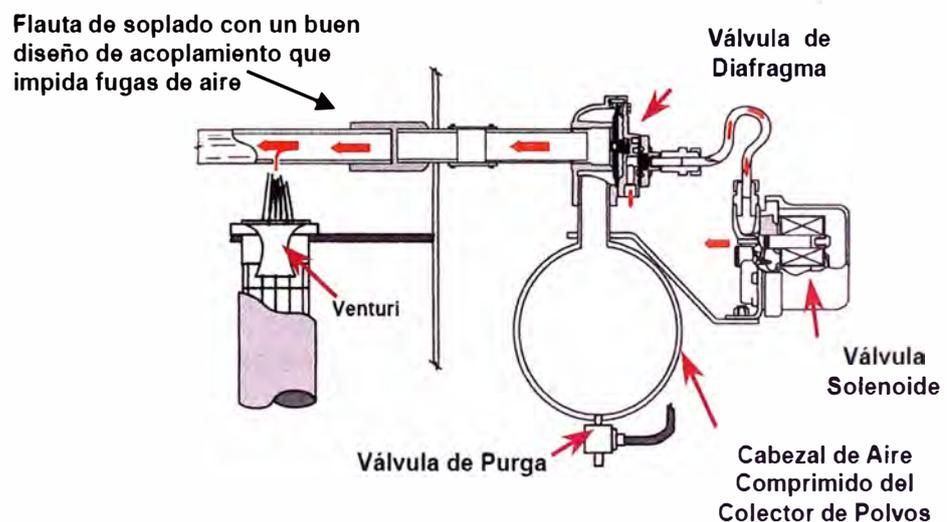


Fig. 2.9: Sistema de limpieza Pulse Jet.

La secuencia de limpieza es muy importante, ya que no se debe limpiar una manga a continuación de otra, sino el polvo que se

desaloje de una manga ensuciara la a la siguiente, tal como en muestra en la figura.

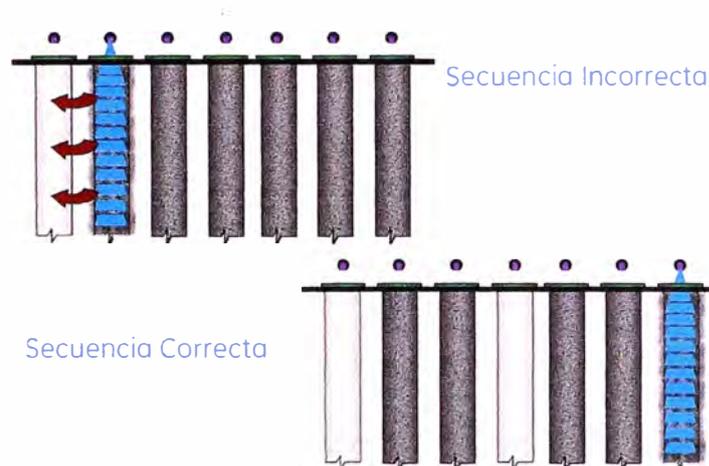


Fig. 2.10: Secuencia de limpieza correcta e incorrecta.

2.3 ELEMENTOS DE FILTRO DE MANGAS (PULSE JET)

2.3.1 Filtro de Tela (Mangas)

La manga filtrante está fabricada de unas telas especiales que cambia de acuerdo a la aplicación que más adelante detallaré, la manga es la encargada de retener el polvo ya sea en la parte interna como externa, para luego el polvo recolectado es desalojado por acción de un flujo de aire a alta presión.

2.3.2 Canastillas

Son como los huesos en el cuerpo humano, soporta a la manga, las canastillas con un diseño adecuado son una pieza fundamental para el funcionamiento óptimo de las mangas y su durabilidad, las canastillas pueden ser construidas de los siguientes materiales:

- Acero al carbono bajo.
- Acero al carbono básico galvanizado.

- Acero inoxidable Tipo 304.
- Acero inoxidable Tipo 316.
- Otros materiales especiales.

La parte superior de la canastilla puede ser de distintos tipos, las varillas pueden ser de diferente diámetro:

- Alambre calibre 12 de 0.27 mm (0.1055") de diámetro
- Alambre calibre 11 de 0.31 mm (0.1205") de diámetro.
- Alambre calibre 9 de 0.38 mm (0.148") de diámetro.

El diámetro de la canastilla pueden ser desde 10.16 cm a 18.73 cm y el número de varillas verticales pueden ser de 8, 10, 12 ó 20 y el espacio de anillos personalizado el estándar es de 10 cm a 18 cm.



Fig. 2.11: Tipos de canastillas

2.3.3 Venturis

Son componentes integrales en algunos filtros tipo Pulse Jet, su función básica es formar parte del sistema de pulsación que succiona aire ambiente para aumentar el volumen del aire comprimido del pulso. El Venturi dirige el aire comprimido hacia el centro de la manga para reducir la abrasión ocasionada por el desalineamiento de las flautas y la turbulencia del flujo del aire.



Fig. 2.12: Tipos de venturas.

2.3.4 Manifold y Red de Aire Comprimido

Si existe un fuga de aire en la red de manifold, esta provocará un caída de presión y por consecuencia un perdida de eficiencia en el sistema de limpieza. Esta falla de detecta en el manometro de la red de suministro de aire comprimido.

Haga funcionar el sistema de aire comprimido con el extractor detenido y escuche cuidadosamente si existen fugas en:

- Conexiones a válvulas de diafragma.
- Conexiones en acople rápido.

- Cañería de alimentación de aire comprimido.
- Valvula de ingreso de aire al manifold.
- Valvula de drenaje.

2.3.5 Válvula de Diafragma

También conocidas como escape rápido, son válvulas que permiten el paso de flujo de aire comprimido, para limpiar las mangas. Estas válvulas estas abiertas através de impulsos neumáticos producidos por las válvulas de solenóides.



Fig. 2.13: Valvula diafragma.

2.3.6 Economizador

El economizador está diseñado para requerir un mínimo mantenimiento. La acción del operador debiera restringirse al reemplazo de fusibles en el tablero de control.



Fig. 2.14: Economizador.

2.3.7 Cámara de Aire Limpio (Cuerpo Superior)

Situada en la parte superior del filtro de mangas, donde se aloja el sistema de limpieza automática de las mangas, el cual garantiza un caudal constante de aspiración, manteniendo la porosidad del filtro en valores preestablecidos.

También es el lugar donde el aire ya purificado es enviado al medio ambiente a través de bocas de descarga (ductos de descarga o chimeneas) con conexión de ductos. La cámara dispone de puertas de inspección en la parte superior, para mantenimiento y cambio de mangas.

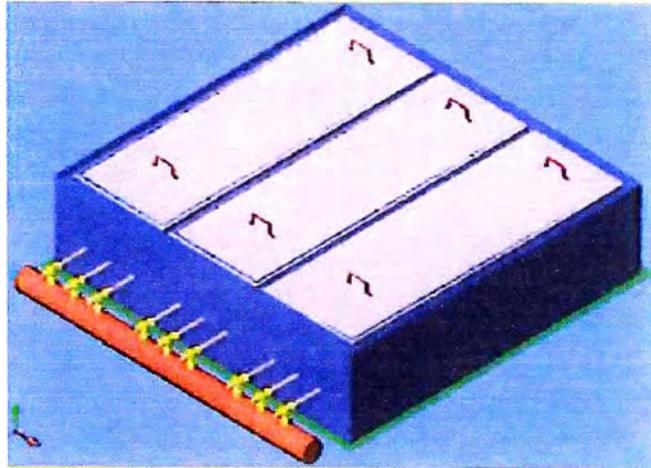


Fig. 2.15: Cámara de aire Limpio.

2.3.8 Cámaras de Aire Sucio (Cuerpo Intermedio)

Es la zona del filtro de mangas a la que entra el aire con el polvo aspirado y donde están las mangas colocadas verticalmente con sus jaulas. Las mangas retienen el polvo dejando atravesar el aire a su interior.

Separado a través de la placa espejo, es donde las mangas y canastillas realizan la limpieza.

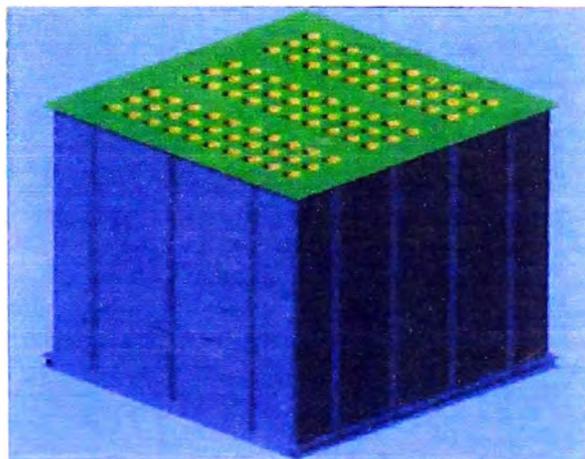


Fig. 2.16: Cámara de aire contaminado.

2.3.9 Tolva y estructura Soportante (Cuerpo Inferior)

Es la entrada de aire contaminado proveniente de la captación de polvo y descarga del polvo a través de la válvula rotativa.



Fig. 2.17: Tolva y Estructura de Soporte.

2.3.10 Sistema de Descarga

Es el lugar de depósito del material (polvo) colectado y tiene la forma piramidal. Se recomienda que las esquinas de las tolvas sean redondeadas y que el ángulo de inclinación no sea menor a 55° . A este elemento va acoplado la válvula rotativa y un transportador de tornillo sin fin directamente a la salida del mismo.

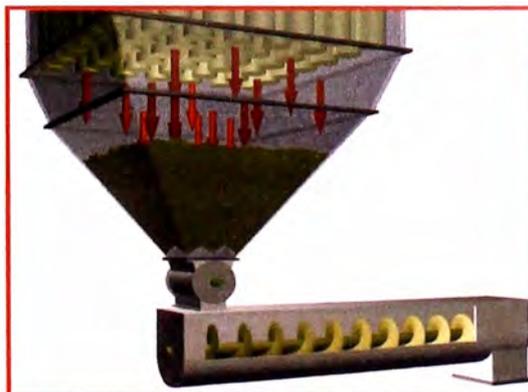


Fig. 2.18: Sistema o tolva de descarga.

2.3.11 Válvula Rotativa

Elemento mecánico compuesto de un rotor interno giratorio encerrado en un cuerpo cilíndrico con tapas laterales, que girando a una velocidad constante permite el desplazamiento interno del material colectado.

Se usa usualmente para descargar, con uniformidad de caudal, materiales en polvo, gránulos o pequeños chips, desde un sistema de aspiración o transporte neumático bloqueando las transferencias o pérdidas diferenciales de presión.

Su principal uso se da en los siguientes casos:

- **Como Alimentador:** De sistemas de transporte neumático, sistemas de carga.
- **Como Descargador:** De sistemas de aspiración, ciclones, filtros de mangas, roscas transportadoras, etc.
- **Como Dosificador:** Desde tolvas, silos y depósitos, hacia sistemas de limpieza, zarandas, molinos a martillos, etc.



Fig. 2.19: Valvula rotativa

CAPITULO 3

PARÁMETROS PARA SELECCIÓN DE UN FILTRO DE MANGAS TIPO PULSE JET

3.1 VELOCIDAD DE FILTRACIÓN

También conocida como la Relación Aire/Tela, es la velocidad de los gases a través de la tela de filtración, es utilizada para obtener la caída de presión total y se define como la razón entre el aire o gas filtrado de un metro cúbico por minuto y el medio filtrante de un metro cuadrado de área.

La relación es un factor muy importante para el diseño de un filtro de magas, ya que nos determinara la cantidad de área de tela que será necesaria para la filtración, esta relación varía de acuerdo al tipo de limpieza que se aplique.

Los fabricantes han desarrollado ecuaciones que permiten obtener la relación Aire/Tela para los filtros de mangas tipo Pulse Jet, en las cuales se relacionan la temperatura de operación, tamaño de la partícula, carga del polvo y aplicación; para lo cual se tiene la siguiente ecuación:

$$VF = 2.878 ABT^{-0.2335} L^{-0.06021} (0.7471 + 0.0853 \ln D) \quad \text{Ec. 3.1}$$

Dónde:

VF= Relación aire/tela (pies/minuto)

A= Factor del material, según tabla 4.1

B= Factor de la aplicación, según tabla 4.1

T= Temperatura en °F, su valor está entre 50 y 275.

L= Carga de polvo de entrada (gramos por pie cúbico, entre 0.05 y 100).

D=Diámetro promedio en masa de la partícula (micras, entre 3 y 100).

Para temperaturas por debajo de 50°F usar T = 50, pero espérese una exactitud disminuida; para temperaturas por encima de 275°F, úsese T = 275. Para diámetros promedio en masa de partículas menores de 3 micras, el valor de D es 0.8, y para diámetros mayores de 100 micras, D es 1.2. Para cargas de polvo menores de 0.05 gramos por pie cúbicos, úsese L = 0.05; para cargas de polvo por encima de 100 gramos por pie cúbico, úsese L = 100.

Tabla 3.1: Factor de material (A) y factor de aplicación (B)**A. Factor del Material**

15 ^b	12	10	90	6.0 ^c
Mezcla para Pastel	Asbesto	Oxido de	Fertilizante de	Carbón activado
Polvo de cartón	Polvo para Pulido	Aspirina	fosfato de amonio	Carbón negro
Cacao	Material fibroso	Carbón negro	Pastel	(molecular)
Alimentos	y celulósico	(terminado)	Diatomeas	Detergentes
Harina	Residuo del agitado	Cemento	Petroquímicos secos	Humos y otros
Grano	en fundiciones	Pigmentos	Tintas	productos
Polvo de piel	Yeso	de cerámica	Ceniza flotante	dispersados
Aserrín	Cal (hidratada)	Polvos de arcilla	Polvo metálico	directo de las
Tabaco	Perlita	y de ladrillo	Oxidos metálicos	reacciones
	Químicos del hule	Carbón	Pigmentos	Leche en polvo
	Sal	Fluorspar	metálicos y sintéticos	Jabón
	Arena	Goma natural	Plásticos	
	Polvo del soplado	Caolina	Resinas	
	de arena	Piedra caliza	Silicatos	
	Carbonato de sodio	Percloratos	Almidón Estearatos	
		Polvo de roca, y	Acido Tánico	
		de minerales		
		Silice		
		Azúcar		
		Acido Sórico		

B. Factor de la Aplicación

Ventilación de Emisiones Molestas (insidiosas) Alivio de los puntos de transferencia, 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

También:

$$VF = \frac{Q}{An} \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$An = (\pi d - e) \times n \times L \quad \text{Ec. 3.3}$$

Donde:

VF=Velocidad de filtración (m³/min/m²)An=Área neta manga (m²)Q=Caudal del ventilador (m³/min)

L=Longitud de la manga (m)

D=Diámetro de la manga (m)

E=Espesor del pliegue de la manga, costura (m).

N=Número de mangas.

$$\pi = 3.1416$$

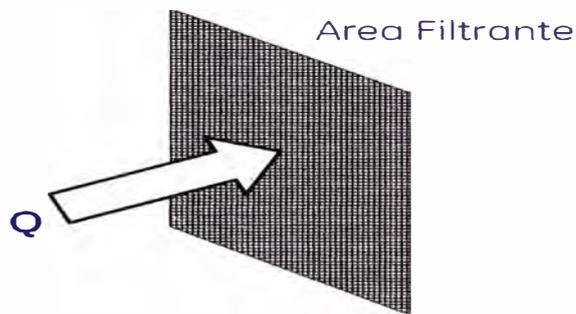


TABLA 3.2: Relación Aire / Tela teóricas (Típicas), para diferentes partículas

Polvo	Velocidad de filtración (m/min)
<i>Aluminio</i>	2.44
<i>Asbesto</i>	3.05
<i>Bauxita</i>	2.44
<i>Carbón</i>	1.53
<i>Cal</i>	2.44
<i>Cocoa</i>	3.66
<i>Cemento</i>	2.44
<i>Granos</i>	4.27
<i>Fertilizantes</i>	2.44
<i>Harina</i>	3.66
<i>Plásticos</i>	2.13
<i>Papel</i>	3.05
<i>Azúcar</i>	3.96
<i>Talco</i>	1.52

3.2 VELOCIDAD INTERSTICIAL

Es la velocidad ascendente de los gases entre la mangas, se calcula desde la base de la manga, si la velocidad es muy elevada ocasionara que las mangas se saturen demasiado rápido, la velocidad recomendada está entre 1.0 m/s y 1.8 m/s

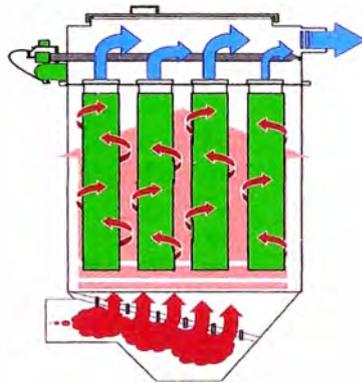


Fig 3.1: Representación del flujo de gas dentro del filtro

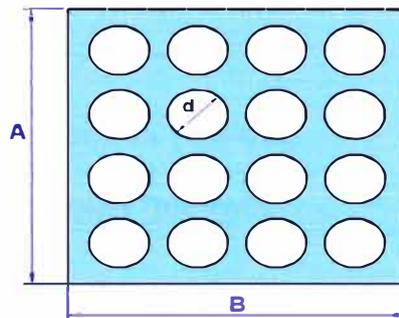


Fig. 3.2: Medidas Del espejo

$$A_f = (A \times B) - (\pi \times d^2 \times n) / 4 \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

A_f = Área neta del filtro (m^2)

A, B = Lados del espejo (m)

D =Diámetro de las mangas(m)

n =Número de mangas

$\pi = 3.1416$

$$V_i = \frac{Q}{A_f} \quad \text{Ec.3.5}$$

Donde:

V_i =Velocidad Intersticial (m/s)

Q=Caudal del ventilador (m³/s)

3.3 EFICIENCIA DE FILTRADO

Este parámetro que se usa para determinar cuan eficiente es nuestro filtro, que para nuestro caso debe encontrarse entre 99 y 99.9%

$$\eta = \frac{(C_e - C_s)}{C_e} \times 100\% \quad \text{Ec 3.6}$$

Donde:

C_e =Concentración en la entrada (mg/m³)

C_s =Concentración en la salida (mg/m³)

3.4 PRESION DIFERENCIAL

La caída de presión total a través de una casa de bolsas, durante la operación de filtrado esta dada por la caída de presión a través de la tela, a través de la capa de polvo formado en las bolsas y a través de la estructura, que se la puede expresar como:

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_p + \Delta P_s \quad \text{Ec.3.7}$$

Donde:

ΔP = Caída de presión total

ΔP_f = Caída de presión a través de la tela limpia

ΔP_p = Caída de presión a través del pastel

ΔP_s = Caída de presión a través de la estructura

La caída de presión a través de la estructura se la considera despreciable.

Para reducir la caída de presión a un valor razonable es necesario limpiar periódicamente el filtro aplicando uno de los mecanismos de limpieza que se mencionarán más adelante. 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:

$$\frac{\Delta P}{X} = \frac{V * \mu g}{K} \quad \text{Ec. 3.8}$$

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

La caída de presión total se la puede escribir en términos de la ecuación de Darcy como:

$$\Delta P = \frac{X_f * \mu_g * V}{K_f} + \frac{X_p * \mu_g * V}{K_p} \quad \text{Ec. 3.9}$$

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, 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.

El espesor de la capa de polvo crece a medida que transcurre el tiempo de operación, la masa de polvo acumulada en el tiempo t equivale al gasto volumétrico multiplicado por dicho tiempo y por la carga de polvo en la corriente de gas.

Sin embargo esta masa también equivale a la densidad de la capa sobre la superficie del filtro multiplicado por el volumen de la capa recolectada en el tiempo t. Igualando estas equivalencias se llega a la siguiente expresión:

$$\text{Masa Re colector} = (V * A) * (t) * C = \rho_L * (A * X_p)$$

Se tiene entonces una expresión para el incremento del espesor:

$$X_p = \frac{C * V * t}{\rho_L} \quad \text{Ec. 3.10}$$

Donde:

C = Carga de polvo o concentración

V = Velocidad superficial de filtración

t = Tiempo de operación

ρ_L = Densidad de la capa de polvo

Reemplazando la ecuación 3.10 en 3.9 y ordenando se obtiene:

$$\Delta P = \frac{X_f * \mu_g}{K_f} * V + \frac{\mu_g}{K_p * \rho_L} * (C * V * t) * V \quad \text{Ec. 3.11}$$

La relación entre la caída de presión total y la velocidad superficial de filtración se conoce como el arrastre a través del filtro; dividiendo la ecuación anterior para la velocidad de filtración, se obtiene:

$$S = K_1 + K_2 W \quad \text{Ec. 3.12}$$

Donde:

S = Arrastre del filtro (Pa-min / m)

K1 = (Xf * μg) / (60 * Kf) (Pa-min / m)

K2 = μg / (60 * Kp * ρL) (Pa-min-m / kg)

W = Densidad de área de polvo = C * V * t (g/m²)

El modelo lineal presentado por la ecuación 3.12 es llamado también como modelo de arrastre del filtro, la evaluación de los parámetros K1 y K2, es inapropiado debido que no se puede obtener tan fácilmente los valores de permeabilidad de la capa de polvo como de la tela limpia.

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 K2 como sigue:

$$K_2 = \frac{0.00304}{(d_{g,masa})^{1.1}} \quad \text{Ec. 3.13}$$

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 (21°C – 70°F) $\mu_g=1.81 \times 10^{-5}$ 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.

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.

Basados en la ecuación 2.9 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:

$$K_2 = \frac{0.00304}{(d_{g,masa})^{1.1}} \left(\frac{\mu_g}{\mu_{g,70^\circ F}} \right) \left(\frac{2600}{\rho_p} \right) \left(\frac{V_f}{0.0152} \right)^{0.6} \quad \text{Ec. 3.14}$$

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)

$\mu_g, 70^\circ\text{F}$ = 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.

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:

$$(PE)_{\delta W} = 6.08 * V_f * P_j^{-0.65} \quad \text{Ec. 3.15}$$

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; la presión de pulso que se utiliza en la limpieza normalmente se aplica entre 60 y 120psi.

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:

$$\Delta P = 6.08 * V_f * P_j^{-0.65} + K_2 * V_f^2 * C_e * t_f \quad \text{Ec. 3.16}$$

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.

3.4.1 Telas Filtrantes

En la actualidad hay muchos proveedores de mangas filtrantes como BHA conocida actualmente como GE Energy, Heimbach Filtration S.A, CUSA, Albany Filtration Technologies, entre otros.

Cada filtro de mangas tiene sus propias características y parámetros, por lo tanto es necesario considerar cada una de las siguientes variables antes de seleccionar el tipo de material que se adaptara mejor a nuestro sistema:

- Temperatura.
- Nivel de humedad.
- Tamaño de las partículas.
- Química de flujo de gas.
- Relación Aire Tela.
- Abrasión de las Partículas.
- Factores mecánicos, como tipo de limpieza, instalación.

Existen dos tipos de textiles, los tejidos y los no tejidos (Filtros y Spun Bond), generalmente las mangas de fieltro se utilizan en los Filtros Pulse Jet, mientras que las mangas de fieltro tejido se utilizan en los filtros de Aire Reverso o de Sacudido Mecánico.

Tabla 3.3: Características de telas de las mangas

Generic name	Fiber	Maximum temperature				Acid resistance	Alkali resistance	Flex abrasion resistance	Relative cost
		Continuous		Surges					
		°F	°C	°F	°C				
Natural fiber cellulose	Cotton	180	82	225	107	poor	excellent	average	0.4
Polyolefin	Polypropylene	190	88	200	93	excellent	excellent	good	0.5
Natural fiber protein	Wool	200	93	250	121	good	poor	average	0.8
Polyamide	Nylon	200	93	250	121	poor to fair	excellent	excellent	0.6
Acrylic	Orlon®	240	116	280	127	very good	fair	average	0.7
Polyester	Dacron®	275	135	325	163	good	fair	excellent	0.5
Aromatic polyamide	Nomex®	400	204	425	218	fair	very good	very good	2.0
Fluoro-carbon	Teflon®	450	232	500	260	excellent except poor for fluoric	excellent except poor for trifluoride, chlorine and molten alkaline metals	fair	0.7
Glass	Fiberglass® or glass	500	260	550	288	good	poor	poor to fair	1.0
Polymer	P84®	450	232	500	260	good	fair	fair	2.5
Polymer	Ryton®	375	191	450	232	excellent	excellent	good	2.5-4.0

Polyester

Material versátil que más se usa en la industria de la filtración de polvo, es muy fuerte y resistente a la abrasión, débil en presencia de humedad, pues tiende a hidrolizarse, la humedad debilita las fibras las regresa a la base que las constituye las machaca y el material pierde su fuerza.

Propiedades:

- Se adapta muy bien en mezclas con fibras naturales, contribuyendo al fácil cuidado.

- En 100% PES imitan también las naturales.
- Resistencia a la absorción muy buena.
- Producen carga electroestática.
- Poseen baja absorbencia de humedad.
- En mezclas producen mucho pilling.

3.5 SISTEMA DE SUCCIÓN

Para la generación del caudal que ingresa al filtro y por ende para la filtración, se selecciona el sistema de succión o de presión negativa que consta de un ventilador debiendo cumplir las siguientes características:

- Ventilador de succión.
- Tipo centrífugo.
- Aletas curvadas hacia atrás y opera en zona de aire limpio.

La potencia de consumo adecuada que necesita el ventilador depende de la resistencia que debe vencer o caída de presión y del caudal que debe generar como sigue:

$$P = \frac{Q \times \Delta P}{36,700 \eta} \quad \text{Ec. 3.20}$$

Dónde:

Q =Caudal (m³/h)

ΔP =Diferencial de presión (mm c.a)

P=Potencia (Kw)

η = Eficiencia

CAPÍTULO 4

CÁLCULO DE CAUDAL, DIÁMETROS Y PERDIDAS DE CARGA EN DUCTOS.

4.1 CRITERIO DE DISEÑO

Se establecen los siguientes criterios de diseño para el cálculo de las pérdidas de carga en ductos:

- Flujo adiabático e incompresible.
- No hay variación de humedad del aire.
- Criterio de isoresistencias (velocidades variables en red de ductos).

4.2 BASES DE CÁLCULO

Para el cálculo del flujo de aire de extracción requerido en cada punto de colección, se consideran los criterios expuestos en el texto "Industrial Ventilation". En los casos en que este texto no indique algún criterio de cálculo, se considera la siguiente fórmula general de Anderson:

$$Q_{IND} = 10 \times A_U \times \frac{\sqrt[3]{T \times S^2}}{P} \quad \text{Ec. 4.1}$$

Dónde:

QIND = Volumen de aire inducido, pie³/min.

AU = Área donde se induce el aire, pie².

T = Flujo de material (el cual genera el polvo a captar), ton/hr.

S = altura de caída del material, pie.

P = Tamaño promedio de partícula del material, pie.

La ecuación indicada puede ser aplicada sólo si el tamaño promedio de partícula "P" es mayor a 1/8 de pulgada.

Para el cálculo de las pérdidas de carga en los ductos de aire, se consideran las siguientes fórmulas:

$$R_e = \frac{V \times D_h}{\nu} \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$V = \frac{\left(\frac{Q}{3600}\right)}{A} \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \times \log_{10} \left[\frac{k/D_h}{3,72} + \frac{2,51}{R_e \times \sqrt{\lambda}} \right] \quad \text{Ec. 4.4}$$

$$h_f = \lambda \times \frac{L}{D_h} \times \rho \times \frac{V^2}{2} \quad \text{Ec. 4.5}$$

$$h_s = F_c \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \quad \text{Ec. 4.6}$$

Dónde:

λ = Coeficiente de fricción, adimensional.

k = Rugosidad del ducto, mm. Para acero galvanizado, k=0,15 mm. Para acero, k=0,05 mm.

Dh= Diámetro hidráulico del ducto, m.

Re= Número de Reynolds, adimensional.

V= Velocidad del aire, m/s.

μ = Viscosidad absoluta del aire, Kg/m.s

h_f = Pérdida de carga debido a fricción del aire con paredes del ducto, Pa.

L = Largo del ducto, m.

ρ = Densidad del aire, kg/m³.

h_s = Pérdida de carga por singularidad, Pa.

F_c = Factor de pérdida de carga particular de la singularidad.

D_h = D , para ductos circulares de diámetro D .

D_h = $4 \times (a \times b) / (2a+2b)$, para ductos rectangulares de lado a y b .

Q = Caudal de aire en el ducto, m³/hr.

A = Área real del ducto, m² (sección cuadrada o circular).

Para las singularidades presentes en el sistema se consideran los siguientes valores de F_c :

Tabla 4.1: Valores de F_c .

Entrada	Campana piramidal 60°	Codo suave $r/d=1,5 ; 60^\circ$	Codo suave $r/d=1,5 ; 90^\circ$	Codo mitre $r/d=0,75 ; 90^\circ$	Codo mitre $r/d=1,0 ; 90^\circ$	Codo mitre $r/d=1,5 ; 90^\circ$
0,49	0,17	0,10	0,15	0,54	0,42	0,24

Convergente 30°	Convergente 180°	Divergente 10°	Divergente 180°	Empalme 30°	Empalme 90°	Salida
0,08	0,48	0,40	1,00	0,18	1,00	1,00

4.3 DESARROLLO DE CAUDALES INDUCIDOS

4.3.1 Cámara de Atomización

Para el cálculo de caudal inducido requerido en las cámaras de atomización, se consideró la temperatura de ingreso del zinc fundido a la cámara y la temperatura a la cual el "prill" de zinc

formado cae en la correa transportadora. Se calcula entonces el calor que el aire debe extraer de la cámara.

Los siguientes son datos de entrada:

- Flujo de zinc fundido a una (1) cámara: 0.768 ton/hr.
- Temperatura entrada del zinc fundido: 485 °C.
- Temperatura de fusión del zinc: 420 °C.
- Calor específico del zinc, $C_p = 0.092 \text{ kcal/kg-}^\circ\text{C}$.
- Calor de fusión del zinc, $C_f = 24 \text{ kcal/kg}$.
- Temperatura de salida del zinc: 45 °C.

Se calcula el calor sensible requerido para enfriar el zinc fundido desde su temperatura de entrada hasta su temperatura de fusión:

$$Q_{\text{sens1}} = C_p * \Delta T = 0.092 \text{ kcal/kg-}^\circ\text{C} * (485^\circ\text{C} - 420^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{sens1}} = 6 \text{ kcal/kg.}$$

Se debe considerar el calor latente, requerido para pasar del estado líquido al estado sólido, que no es más que el calor de fusión del zinc:

$$C_{\text{lat}} = C_f = 24 \text{ kcal/kg}$$

Una vez que el zinc ya ha pasado de un estado líquido a un estado sólido, se calcula el calor requerido para bajar su temperatura desde 420°C hasta los 45°C deseados:

$$Q_{\text{sens2}} = C_p * \Delta T = 0.092 \text{ kcal/kg-}^\circ\text{C} * (420^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{sens2}} = 34.5 \text{ kcal/kg.}$$

Sumando estos tres valores, se obtiene el calor total requerido:

$$Q_{\text{tot}} = 6 + 24 + 34.5 = 64.5 \text{ kcal/kg}$$

Luego, se calcula la potencia requerida de enfriamiento del zinc, para el flujo de masa indicado (se corrigen unidades con los factores correspondientes):

$$P_{\text{zinc}} = 64.5 \text{ kcal/kg} * 0.768 \text{ ton/hr} * (1,000/3,600)*(4.186)$$

$$P_{\text{zinc}} = 57.6 \text{ kW}$$

Este calor calculado debe ser absorbido por el aire que se quiere inducir en las cámaras. Se consideran los siguientes datos de entrada:

- Temperatura ambiente: 30 °C.
- Temperatura final del aire: 56 °C.
- Calor específico del aire, $C_p = 0,241 \text{ kcal/kg-}^\circ\text{C}$.

La potencia calculada para el aire calentado por el zinc se define como:

$$P_{\text{aire}} = m * C_p * \Delta T = m * 0.241 \text{ kcal/kg-}^\circ\text{C} * (56^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

Balanceando el sistema, igualamos la potencia calórica del aire con la del zinc:

$$P_{\text{aire}} = P_{\text{zinc}} \rightarrow m * 0.241 \text{ kcal/kg-}^\circ\text{C} * (56^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})*(4.186)$$

$$P_{\text{aire}} = 57.6 \text{ kW}$$

Se obtiene el flujo de masa de aire requerido:

$$m = 3.172 \text{ kg/s} = 11,419.20 \text{ kg/hr.}$$

Considerando una densidad del aire de 1.2 kg/m³, se tiene el flujo de aire requerido en una cámara de atomización:

$$Q = 13,703.04 \text{ m}^3/\text{hr}$$

4.3.2 Correas o Fajas Transportadoras

El zinc proveniente de las cámaras de atomización hace su descarga a las dos fajas transportadoras Faja 1 y 2, en cuyo proceso se genera polvo de zinc en altas concentraciones.

Para el cálculo de caudal inducido en estos puntos, estimaremos el caudal de aire de extracción de estos según las recomendaciones de los manuales de ventilación (Anexo 1), para el cual estamos en el caso de descarga chute/faja y teniendo en cuenta que el ancho y velocidad de la faja es 24 pulg (2pies) y esta velocidad de faja es menor a 200pies/min; el caudal recomendado para cada punto de extracción de esta zona debería ser:

$$Q = 350 \text{ pie}^3/\text{min}/\text{pie} \times 2 \text{ pie} = 700 \text{ pie}^3/\text{min} = 1189 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

En la red de aire trazada, existen 09 puntos de descarga en la Faja 1, cuyos valores corresponden a los puntos: 5 ,6,7,8,9,10,11,12 y 22A y similarmente para la para la Faja 2, los puntos: 13 ,14,15,16,17,18,19,20 y 22. El caudal (1189 m³/hr) calculado, corresponde para cada punto de descarga en las fajas 1 y 2.

4.3.3 Transportadores Vibratorios

Para el cálculo del caudal inducido requerido para los 02 transportadores vibratorios H2140 y H2141, se consideró la fórmula de Anderson Ec. 4.1, obtenida del texto "Dust Control Handbook".

Los transportadores tienen un punto de descarga común, por lo que el caudal de extracción en este punto, se calcula considerando el flujo de material de ambos equipos:

$A_U = 0.2 \text{ m} \times 0.2 \text{ m} = 0.04 \text{ m}^2 = 0.43 \text{ pie}^2$. (Área donde se induce el aire, pie².)

$T = 2 \times 0.51 \text{ tph} = 1.02 \text{ Ton/h}$. (Flujo de material el cual genera el polvo a captar en ton/hr).

$S = 0.3 \text{ m} = 0.98 \text{ pie}$ (Altura de caída del material, pie.)

$P = 10 \text{ mm} = 0.033 \text{ pie}$. (Tamaño promedio de partículas del material, pie).

$$Q_{IND} = 10 \times A_U \times \frac{\sqrt[3]{T \times S^2}}{P}$$

$Q_{ind} = 129.4 \text{ pie}^3/\text{min} = 219.8 \text{ m}^3/\text{hr}$.

4.3.4 Tolvas y Contenedores de Polvo

Para el cálculo del caudal inducido requerido en las tolvas de polvo H2124, H2123 y H2159; no se consideró la fórmula de Anderson, por tratarse de polvo muy fino. Se considera un caudal de aire en cada tolva igual a 350 m³/hr, de acuerdo a la experiencia en la captación de polvo en tolvas similares.

Igualmente, para los contenedores de polvo H2145, H2146 y H2148, se considera un caudal igual a 200 m³/hr en cada uno.

4.3.5 Harneros Vibratorios (Zaranda)

Para el cálculo del caudal inducido requerido para los harneros vibratorios circulares H2109 y H2142, se considera lo indicado en el texto "Industrial Ventilation"; se utiliza este último criterio por ser teóricamente más preciso que la fórmula de Anderson, la cual es más genérica.

El criterio indica un caudal igual a 100 pie³/min por cada pie² de la sección circular del harnero (zaranda).

El harnero tiene un diámetro aproximado de 48 pulgadas (4 pies), lo que equivale a una sección de 12.56 pie².

Luego, el caudal de extracción para cada harnero debe ser:

$$Q = 100 \text{ pie}^3/\text{min}/\text{pie}^2 \times 12.56 \text{ pie}^2 = 1,256 \text{ pie}^3/\text{min} = 2,134 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

4.3.6 Elevador de Capachos (Elevador de Cangilones)

Para el cálculo del caudal inducido requerido para el elevador de capacho H2108, se consideró lo indicado en el texto "Industrial Ventilation", al igual que en los harneros, se utiliza este último criterio por ser teóricamente más preciso que la fórmula de Anderson.

El criterio (anexo 1.2) indica un caudal igual a 100 pie³/min por cada pie² de sección de la carcasa del elevador de capacho.

Las dimensiones del elevador de capacho son 0,889 x 0,298 m, lo que equivale a una sección de 0.265 m² (2.85 pie²).

Luego, el caudal de extracción para el elevador de capacho debe ser:

$$Q = 100 \text{ pie}^3/\text{min}/\text{pie}^2 \times 2.85 \text{ pie}^2 = 285 \text{ pie}^3/\text{min} = 484 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

4.3.7 Chute Desviador

Para el cálculo del caudal inducido requerido para el chute desviador, se consideró la fórmula de Anderson, Ec. 4.1:

$$A_U = 0.2 \text{ m} \times 0.2 \text{ m} = 0.04 \text{ m}^2 = 0.43 \text{ pie}^2.$$

$$T = 1.02 \text{ tph}.$$

$$S = 1.5 \text{ m} = 4.92 \text{ pie}.$$

$$P = 5 \text{ mm} = 0.0164 \text{ pie}.$$

$$Q_{IND} = 10 \times A_U \times \frac{\sqrt[3]{T \times S^2}}{P}$$

$$Q_{ind} = 763.5 \text{ pie}^3/\text{min} = 1,297.2 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

4.4 RESUMEN DE CAUDALES

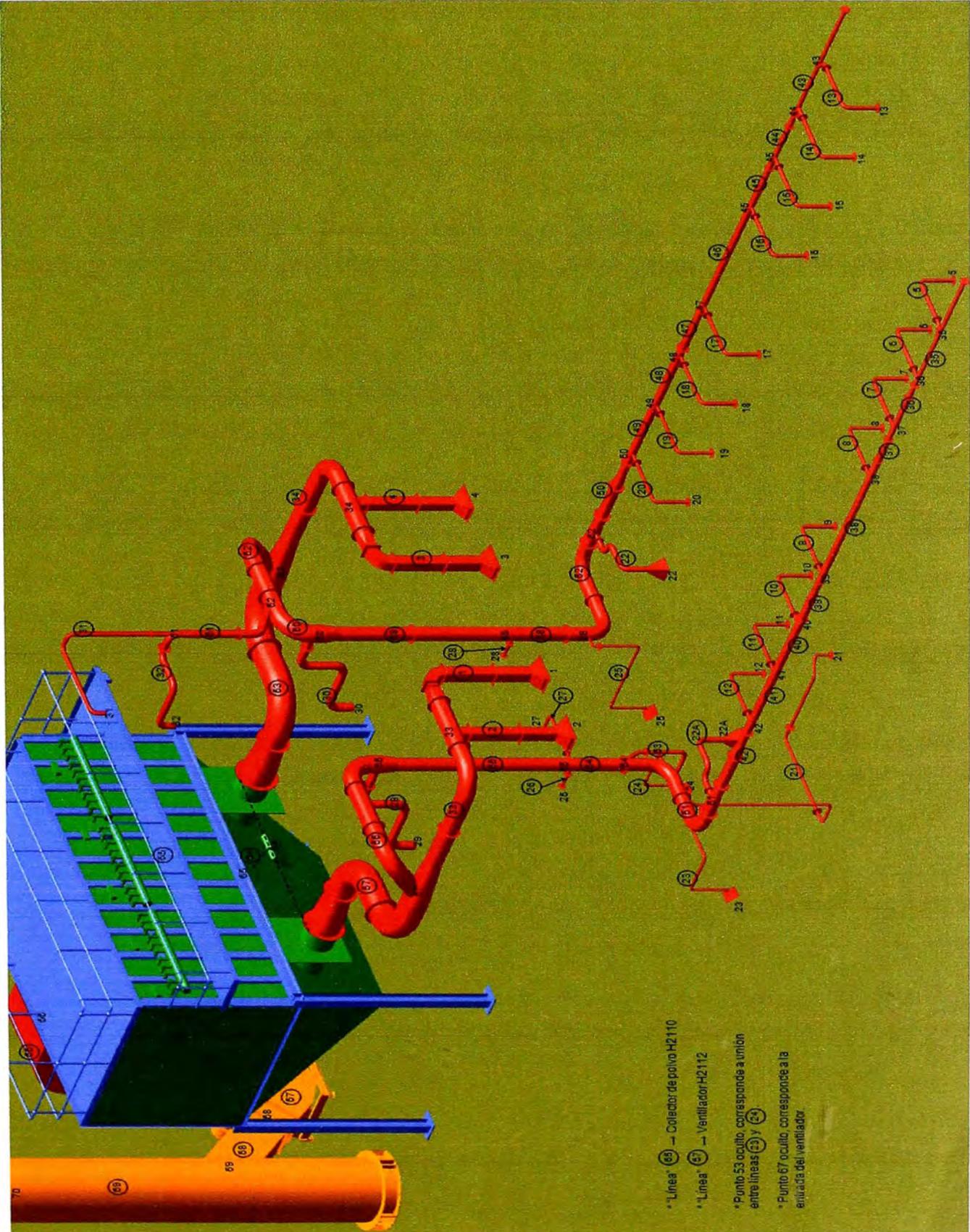
La siguiente tabla resume los caudales que se consideran para el dimensionamiento de la red de ductos de aire.

Tabla 4.2: Resumen de caudales

EQUIPO	PUNTOS DE COLECCIÓN	CAUDAL (m ³ /hr)
Cámara de atomización H2107	1 y 2	13,703.04
Cámara de atomización H2138	3 y 4	13,703.04
Correa transportadora H2139	5,6,7,8,9,10,11,12 y 22A	1189 (09 puntos en total)
Correa transportadora H2115	13,14,15,16,17,18,19,20 y 22	1189 (09 puntos en total)
Transportador vibratorio H2140 y H2141	21	219.8
Tolva de polvo H2124	26	350
Tolva de polvo H2123	27	350
Tolva de polvo H2159	28	350
Contenedor de polvo H2145	23	200
Contenedor de polvo H2146	24	200
Contenedor de polvo H2148	25	200
Harnero vibratorio H2109	29	2134
Harnero vibratorio H2142	30	2134
Elevador de capacho	31	484
Chute desviador	32	1297.2
	Total	56,577.08

4.5 TRAZADO DE LINEAS DE DUCTOS

Fig. 4.3: Trazado de las líneas



4.6 CALCULO DE DIÁMETRO DE DUCTOS Y PERDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN “hf” MEDIANTE ITERACIÓN

Una vez obtenidos los caudales de captación en cada punto, se define el trazado de las líneas así como los diámetros de los ductos, mediante una iteración de estas variables, hasta lograr balance en todos los ramales.

Diseño de ductos

El diseño de ductos se fundamenta en la mecánica de fluidos y sus principios. Para los análisis realizados para su diseño, es necesario establecer las propiedades de los fluidos. Los ductos serán fabricados en material acero galvanizado, cuyo rugosidad de ducto “K” es 0.15mm.

La velocidad en ductos es variable, por considerarse para el cálculo el criterio de isoresistencias; estas velocidades están por encima de 18m/s (velocidad óptima para evitar decantamiento de polvo en los ductos).

Para la confección de la tabla 4.3, principalmente intervienen las Ec. 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 y parametros que acontinuacion mencionaremos, para determinar las pérdidas de carga por fricción “hf”, mediante iteraciones.

Finalmente, se consideran los siguientes valores para el aire:

- Flujo adiabático e incompresible y no hay variación de humedad.
- Temperatura ambiente: 30 °C
- Temperatura final de los gases: 56 °C
- Densidad: 1.2 kg/m³
- Viscosidad absoluta: 0.000018 Kg/m.s

Línea	Puntos	Caudal Q (m3/hr.)	Rugosidad de ducto "K"	Viscosidad Absoluta μ (Kg/m.s)	Densidad de aire " ρ " kg/m3	Longitud Ducto L(m)	Velocidad V(m/s)	Diámetro Hidráulico y/o Ducto(m)	Sección y/o Diámetro en (mm)	Numero Reynolds "Re"	Coefficiente Fricción " λ "	Primer Termino	Segundo Termino	Error Absoluto	Perdida de carga "hf" Pa
1	1 a 33	5709.50	0.15	1.80E-05	1.2	4	23.0190	0.29618	200x200	6.14E+06	0.0168132	7.71214	7.71213	0.0000	72.18973
2	2 a 33	5709.50	0.15	1.80E-05	1.2	2.4	22.2505	0.30125	200x200	3.56E+06	0.0168130	7.71218	7.71218	0.0000	39.78825
3	3 a 34	5709.50	0.15	1.80E-05	1.2	4	23.0190	0.29618	200x200	6.14E+06	0.0168132	7.71214	7.71213	0.0000	72.18973
4	4 a 34	5709.50	0.15	1.80E-05	1.2	2.4	22.2505	0.30125	200x200	3.56E+06	0.0168130	7.71218	7.71218	0.0000	39.78825
5	5 a 35	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2.1	27.5150	0.12363	123.63	3.85E+06	0.0206368	6.96112	6.96113	0.0000	159.23606
6	6 a 36	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
7	7 a 37	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
8	8 a 38	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
9	9 a 39	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
10	10 a 40	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
11	11 a 41	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
12	12 a 42	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
13	13 a 43	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2.1	27.5150	0.12363	123.63	3.85E+06	0.0206367	6.96113	6.96113	0.0000	159.23567
14	14 a 44	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4515	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206345	6.96150	6.96149	0.0000	150.76348
15	15 a 45	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
16	16 a 46	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
17	17 a 47	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
18	18 a 48	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
19	19 a 49	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
20	20 a 50	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	27.4520	0.12377	123.77	3.66E+06	0.0206346	6.96149	6.96148	0.0000	150.77108
21	21 a 51	219.80	0.15	1.80E-05	1.2	8.8	23.5698	0.05743	57.43	1.38E+07	0.0251492	6.30577	6.30577	0.0000	1284.48990
22	22 a 52	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	3.5	27.6500	0.12332	123.32	6.45E+06	0.0206207	6.96383	6.96383	0.0000	268.45179
22A	22A a 51	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	3.5	27.6500	0.12332	123.32	6.45E+06	0.0206207	6.96383	6.96383	0.0000	268.45179
23	23 a 53	200.00	0.15	1.80E-05	1.2	4	19.6885	0.05994	59.94	5.25E+06	0.0248750	6.34043	6.34042	0.0000	386.08916
24	24 a 53	200.00	0.15	1.80E-05	1.2	2.3	19.5800	0.06011	60.11	3.00E+06	0.0248790	6.33992	6.33989	0.0000	218.99058
25	25 a 58	200.00	0.15	1.80E-05	1.2	3.4	21.3615	0.05754	57.54	4.84E+06	0.0251564	6.30486	6.30487	0.0000	406.94875

Tabla 4.3: Calculo de perdidas de carga por friccion "hf".

Línea	Puntos	Caudal Q (m ³ /hr.)	Rugosidad de ducto "K"	Viscosidad Absoluta μ (Kg/m.s)	Densidad de aire "ρ" kg/m ³	Longitud Ducto L(m)	Velocidad V(m/s)	Diámetro Hidráulico y/o Ducto(m)	Sección y/o Diámetro en (mm)	Numero Reynolds "Re"	Coefficiente Fricción "λ"	Primer Termino	Segundo Termino	Error Absoluto	Pérdida de carga "h _f " Pa
26	26 a 55	350.00	0.15	1.80E-05	1.2	0.8	25.6650	0.06945	69.45	1.37E+06	0.0240020	6.45470	6.45471	0.0000	109.27090
27	27 a 55	350.00	0.15	1.80E-05	1.2	2	26.3001	0.06861	68.61	3.51E+06	0.0240010	6.45484	6.45482	0.0000	290.38004
28	28 a 59	350.00	0.15	1.80E-05	1.2	0.8	25.6650	0.06945	69.45	1.37E+06	0.0240020	6.45470	6.45471	0.0000	109.27090
29	29 a 56	2134.00	0.15	1.80E-05	1.2	2.5	25.0001	0.17375	173.75	4.17E+06	0.0190110	7.25266	7.25256	0.0001	102.57702
30	30 a 60	2134.00	0.15	1.80E-05	1.2	2.5	25.0001	0.17375	173.75	4.17E+06	0.0190110	7.25266	7.25256	0.0001	102.57702
31	31 a 61	484.00	0.15	1.80E-05	1.2	4.8	24.1011	0.08428	84.28	7.71E+06	0.0227050	6.63650	6.63641	0.0001	450.69234
32	32 a 61	1297.20	0.15	1.80E-05	1.2	3.4	26.665	0.13117	131.17	6.04E+06	0.0203125	7.01646	7.01638	0.0001	224.61603
33	33 a 57	13703.04	0.15	1.80E-05	1.2	5	36.000	0.36691	366.91	1.20E+07	0.0160017	7.90527	7.90505	0.0002	169.56330
34	34 a 63	13703.04	0.15	1.80E-05	1.2	5	36.000	0.36691	366.91	1.20E+07	0.0160017	7.90527	7.90505	0.0002	169.56330
35	35 a 36	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	25.661	0.12801	128.01	2.22E+06	0.0205140	6.98192	6.98196	0.0000	82.30660
36	36 a 37	2378.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	28.000	0.17331	173.31	2.43E+06	0.0190825	7.23906	7.23905	0.0000	67.33170
37	37 a 38	3567.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	27.525	0.21409	214.09	2.39E+06	0.0181885	7.41484	7.41483	0.0000	50.20592
38	38 a 39	4756.00	0.15	1.80E-05	1.2	2.6	28.025	0.24499	244.99	4.86E+06	0.0175575	7.54690	7.54687	0.0000	87.80659
39	39 a 40	5945.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	27.565	0.27619	276.19	2.39E+06	0.0172000	7.62493	7.62490	0.0000	36.90956
40	40 a 41	7134.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	26.665	0.30761	307.61	2.31E+06	0.0168175	7.71115	7.71111	0.0000	30.32077
41	41 a 42	8323.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	26.1525	0.33550	335.50	2.27E+06	0.0165201	7.78025	7.78014	0.0001	26.26921
42	42 a 51	9512.00	0.15	1.80E-05	1.2	2.3	24.01005	0.37432	374.32	3.68E+06	0.0160510	7.89312	7.89305	0.0001	34.11337
43	43 a 44	1189.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	24.025	0.13230	132.30	2.08E+06	0.0203600	7.00827	7.00828	0.0000	69.28459
44	44 a 45	2378.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	24.05	0.18700	187.00	2.08E+06	0.0187750	7.29810	7.29791	0.0002	45.29529
45	45 a 46	3567.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	24.005	0.22925	229.25	2.08E+06	0.0179390	7.46622	7.46613	0.0001	35.17161
46	46 a 47	4756.00	0.15	1.80E-05	1.2	2.6	24.001	0.26473	264.73	4.16E+06	0.0172730	7.60880	7.60873	0.0001	58.63292
47	47 a 48	5945.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	24.000	0.29599	295.99	2.08E+06	0.0169790	7.67439	7.67432	0.0001	25.77244

Continuacion de tabla 4.3: Cálculo de pérdidas de carga por fricción "h_f".

Línea	Puntos	Caudal Q (m ³ /hr.)	Rugosidad de ducto "K"	Viscosidad Absoluta μ (Kg/m.s)	Densidad de aire " ρ " (kg/m ³)	Longitud Ducto L(m)	Velocidad V(m/s)	Diámetro Hidráulico y/o Ducto(m)	Sección y/o Diámetro en (mm)	Numero Reynolds "Re"	Coefficiente Fricción "A"	Primer Termino	Segundo Termino	Error Absoluto	Pérdida de carga "hf" Pa
48	48 a 49	7134.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	23.850	0.32526	325.26	2.07E+06	0.0166500	7.74984	7.74980	0.0000	22.71224
49	49 a 50	8323.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	23.820	0.35154	351.54	2.06E+06	0.0163870	7.81178	7.81175	0.0000	20.63028
50	50 a 52	9512.00	0.15	1.80E-05	1.2	2.3	23.680	0.37692	376.92	3.63E+06	0.0160302	7.89824	7.89816	0.0001	32.91039
51	51 a 54	10701.00	0.15	1.80E-05	1.2	3.5	23.650	0.40004	400.04	5.52E+06	0.0157725	7.96251	7.96244	0.0001	46.31079
52	52 a 58	10701.00	0.15	1.80E-05	1.2	3.5	23.567	0.40074	400.74	5.50E+06	0.0157670	7.96389	7.96380	0.0001	45.88953
3	53 a 54	400.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.5	25.665	0.07424	74.24	2.57E+06	0.0235220	6.52023	6.52009	0.0001	187.81775
54	54 a 55	11520.80	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	23.600	0.41552	415.52	2.05E+06	0.0158500	7.94301	7.94294	0.0001	16.57140
55	55 a 56	11870.80	0.15	1.80E-05	1.2	3	23.500	0.42268	422.68	4.70E+06	0.0156133	8.00300	8.00285	0.0001	36.71923
56	56 a 57	14004.80	0.15	1.80E-05	1.2	5.5	23.400	0.46008	460.08	8.58E+06	0.0152735	8.09153	8.09142	0.0001	59.98607
57	57 a 64	27707.84	0.15	1.80E-05	1.2	6	23.350	0.64783	647.83	9.34E+06	0.0142370	8.38090	8.38095	0.0000	43.13537
58	58 a 59	10901.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.3	23.410	0.40582	405.82	2.03E+06	0.0159267	7.92387	7.92385	0.0000	16.77596
59	59 a 60	11251.00	0.15	1.80E-05	1.2	3	23.652	0.41017	410.17	4.73E+06	0.0157100	7.97833	7.97821	0.0001	38.56732
60	60 a 62	13385.00	0.15	1.80E-05	1.2	1.1	23.421	0.44958	449.58	1.72E+06	0.0156710	7.98825	7.98824	0.0000	12.61949
61	61 a 62	1781.20	0.15	1.80E-05	1.2	2.8	25.100	0.15842	158.42	4.69E+06	0.0194220	7.17551	7.17553	0.0000	129.75613
62	62 a 63	15166.20	0.15	1.80E-05	1.2	3	23.421	0.47856	478.56	4.68E+06	0.0152221	8.10518	8.10513	0.0001	31.40646
63	63 a 64	28869.24	0.15	1.80E-05	1.2	6	23.32	0.66169	661.69	9.33E+06	0.0141770	8.39862	8.39859	0.0000	41.94568
64	64 a 65	56577.08	0.15	1.80E-05	1.2	0.1	23.521	0.92235	922.35	1.57E+05	0.0174690	7.56599	7.56595	0.0000	0.62869
65	65 a 66	56577.08	0.15	1.80E-05	1.2										
66	66 a 67	56577.08	0.15	1.80E-05	1.2	5	23.25	0.92771	927.71	7.75E+06	0.0133050	8.66947	8.66936	0.0001	23.25787
67	67 a 68	56577.08	0.15	1.80E-05	1.2										
68	68 a 69	56577.08	0.15	1.80E-05	1.2	2	23.25	0.92771	927.71	3.10E+06	0.0135375	8.59470	8.59473	0.0000	9.46572
69	68 a 69	56577.08	0.15	1.80E-05	1.2	14	23.000	0.93274	932.74	2.15E+07	0.0131865	8.70834	8.70820	0.0001	62.82100

Continuacion de tabla 4.3: Cálculo de pérdidas de carga por fricción "hf".

4.7 PERDIDAS DE CARGA POR SINGULARIDADES “hs”

La tabla 4.4, indica el resumen de la cantidad de singularidades presentes en el trazado de lienas que muestra la figura 4.3. En cuanto a los codos mitreados se consideran a 5 piezas y en algunos casos 3 piezas.

Tabla 4.4: Cantidad de singularidades asociados a equipos

Linea	Puntos	Equipo Asociado	Longitud Ducto (m)	Seccion en (mm)	Singularidades
1	1 a 33	Chimenea de camara de de Atomizacion H2138	4	200x200	01 entrada 01 codo mitreado r/d=0.75 a 90° (mitreado a 05 piezas)
2	2 a 33	Chimenea de camara de de Atomizacion H2138	2.4	200x200	01 entrada 01 empalme a 90°
3	3 a 34	Chimenea de camara de de Atomizacion H2107	4	200x200	01 entrada 01 codo mitreado r/d=0.75 a 90° (mitreado a 05 piezas)
4	4 a 34	Chimenea de camara de de Atomizacion H2107	2.4	200x200	01 entrada 01 empalme a 90°
5	5 a 35	Boquilla de manifold de aire de correa H2139	2.1	123.63	01 entrada 01 codo suave r/d=1.5 a 60 01 codo suave r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 30°
6	6 a 36	Boquilla de manifold de aire de correa H2139	2	123.77	01 entrada 01 codo suave r/d=1.5 a 60 01 empalme a 90°
7	7 a 37	Boquilla de manifold de aire de correa H2139	2	123.77	01 entrada 01 codo suave r/d=1.5 a 60 01 empalme a 90°
8	8 a 38	Boquilla de manifold de aire de correa H2139	2	123.77	01 entrada 01 codo suave r/d=1.5 a 60 01 empalme a 90°
9	9 a 39	Boquilla de manifold de aire de correa H2139	2	123.77	01 entrada 01 codo suave r/d=1.5 a 60 01 empalme a 90°
10	10 a 40	Boquilla de manifold de aire de correa H2139	2	123.77	01 entrada 01 codo suave r/d=1.5 a 60 01 empalme a 90°
11	11 a 41	Boquilla de manifold de aire de correa H2139	2	123.77	01 entrada 01 codo suave r/d=1.5 a 60 01 empalme a 90°
12	12 a 42	Boquilla de manifold de aire de correa H2139	2	123.77	01 entrada 01 codo suave r/d=1.5 a 60 01 empalme a 90°
13	13 a 43	Boquilla de manifold de aire de correa H2115	2.1	123.63	01 entrada 01 codo mitreado r/d=1.5 a 60° 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 30°
14	14 a 44	Boquilla de manifold de aire de correa H2115	2	123.77	01 entrada 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 90°
15	15 a 45	Boquilla de manifold de aire de correa H2115	2	123.77	01 entrada 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 90°
16	16 1 46	Boquilla de manifold de aire de correa H2115	2	123.77	01 entrada 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 90°

Continuacion de Tabla 4.4: Cantidad de singularidades asociados a equipos

Línea	Puntos	Equipo Asociado	Longitud Ducto (m)	Sección eq.(mm)	Singularidades
17	17 a 47	Boquilla de manifold de aire de correa H2115	2	123.77	01 entrada 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 90°
18	18 a 48	Boquilla de manifold de aire de correa H2115	2	123.77	01 entrada 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 90°
19	19 a 49	Boquilla de manifold de aire de correa H2115	2	123.77	01 entrada 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 90°
20	20 a 50	Boquilla de manifold de aire de correa H2115	2	123.77	01 entrada 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 90°
21	21 a 51	Ducto de aire de transportadores vibratorios H2140 y H2141	8.8	57.43	01 entrada 01 campana piramidal 60° 01 codo mitreado r/d=0.75 a 90° 01 empalme a 30°
22	22 a 52	Ducto de aire de chute correa H2139	3.5	123.32	01 entrada 01 campana piramidal 60° 01 codo mitreado r/d=0.75 a 90° (mitreado a 05 piezas) 01 empalme a 90°
22A	22A a 51	Ducto de aire de chute correa H2115	3.5	123.32	01 entrada 01 campana piramidal 60° 01 codo mitreado r/d=0.75 a 90° (mitreado a 05 piezas) 01 empalme a 90°
23	23 a 53	Ducto de aire contenedor de polvo H2145	4	59.94	01 entrada 01 campana piramidal 60° 02 codos mitreados r/d=1.5 a 90°
24	24 a 53	Ducto de aire contenedor de polvo H2146	2.3	60.11	01 entrada 01 campana piramidal 60° 01 codo mitreado r/d=0.75 a 90° (mitreado a 05 piezas)
25	25 a 58	Ducto de aire contenedor de polvo H2148	3.4	57.54	01 entrada 01 campana piramidal 60° 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 90°
26	26 a 55	Ducto de aire del tolva de polvo H2124	0.8	69.45	Una entrada Un empalme a 90°
27	27 a 55	Ducto de aire del tolva de polvo H2123	2	68.61	01 entrada 01 codo mitreado r/d=1.5 a 60° 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 empalme a 30°
28	28 a 59	Ducto de aire del tolva de polvo H2159	0.8	69.45	Una entrada Un empalme a 90°
29	29 a 56	Ducto de aire de hamero H2142	2.5	173.75	01 entrada 01 campana piramidal 60° 01 codo mitreado r/d=1.0 a 90° (mitreado 05 piezas) 01 empalme a 30°
30	30 a 60	Ducto de aire de hamero H2109	2.5	173.75	01 entrada 01 campana piramidal 60° 01 codo mitreado r/d=1.0 a 90° (mitreado 05 piezas) 01 empalme a 30°
31	31 a 61	Ducto de aire de elevador de capacho H2108	4.8	84.28	01 entrada 01 campana piramidal 60° 01 codo mitreado r/d=1.0 a 90°
32	32 a 61	Ducto de aire de chute desviador H2121	3.4	131.17	01 entrada 01 campana piramidal 60° 04 codos mitreado r/d=0.75 a 90° (mitreado a 05 piezas)
33	33 a 57	Ducto de aire de cámara de atomización H2138	5	366.91	01 codo mitreado r/d=0.75 a 90° (mitreado a 03 piezas) 01 divergente 24°(equivalente a 02 divergentes de 10°)
34	34 a 63	Ducto de aire de cámara de atomización H2107	5	366.91	01 codo mitreado r/d=0.75 a 90° (mitreado a 05 piezas) 01 divergente 24°(equivalente a 02 divergentes de 10°)
35	35 a 36	Manifold de aire de correa H2139	1.3	128.01	

Continuacion de Tabla 4.4: Cantidad de singularidades asociados a equipos

Linea	Puntos	Equipo Asociado	Longitud Ducto (m)	Seccion en (mm)	Singularidades
36	1 a 33	Manifold de aire de correa H2139	1.3	173.31	Un divergente de 10°
37	1 a 33	Manifold de aire de correa H2139	1.3	214.09	Un divergente de 10°
38	1 a 33	Manifold de aire de correa H2139	2.6	244.99	
39	1 a 33	Manifold de aire de correa H2139	1.3	276.19	Un divergente de 10°
40	1 a 33	Manifold de aire de correa H2139	1.3	307.61	
41	1 a 33	Manifold de aire de correa H2139	1.3	335.50	
42	41 a 42	Manifold de aire de correa H2139	2.3	374.32	01 divergente de 10°
43	42 a 51	Manifold de aire de correa H2115	1.3	132.30	
44	43 a 44	Manifold de aire de correa H2115	1.3	187.00	01 divergente de 10°
45	44 a 45	Manifold de aire de correa H2115	1.3	229.25	01 divergente de 10°
46	45 a 46	Manifold de aire de correa H2115	2.6	264.73	
47	46 a 47	Manifold de aire de correa H2115	1.3	295.99	01 divergente de 10°
48	47 a 48	Manifold de aire de correa H2115	1.3	325.26	
49	48 a 49	Manifold de aire de correa H2115	1.3	351.54	
50	49 a 50	Manifold de aire de correa H2115	2.3	376.92	Un divergente de 10°
51	50 a 52	Ducto de colección de aire de correa H2139 y transportadores H2140 y H2141	3.5	400.04	02 codos mitreados r/d=1.5 a 90° 01 divergente de 10°
52	50 a 52	Ducto de colección de aire de correa H2115	3.5	400.74	02 codos mitreados r/d=1.5 a 90° 01 divergente de 10°
53	1 a 33	Ducto de colección de aire de contenedores H2145 y H2146	1.5	74.24	02 codos mitreado r/d=0.75 a 90° 01 codos mitreado r/d=1.5 a 90° 01 divergentes de 10°) 01 empalme 30°
54	53 a 54	Ducto de colección de aire de contenedores H2145 y H2146, correa H2139 y transportadores H2140 y H2141	1.3	415.52	
55	54 a 55	Ducto de colección de aire de tolvas H2124 y H2123, contenedores H2124 y H2123, correa H2139 y transportadores H2140 y H2141	3	422.68	
56	1 a 33	Ducto de colección de aire de harnero H2142, tolvas H2124 y H2123, contenedores H2145 y H2146, correa H2139 y transportadores H2140 y H2141	5.5	460.08	02 codos mitreados r/d=1.5 a 90° 01 divergente de 10°. 01 empalme 30°
57	1 a 33	Ducto de colección de aire de camara de atomizacion H2138, tolvas H2124 y H2123, contenedores H2145 y H2146, correa H2139 y transportadores H2140 y H2141	6	647.83	02 codos mitreados r/d=1.5 a 90° 01 divergente de 10°. 01 empalme 30°
58	57 a 64	Ducto de colección de aire de contenedores H2148 y correa H2115	1.3	405.82	
59	58 a 59	Ducto de colección de aire de tolva H2159, contenedor H2148 y correa H2115	3	410.17	
60	50 a 52	Ducto de colección de aire harnero H2109, tolva H2159, contenedor H2148 y correa H2115	1.1	449.58	02 codos mitreados r/d=1.5 a 90° 01 divergente de 10°
61	60 a 62	Ducto de colección de aire de elevador de capacho H2108 y chute desviador H2121.	2.8	158.42	01 codo mitreado r/d=1.5 a 90°
62	1 a 33	Ducto de colección de aire de elevador de capacho H2108, chute desviador H2121, harnero H2109, tolva H2148 y correa H2115	3	478.56	02 codos mitreados r/d=1.5 a 90° 01 divergente de 10°. 01 empalme 30°
63	1 a 33	Ducto de colección de aire de camara de atomizacion H2107, elevador de capacho H2108, chute desviador H2121, harnero H2109, contenedor H2148 y correa H2115	6	661.69	02 codos mitreados r/d=1.5 a 90° 01 divergente de 10°. 01 empalme 180°
64	63 a 64	Ducto union lineas 57 y 63(no existente, simula una sola entrada al colector de polvo)	0.1	922.35	
65	64 a 65	Colector de polvo H2110			
63	1 a 33	Ducto de salida del colector del polvo H2110	5	927.71	01 codo mitreado r/d=0.75 a 90° 01 codo mitreado r/d=1.5 a 90° 01 divergente de 30°. 01 empalme 180°
67	66 a 67	Ventilador H2112			
68	67 a 68	Ducto de salida del Ventilador (ducto de descarga)	2	927.71	01 empalme de 30°
69	68 a 69	Ducto de salida del Ventilador (ducto de descarga)	14	932.74	01 salida

Línea	Densidad de aire "ρ" kg/m ³	Velocidad V(m/s)	Entrada	Campana Piram. 60°	Codo Suave r/d=1.5; 60°	Codo Suave r/d=1.5; 90°	Codo Mitre r/d=0.75; 90°	Codo Mitre r/d=1.0; 90°	Codo Mitre r/d=1.5; 90°	Transición (Converg.) 30°	Transición (Converg.) 180°	Transición (Diverg.) 10°	Transición (Diverg.) 180°	Empalme 30°	Empalme 90°	Salida	Perdida de carga "hs" Pa
1	1.2	23.0190	1				1										327.4624
2	1.2	22.2505	1												1		442.6058
3	1.2	23.0190	1				1										327.4624
4	1.2	22.2505	1												1		442.6058
5	1.2	27.5150	1		1	1								1			229.3938
6	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
7	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
8	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
9	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
10	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
11	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
12	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
13	1.2	27.5150	1		1	1								1			121.5106
14	1.2	27.4515	1			1									1		741.5275
15	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
16	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
17	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
18	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
19	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
20	1.2	27.4520	1			1									1		741.5545
21	1.2	23.5698	1	1		7								1			629.9772

Tabla 4.5: Cálculo de pérdidas de carga por singularidad "hs"

Línea	Densidad de aire "ρ" kg/m ³	Velocidad V(m/s)	Entrada	Campana Piram. 60°	Codo Suave r/d=1.5; 60°	Codo Suave r/d=1.5; 90°	Codo Mitre r/d=0.75; 90°	Codo Mitre r/d=1.0; 90°	Codo Mitre r/d=1.5; 90°	Transición (Converg.) 30°	Transición (Converg.) 180°	Transición (Diverg.) 10°	Transición (Diverg.) 180°	Empalme 30°	Empalme 90°	Salida	Pérdida de carga "hs" Pa
22	1.2	27.6500	1	1			3								1		857.7942
22A	1.2	27.6500	1	1			3								1		857.7942
23	1.2	19.6885	1	1					2								265.1437
24	1.2	19.5800	1	1			2										234.6264
25	1.2	21.3615	1	1					3						1		651.6159
26	1.2	29.6650	1												1		1056.0147
27	1.2	26.3001	1		1	1								1			381.8158
28	1.2	29.6650	1												1		1056.0147
29	1.2	25.0001	1	1				3							1		1230.0098
30	1.2	25.0001	1	1				3							1		1230.0098
31	1.2	24.1011	1	1					3								480.9546
32	1.2	26.6650	1	1			4										588.7264
33	1.2	36.0000					1					2					995.3280
34	1.2	36.0000					1					2					995.3280
35	1.2	25.6610															0.0000
36	1.2	28.0001										1					47.0403
37	1.2	27.5250										1					45.4575
38	1.2	28.0250															0.0000
39	1.2	27.5650										1					45.5898
40	1.2	26.6650															0.0000
41	1.2	26.1525															0.0000
42	1.2	24.0101										1					138.3558
43	1.2	24.0250															0.0000
44	1.2	24.0500										1					83.2900
45	1.2	24.0050										1					82.9786
46	1.2	24.0010															0.0000
47	1.2	24.0000										1					138.2400

Continuación de tabla 4.5: Cálculo de pérdidas de carga por singularidad "hs"

Línea	Densidad de aire "ρ" kg/m ³	Velocidad V(m/s)	Entrada	Campana Piram. 60°	Codo Suave r/d=1.5; 60°	Codo Suave r/d=1.5; 90°	Codo Mitre r/d=0.75; 90°	Codo Mitre r/d=1.0; 90°	Codo Mitre r/d=1.5; 90°	Transicion (Converg.) 30°	Transicion (Converg.) 180°	Transicion (Diverg.) 10°	Transicion (Diverg.) 180°	Empalme 30°	Empalme 90°	Salida	Pérdida de carga "hs" Pa
48	1.2	23.8500															0.0000
49	1.2	23.8200															0.0000
50	1.2	23.6800										1					161.4938
51	1.2	23.6500							2			1					104.0340
52	1.2	23.5670							2			1					103.3050
53	1.2	25.6650					1		1			1		1			395.2153
54	1.2	23.6000															0.0000
55	1.2	23.5000															0.0000
56	1.2	23.4000							2			1		1			157.6973
57	1.2	23.3500							2			2	1				745.8644
58	1.2	23.4100															0.0000
59	1.2	23.6520															0.0000
60	1.2	23.4210							1			1					210.6406
61	1.2	25.1000							1								90.7214
62	1.2	23.4210							1			1		1			98.7378
63	1.2	23.3200							2			2	1				743.9490
64	1.2	23.5210															0.0000
65	1.2																0.0000
66	1.2	23.2500					1		1	1	1						317.8508
67	1.2																0.0000
68	1.2	23.2500												1			58.3808
69	1.2	23.0000														1	317.4000

Continuacion de tabla 4.5: Cálculo de pérdidas de carga por singularidad "hs"

4.8 BALANCE DEL SISTEMA

En cuanto al balance de las principales líneas de aire, se observan las siguientes diferencias, según tabla 4.5.

Tabla 4.5: Balance de líneas principales

Linea	hT (Pa)	Linea	hT (Pa)
1	399.652	3	399.652
33	1164.891	34	1164.891
57	789.000	63	785.895
Total	2353.543	Total	2350.438
Diferencia(Pa)	3.105	Variacion(%)	3.4%

Linea	hT (Pa)	Linea	hT (Pa)
1	399.652	5	388.630
33	1164.891	35	82.307
		36	114.372
		37	95.663
		38	87.807
		39	82.499
		40	30.321
		41	26.269
		42	172.469
		51	150.345
		54	16.571
		55	36.719
		56	217.683
Total	1564.543	Total	1501.656
Diferencia(Pa)	62.888	Variacion(%)	4.02%

Linea	hT (Pa)	Linea	hT (Pa)
3	399.652	13	280.746
34	1164.891	43	69.285
		44	128.585
		45	118.150
		46	58.633
		47	164.012
		48	22.712
		49	20.630
		50	194.404
		52	149.195
		58	16.776
		59	38.567
		60	223.260
		62	130.144
Total	1564.543	Total	1615.101
Diferencia(Pa)	50.557	Variacion(%)	3.13%

Linea	hT (Pa)	Linea	hT (Pa)
29	1332.587	5	388.630
		35	82.307
		36	114.372
		37	95.663
		38	87.807
		39	82.499
		40	30.321
		41	26.269
		42	172.469
		51	150.345
		54	16.571
		55	36.719
Total	1332.587	Total	1283.972
Diferencia(Pa)	48.614	Variacion(%)	3.65%

Linea	hT (Pa)	Linea	hT (Pa)
30	1332.587	13	280.746
		43	69.285
		44	128.585
		45	118.150
		46	58.633
		47	164.012
		48	22.712
		49	20.630
		50	194.404
		52	149.195
		58	16.776
		59	38.567
Total	1332.587	Total	1261.696
Diferencia(Pa)	70.891	Variacion(%)	5.32%

Continuacion de tabla 4.5: Balance de líneas principales

Línea	hT (Pa)	Línea	hT (Pa)	Línea	hT (Pa)	Línea	hT (Pa)
26	1165.286	5	388.630	28	1165.286	13	280.746
		35	82.307			43	69.285
		36	114.372			44	128.585
		37	95.663			45	118.150
		38	87.807			46	58.633
		39	82.499			47	164.012
		40	30.321			48	22.712
		41	26.269			49	20.630
		42	172.469			50	194.404
		51	150.345			52	149.195
		54	16.571			58	16.776
Total	1165.286	Total	1247.253	Total	1165.286	Total	1223.129
Diferencia(Pa)	81.968	Variacion(%)	6.57%	Diferencia(Pa)	57.843	Variacion(%)	4.73%

Línea	hT (Pa)	Línea	hT (Pa)	Línea	hT (Pa)	Línea	hT (Pa)
22A	1126.246	5	388.630	22	1126.246	13	280.746
		35	82.307			43	69.285
		36	114.372			44	128.585
		37	95.663			45	118.150
		38	87.807			46	58.633
		39	82.499			47	164.012
		40	30.321			48	22.712
		41	26.269			49	20.630
		42	172.469			50	194.404
Total	1126.246	Total	1080.337	Total	1126.246	Total	1057.158
Diferencia(Pa)	45.909	Variacion(%)	4.08%	Diferencia(Pa)	69.088	Variacion(%)	6.13%

Según el trazado de líneas de ductos, junto con los cuadros de pérdidas por fricción “hf” y pérdidas por singularidades “hs”, determinaremos la caída de presión existente en toda la red de ductos.

Sumando los valores calculados para “hf” y “hs” se obtiene la carga total en el sistema de ductos; esta suma se realiza considerando las pérdidas totales de los tramos 64 al 69, más la mayor pérdida total entre los ramales existentes en el sistema (teóricamente todos los ramales deben tener pérdidas totales o caídas de presión iguales, no obstante presentan diferencias, las cuales son menores al 10%).

Tabla 4.5: Resumen de pérdidas de carga por fricción y singularidades

Línea	Perdida de carga por fricción "hf" Pa	Perdida de carga por singularidades "hs" Pa
1	72.18973	327.46236
33	169.56330	995.32800
57	43.13537	745.86438
64	0.62869	0.00000
65		
66	23.25787	317.85075
67		
68	9.46572	58.38075
69	62.82100	317.40000
Presión Parcial(Pa)	381.06168	2762.28624
Presión Total (Pa)	3143.35	

$$h_T = \Sigma h_f + \Sigma h_s = 3143.35 \text{ Pa}$$

CAPÍTULO 5

CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

5.1 CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE FILTRO DE MANGAS PULSE JET

Para poder realizar los cálculos y selección de filtro mangas pulse jet, es necesario conocer las condiciones de entrada del flujo de aire que se va a filtrar, como son caudal de entrada, concentración de partículas, temperatura del aire, diámetro de partícula representativo y el tipo de partículas que se va a colectar; estas condiciones están en función del lugar donde va a operar el filtro.

Estas condiciones de entrada son las siguientes:

Caudal de entrada = 56,577.08m³/hora.

Diámetro de partícula = 12μm

Tipo de polvo = Polvo de Zinc.

Temperatura final del aire (°C) = 56

Diseño de temperatura del aire de admisión (°C) = 5 - 60

Entrada de carga de polvo = 48,000mg/m³

Salida de la carga de polvo = 86.4mg/m³

Humedad Relativa = 30%.

Densidad aparente de polvo de zinc (t/m³) = 3.50

Tipo de material = Polvo explosivo.

Altura = 450msnm.

Determinación de la Velocidad de Filtración y Área Neta de Tela.

Para poder determinar la capacidad de filtración del equipo es necesario calcular en primer lugar la velocidad de filtración.

Para ello se procede a calcular dicha velocidad aplicando la ecuación Ec. 3.1 y la tabla 4.1, de los fabricantes norteamericanos con los siguientes parámetros necesarios respetando su sistema de unidades ya que es obtenida de forma empírica:

A = 10 (Polvo de rocas y minerales)

B = 0.9 (Transporte de aire)

T = 56°C = 132.8°F

Ce = 48g/m³ = 1.36gr/ft³

Dp = 12μm

Reemplazando valores en la Ec. 3.1:

$$V_f = 2.878ABT^{-0.2335} C_e^{-0.06021} (0.7471 + 0.0853 \ln D_p)$$

$$V_f = 2.878 * 10 * 0.9 * (132.8)^{-0.2335} (1.36)^{-0.06021} (0.7471 + 0.0853 \ln 12)$$

$$V_f = 7.787 \text{ pie} / \text{min} = 142.41 \text{ m} / \text{hora}$$

Por consiguiente, el área neta de filtración se la obtiene tomando la razón entre el caudal de entrada y la velocidad de filtración como sigue:

$$A_{NETA} = \frac{Q_e}{V_f}$$

$$A_{NETA} = \frac{56577 \cdot 08 \frac{m^3}{hora}}{142 \cdot 41 \frac{m}{hora}}$$

$$A_{NETA} = 397 m^2$$

Esta área neta determina la capacidad efectiva de filtración y la cantidad de mangas que va a tener el filtro diseñado.

Selección del medio filtrante y dimensiones de la manga.

Característica de operación:

- Temperatura de operación = 56°C.
- Temperatura de rocío = 36.7°C.
- Característica polvo de Zinc: Polvo abrasivo y explosivo.
- Tipo de limpieza = pulse – jet.

Según las características de operación y polvo de zinc, el material a seleccionar es el **polyester**, de la tabla 3.3 y el conjunto manga – canastilla que se van a utilizar son del tipo cilíndricas, debido a su mayor uso en el mercado.

La determinación del tipo de tela y su dimensión dependen de las características de operación y del sistema de limpieza que va a estar sometida y del proveedor o fabricante de quién se desee adquirir; se destacan a continuación las características que deben cumplir dichas telas en dimensiones:

$$\varnothing = 152 \text{ mm (6 pulg)}$$

$$L = 1700 \text{ mm.}$$

Luego:

$$A_{\text{manga}} = \pi \times \varnothing \times L$$

$$A_{\text{manga}} = \pi \times 0.152\text{m} \times 1.7\text{m}$$

$$A_{\text{manga}} = 0.803\text{m}^2.$$

Una vez obtenida el área de la manga individual y con el área neta de filtración se puede calcular el número total de mangas que va a operar dentro del baghouse como se indica a continuación:

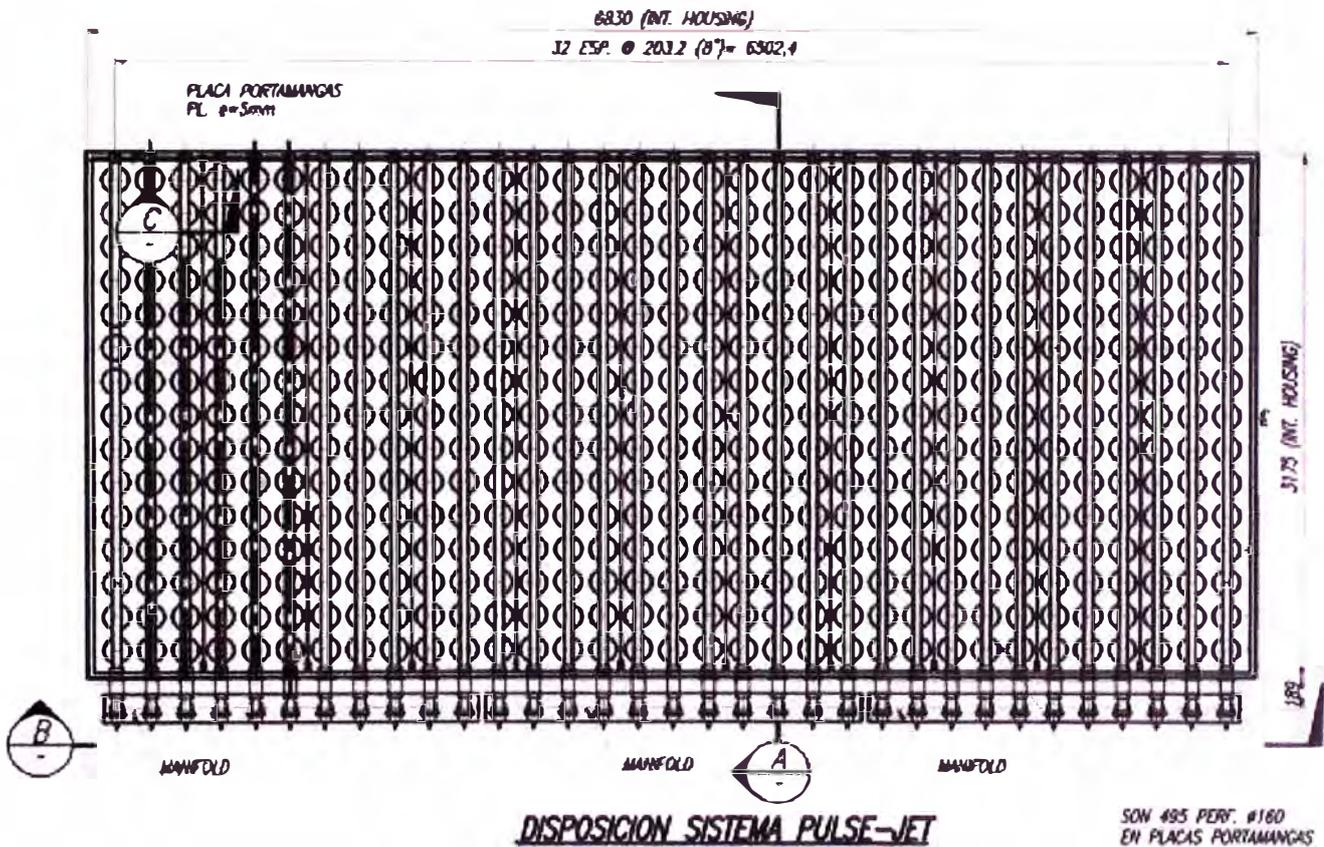
$$N_{\text{MANGAS}} = \frac{A_{\text{NETA}}}{A_{\text{MANGA}}}$$

$$N_{\text{MANGAS}} = \frac{397 \text{ m}^2}{0.803 \text{ m}^2}$$

$$N_{\text{MANGAS}} = 495 \text{ mangas}$$

Se considera que cada manga consta de su canastilla y venturi formando un conjunto llamado "manga – canastilla".

Fig. 5.1: Plano de planta del número de mangas instaladas.



Velocidad intersticial o velocidad de ascenso

Datos:

$Q = 56577.08 \text{ m}^3/\text{h}$, $A = 6,830 \text{ mm}$, $B = 3,175 \text{ mm}$, $n = 495 \text{ mangas}$.

$$A_f = (A \times B) - \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \times n \right) \quad \text{Ec. 3.4}$$

$$A_f = (6.83 \times 3.175) - \left(\frac{3.1416 \times 0.152^2}{4} \times 495 \right)$$

$$A_f = 12.70 \text{ m}^2$$

Luego:

$$V_i = \frac{56577.08 / 3600}{12.70}$$

$$V_i = 1.24 \text{ m/s.}$$

Eficiencia de Filtrado.

En este caso, para medir el material particulado que sale por la chimenea es realizado por una empresa especializada y autorizada para realizar este monitoreo, cuyos valores, medidos y entregados por el cliente son:

- Entrada de carga de polvo = 48,000mg/m³.
- Salida de la carga de polvo = 86.4mg/m³.

$$\eta = \frac{(C_e - C_s)}{C_e} \times 100\%$$

Dónde:

C_e=Concentración en la entrada (mg/m³)

C_s=Concentración en la salida (mg/m³)

$$\eta = \frac{(48000 - 86.4)}{48000} \times 100\%$$

$$\eta = 98.92\%$$

Determinación de la caída de presión del filtro de mangas

Para poder establecer la caída de presión que se desarrollaría en el filtro es necesario asumir el tiempo de filtración y determinar el valor de K₂ con la ecuación 2.10. El rango típico de K₂ es de 1.2 – 30 o 40 Pulg H₂O / ft/min-Lb/ft².

El cálculo de K₂ se muestra a continuación tomando en consideración los siguientes datos:

$$d_{g,masa} = 12 \mu\text{m} = 12 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\mu_g, 132.8^\circ\text{F} = 1.98 \times 10^{-5} \text{ Kg / m-s}$$

$\mu_g, 70^\circ\text{F}$ = Viscosidad absoluta del gas a temperatura ambiente (70°F - 21°C).

$$\mu_g, 70^\circ\text{F} = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Kg/m-s.}$$

$$\rho_p = 3500 \text{ Kg/m}^3.$$

$$V_f = 7.787 \text{ ft/min} = 0.04 \text{ m/s.}$$

Reemplazando valores en la Ec. 3.14, tenemos:

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

$$K_2 = \frac{0.00304}{(12 \times 10^{-6})^{1.1}} \left(\frac{1.95 \times 10^{-5}}{1.81 \times 10^{-5}} \right) \left(\frac{2600}{3500} \right) \left(\frac{0.04}{0.0152} \right)^{0.6}$$

$$K_2 = 1125 \text{ cmH}_2\text{O} / \text{m} / \text{s} - \text{Kg} / \text{m}^2$$

$$K_2 = 1.86 \text{ Pa} - \text{min} - \text{m} / \text{g}$$

$$K_2 = 10.98 \text{ Pulg H}_2\text{O} / \text{ft} / \text{min} - \text{Lb} / \text{ft}^2$$

Se puede observar que el resultado calculado con la ecuación anterior se encuentra dentro del rango típico de valores de K_2 .

La caída de presión de diseño calculada, debe estar dentro del rango típico entre 2 y 10 Pulg H₂O.

Los parámetros para el cálculo de la caída de presión del filtro son los siguientes:

$$C_e = 48 \frac{g}{m^3} = 1.36 \frac{gr}{ft^3} = 1.96 \times 10^{-4} \frac{Lb}{ft^3}$$

$$V_f = 7.787 \frac{ft}{min}$$

$$t_f = 30 min \quad (\text{Asumido})$$

$$P_j = 110 psi \quad (\text{Según válvula solenoide seleccionada})$$

$$K_2 = 10.98 \frac{PulgH_2O}{min} \frac{ft}{ft^2}$$

Aplicando la ecuación 3.19 que combina el proceso de filtración con el proceso de limpieza se tiene la siguiente caída de presión:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 6.08 * V_f * P_j^{-0.65} + K_2 * V_f^2 * C_e * t_f \\ \Delta P &= 6.08 * 7.787 * 110^{-0.65} + 10.98 * 7.787^2 * 1.96 \times 10^{-4} * 30 \\ \Delta P &= 6.15 Pu lg H_2O \end{aligned}$$

$$\Delta P = 1500 Pa$$

Se aprecia que el resultado calculado con la ecuación anterior se encuentra dentro del rango típico de caída de presión, a pesar de la asunción del tiempo de filtración. Dicho valor fue corroborado en las pruebas finales, para la entrega del proyecto.

Cálculo de dimensiones del filtro de mangas pulse jet

La siguiente tabla muestra las características para seleccionar el colector de polvo y a su vez los mismos servirán para el diseño y fabricación del filtro de mangas pulse jet.

Tabla 5.1: Características de diseño del filtro de mangas pulse jet.

Caudal (m ³ /hora)	56577.08
Concentración de entrada (gr/ft ³)	1.36
Tipo de polvo	Polvo de zinc
Velocidad de filtración (ft/min)	7.787
Área neta de filtración (ft ²)	397.82
Área de cada manga (ft ²)	8.64
Tipos de tela	Poliéster
Dimensión manga - canastilla	Ø=6pulg L=1700mm
Número de mangas	495
Número de mangas a lo largo (valv. solenoides)	33
Número de mangas a lo ancho	15
Tipo y presión de trabajo de válvula solenoide.	RCA3D2T 110psi
Tipo y presión de trabajo de válvula diafragma.	RCA-40-FH 125psi
Tiempo de limpieza (ms)	100
Caída de presión total en magas (Pa)	1500
Potencia del ventilador (Hp)	150

5.2 CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE VENTILADOR

Caída de presión del sistema (resistencia total)

La caída de presión del sistema está dado por:

Las pérdidas por fricción en ductos lineales "hf".

Las pérdidas por singularidades "hs".

Caída de presión del filtro " ΔP ", esta dada según la siguiente expresión:

$$h_T = \sum h_f + \sum h_s + \Delta P$$

$$h_T = 381.06\text{Pa} + 2762.29\text{Pa} + 1500\text{Pa}$$

$$h_T = 4643.35\text{Pa}$$

$$h_T = 18.64 \text{ Pulg H}_2\text{O}$$

Factor de corrección por Altura y Temperatura.

La presión estática calculada, se ha determinado para condiciones estándar (densidad de aire = 1.2Kg/m³, Presión atmosférica = 1Atm y Temperatura = 21°C).

Los gases que circulan por toda la red de ducteria tienen temperatura de operación de 56°C (132.8F), esto quiere decir que la presión estática total, tendrá que ser corregido por temperatura. La Refinería Cajamarquilla, se encuentra a 450msnm y según Tabla 5.2:

Interpolando valores el factor de corrección es = 0.8474

Tabla 5.2: Factores de corrección por Altitud y Temperatura.

Temp. msnm	Std	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80	90	100	
0 mts	1.000	1.077	1.039	1.004	0.971	0.940	0.911	0.883	0.858	0.834	0.811	0.789	0.00 pies
100 mts	0.990	1.063	1.026	0.991	0.958	0.928	0.899	0.872	0.847	0.823	0.800	0.779	328.08 pies
200 mts	0.980	1.050	1.013	0.978	0.946	0.916	0.887	0.861	0.836	0.812	0.790	0.769	656.17 pies
300 mts	0.972	1.036	1.000	0.966	0.934	0.904	0.876	0.850	0.825	0.802	0.780	0.759	984.25 pies
400 mts	0.966	1.023	0.987	0.954	0.922	0.893	0.865	0.839	0.815	0.792	0.770	0.749	1312.34 pies
500 mts	0.960	1.018	0.982	0.949	0.917	0.888	0.861	0.835	0.810	0.788	0.766	0.745	1640.42 pies
600 mts	0.948	0.999	0.964	0.931	0.900	0.872	0.845	0.819	0.796	0.773	0.752	0.732	1968.50 pies
700 mts	0.936	0.987	0.952	0.919	0.889	0.861	0.834	0.809	0.786	0.763	0.742	0.722	2296.59 pies
800 mts	0.926	0.980	0.946	0.913	0.883	0.855	0.829	0.804	0.780	0.758	0.737	0.718	2624.67 pies
900 mts	0.918	0.964	0.930	0.898	0.869	0.841	0.815	0.791	0.768	0.746	0.725	0.706	2952.76 pies
1000 mts	0.910	0.952	0.919	0.887	0.858	0.831	0.805	0.781	0.758	0.737	0.717	0.697	3280.84 pies
1100 mts	0.902	0.941	0.908	0.877	0.848	0.821	0.796	0.772	0.749	0.728	0.708	0.689	3608.92 pies
1200 mts	0.894	0.931	0.898	0.867	0.839	0.812	0.787	0.763	0.741	0.720	0.700	0.682	3937.01 pies
1300 mts	0.885	0.920	0.888	0.857	0.829	0.803	0.778	0.755	0.733	0.712	0.692	0.674	4265.09 pies
1400 mts	0.875	0.910	0.878	0.848	0.820	0.794	0.769	0.746	0.725	0.704	0.685	0.666	4593.18 pies
1500 mts	0.865	0.900	0.868	0.838	0.811	0.785	0.761	0.738	0.717	0.696	0.677	0.659	4921.26 pies
1600 mts	0.857	0.887	0.855	0.826	0.799	0.774	0.750	0.727	0.706	0.686	0.667	0.649	5249.34 pies
1700 mts	0.849	0.874	0.843	0.814	0.787	0.762	0.739	0.716	0.696	0.676	0.657	0.640	5577.43 pies
1800 mts	0.841	0.864	0.834	0.805	0.779	0.754	0.731	0.709	0.688	0.669	0.650	0.633	5905.51 pies
1900 mts	0.833	0.855	0.825	0.797	0.771	0.746	0.723	0.701	0.681	0.662	0.644	0.626	6233.60 pies
2000 mts	0.825	0.846	0.817	0.789	0.763	0.739	0.716	0.694	0.674	0.655	0.637	0.620	6561.68 pies
2100 mts	0.817	0.838	0.808	0.781	0.755	0.731	0.708	0.687	0.667	0.648	0.630	0.614	6889.76 pies
2200 mts	0.809	0.827	0.797	0.770	0.745	0.721	0.699	0.678	0.658	0.640	0.622	0.605	7217.85 pies
2300 mts	0.800	0.814	0.786	0.759	0.734	0.711	0.689	0.668	0.649	0.630	0.613	0.596	7545.93 pies
2400 mts	0.790	0.802	0.774	0.748	0.723	0.700	0.678	0.658	0.639	0.621	0.604	0.588	7874.02 pies
2500 mts	0.780	0.793	0.765	0.739	0.715	0.692	0.671	0.651	0.632	0.614	0.597	0.581	8202.10 pies
2600 mts	0.774	0.785	0.758	0.732	0.708	0.685	0.664	0.644	0.625	0.608	0.591	0.575	8530.18 pies
2700 mts	0.768	0.774	0.747	0.721	0.698	0.675	0.655	0.635	0.616	0.599	0.583	0.567	8858.27 pies
2800 mts	0.760	0.763	0.736	0.711	0.688	0.666	0.645	0.626	0.608	0.591	0.574	0.559	9186.35 pies
2900 mts	0.750	0.753	0.726	0.702	0.678	0.657	0.637	0.617	0.600	0.583	0.567	0.551	9514.44 pies
3000 mts	0.740	0.743	0.716	0.692	0.669	0.648	0.628	0.609	0.591	0.575	0.559	0.544	9842.52 pies
3100 mts	0.733	0.734	0.708	0.684	0.661	0.640	0.620	0.602	0.584	0.568	0.552	0.537	10170.6 pies
3200 mts	0.728	0.726	0.701	0.677	0.655	0.634	0.614	0.596	0.578	0.562	0.547	0.532	10498.69 pies
3300 mts	0.721	0.719	0.694	0.670	0.648	0.627	0.608	0.590	0.573	0.556	0.541	0.527	10826.77 pies
3400 mts	0.713	0.712	0.687	0.663	0.642	0.621	0.602	0.584	0.567	0.551	0.536	0.521	11154.86 pies
3500 mts	0.705	0.705	0.680	0.657	0.635	0.615	0.596	0.578	0.561	0.545	0.530	0.516	11482.94 pies
3600 mts	0.697	0.698	0.673	0.650	0.629	0.609	0.590	0.572	0.556	0.540	0.525	0.511	11811.02 pies
3700 mts	0.689	0.691	0.667	0.644	0.623	0.603	0.584	0.567	0.550	0.535	0.520	0.506	12139.11 pies
3800 mts	0.682	0.685	0.660	0.638	0.617	0.597	0.579	0.561	0.545	0.530	0.515	0.501	12467.19 pies
3900 mts	0.676	0.678	0.654	0.632	0.611	0.592	0.573	0.556	0.540	0.525	0.510	0.497	12795.28 pies
4000 mts	0.670	0.672	0.648	0.626	0.605	0.586	0.568	0.551	0.535	0.520	0.505	0.492	13123.36 pies
4100 mts	0.662	0.666	0.642	0.620	0.600	0.581	0.563	0.546	0.530	0.515	0.501	0.487	13451.44 pies
4200 mts	0.654	0.659	0.636	0.614	0.594	0.575	0.557	0.541	0.525	0.510	0.496	0.483	13779.53 pies
4300 mts	0.647	0.653	0.630	0.609	0.589	0.570	0.552	0.536	0.520	0.505	0.492	0.478	14107.61 pies
4400 mts	0.641	0.647	0.624	0.603	0.583	0.565	0.547	0.531	0.515	0.501	0.487	0.474	14435.7 pies
4500 mts	0.635	0.641	0.619	0.598	0.578	0.560	0.542	0.526	0.511	0.496	0.483	0.470	14763.78 pies
4600 mts	0.629	0.636	0.613	0.592	0.573	0.555	0.538	0.521	0.506	0.492	0.478	0.466	15091.86 pies
4700 mts	0.623	0.630	0.608	0.587	0.568	0.550	0.533	0.517	0.502	0.488	0.474	0.462	15419.95 pies
4800 mts	0.617	0.625	0.603	0.582	0.563	0.545	0.528	0.512	0.497	0.483	0.470	0.457	15748.03 pies
4900 mts	0.611	0.619	0.597	0.577	0.558	0.540	0.524	0.508	0.493	0.479	0.466	0.454	16076.12 pies
5000 mts	0.605	0.614	0.592	0.572	0.553	0.536	0.519	0.504	0.489	0.475	0.462	0.450	16404.2 pies
	Std	32°F	50°F	68°F	86°F	104°F	122°F	140°F	158°F	176°F	194°F	212°F	Temp.

Determinación de la Potencia del Ventilador.

La potencia de consumo adecuada que necesita el ventilador depende de la resistencia que debe vencer por la caída de presión del sistema y del caudal que debe generar.

Dicha potencia será calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Pot = \frac{Q_e * \Delta P}{6356 * \eta}$$

Dónde:

Pot = Potencia del ventilador (Hp)

Qe = 33300 ft³/min

ΔP = 18.64 Pulg H₂O

η = Eficiencia del ventilador = 0.7

Aplicando dicha ecuación se tiene:

$$Pot = \frac{33300 * 18.64}{6356 * 0.7} Hp$$

$$Pot = 139.51 Hp$$

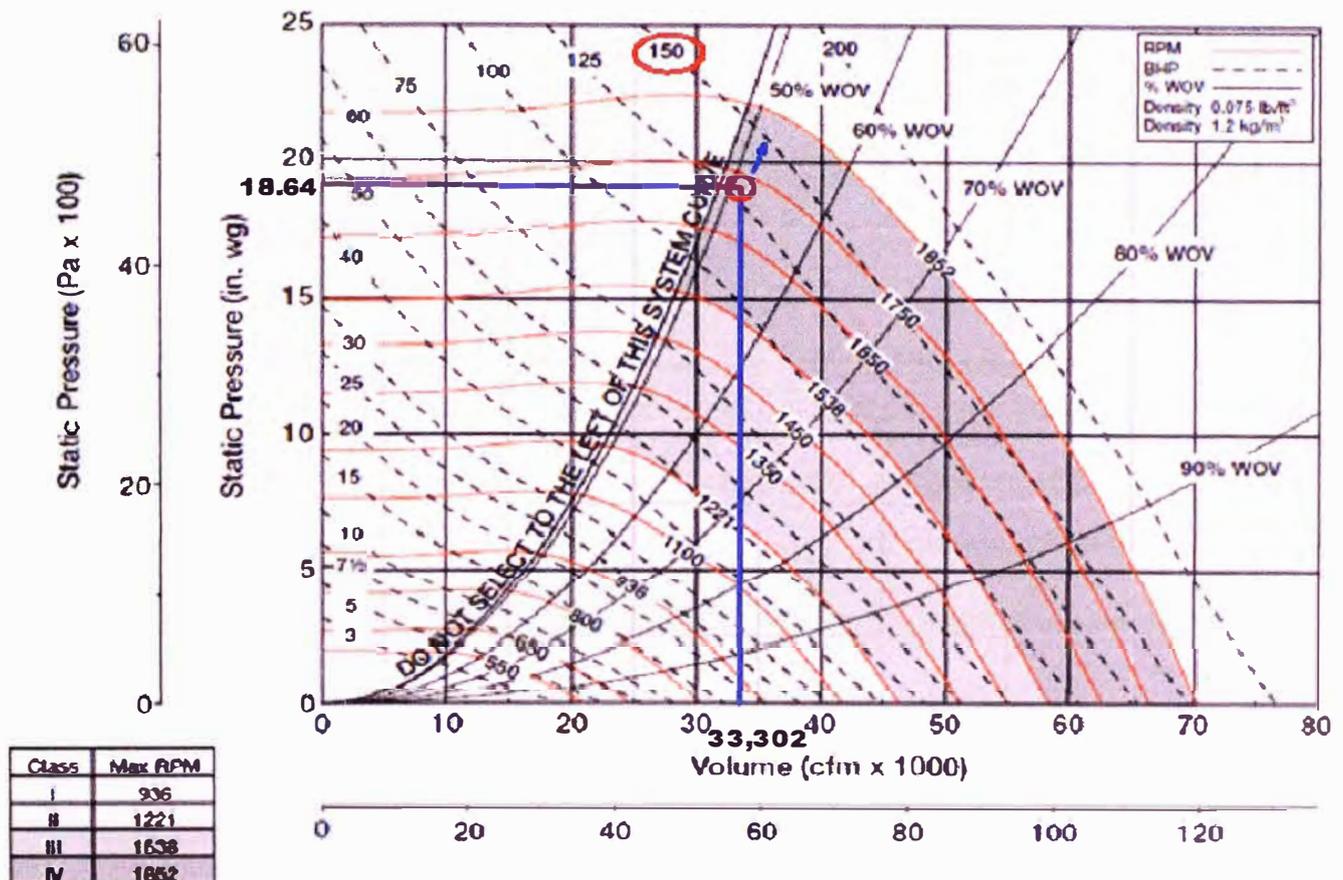
Selección de extractor centrifugo.

Serán construidos íntegramente en plancha de acero estructural, completamente soldado, con bridas a la succión y descarga, todo el sistema será ajustado y balanceado en taller.

El impelente (impulsor) tendrá aletas curvadas hacia atrás, de alta eficiencia ($\eta=0.70$), balanceadas estática y dinámicamente en taller, según ANSI/AMCA 204-96 y Calidad de Balanceo ISO1940G2.5.

Para evitar el desbalance del equipo y transmisión de vibración en soporte base, se instalarán tacones (jebes) antivibratorios.

Fig. 5.2: Curva Presion vs Caudal



Para el grafico, las condiciones de operación a condiciones estándar (densidad de aire = 1.2Kg/m³, Presión atmosférica = 1Atm y Temperatura = 21°C), son las siguientes:

- Caudal de aire: 56577.08m³/hora (33,302cfm).
- Presión ESTAT a nivel mar y 21°C : 18.64"CA (473.5mmCA)
- Consumo Fuerza a nivel mar y 21°C: 135 HP (Interpolando la grafica anterior).

Las condiciones de operación a 450msnm y 56°C, se tendrá que corregir con el factor determinado anteriormente (0.8474):

- Caudal de aire: 56577.08m³/hora (33,302cfm).
- Presión ESTAT a 450msnm y 56°C: 0.8474x18.64"CA igual a 15.80"CA (401.32mmCA).
- Consumo Fuerza a 450msnm y 56°C: 0.8474x135 HP, igual a 115HP.

5.3 SELECCIÓN DE MOTOR ELECTRICO

La potencia (115HP) determinada para las condiciones de 450msnm y 56°C, tendrá que ser multiplicada por un factor adicional por transmisión, cuyo valor se encuentra entre 8 a 12%; debido a que en la transmisión (eje, fajas y poleas) se pierde energía y el valor asumido para el proyecto es 12%, con lo cual la nueva potencia sería 112%x115HP, igual a 129HP.

Del catálogo de la marca WEG, mostrado en el anexo 8, seleccionamos un motor eléctrico de 150HP, el cual también podemos corroborar analizando la figura 5.2, las curvas para la potencia.

El motor se ubicará en el parte exterior y será adquirido para trabajo pesado, con las siguientes características eléctricas:

- Potencia: 150HP.
- Voltaje: 220/380/440 Voltios-3fases-60Hz,
- Tipo de Protección: IP55
- RPM: 1800.
- Factor de servicio: 1.15

- Aislamiento clase: F
- Rodamientos: Para trabajo pesado.
- Marca: WEG.
- Transmisión: Fajas y Poleas.

CONCLUSIONES

1. Para el caso del caudal requerido en las cámaras de atomización se consideró un balance de energía entre el calor que debe perder el zinc fundido para formarse el “prill” de zinc, y el calor que debe absorber el aire para lograr dicho proceso. La estimación arroja resultados aceptables.
2. En cuanto a la determinación de los caudales en cada punto de extracción, se consideraron principalmente los criterios indicados en el texto “Industrial Ventilation”. En los casos en que este texto no indicaba ningún criterio, por ejemplo, en Transportadores Vibratorios y Chute desviador, se utilizó la fórmula general de Anderson, obtenida del texto “Dust Control Handbook”. Aun cuando esta fórmula es genérica, se obtuvieron valores de caudales aceptables.
3. Para determinar las pérdidas por fricción “hf” en ductos rectos, se utilizó la ecuación de Colebrook; en dicha igualdad toda la expresión del lado izquierdo fue denominada primer término y toda la expresión del lado derecho como segundo término; mediante iteración se obtuvo el valor de coeficiente de fricción “ λ ”, con un error absoluto del 0.1% en la expresión de colebrook.

4. En cuanto a los codos mitreados, éstos se consideraron en general a 5 piezas y con $r/d=1,5$. En algunos casos se consideró codo mitreado a 3 piezas con $r/d=1,0$ y $0,75$. La tabla de singularidades (figuras) que están asociados a los equipos de la tabla 4.5, en combinación la tabla 4.1, donde se indica el valor de F_c (factor de pérdida de carga particular de la singularidad) se determinaron las pérdidas de carga por sigularidades "hs".
5. De acuerdo a los cálculos realizados tabla 4.4, el sistema se encuentra balanceado (con diferencias en las líneas principales menores al 10%) y con pérdidas de carga del orden de magnitud esperado.
6. El criterio de balance de flujo de aire utilizado, es aquel donde no se usa dampers de regulación; ello para evitar la posibilidad de acumulación de material en los dämpers y evitar complicaciones en el proceso productivo.
7. El balance del sistema se realiza aplicando el método de iso-resistencias (velocidades diferentes en los ductos), esto garantiza que todos los nodos (punto de convergencia de ramales) tienen misma resistencia (caída de presión); esto se puede verificar en la tabla 4.5 el balance entre los ramales principales es aceptable y menores a 10%.
8. La caída de presión del colector de polvo, se determinó considerando la ecuación de Darcy, aplicable para flujo de fluidos a través de medios porosos; cuyo valor calculado es 1500 Pa. Éste es un valor medio entre 500 y 2000 Pa, rango típico de los colectores de polvo pulse jet.

9. Los valores de F_c para las singularidades presentes en el sistema fueron obtenidos principalmente del libro "Industrial Ventilation". En las líneas 33 y 34 se consideró una divergente de 24° , para lograr el balance del sistema. Por esta razón, en la tabla 4.1 de singularidades mostrada en la página 57, se ingresaron 2 unidades en la columna de la singularidad "Divergente 10° ", para estas dos líneas. Esto equivale, en teoría, a tener una divergente de 24° .

10. El ventilador centrífugo seleccionado tendrá una capacidad de extracción de $56577.08\text{m}^3/\text{h}$. (33302cfm) y caída de presión de 18.64 Pulg H_2O , para el cual la potencia calculada es 150HP .

RECOMENDACIONES

1. Si ocurriese una falla mecánica y/o eléctrica del extractor o filtros de mangas; esto haría que el sistema de extracción dejaría de funcionar y la producción del zinc se vería afectada negativamente. Para evitar complicaciones en la producción, es necesario instalar otro equipo similar en paralelo al existente, para que entre en operación ante cualquier situación no deseada.
2. El polvo de zinc es altamente explosivo y abrasivo, razón por el cual es importante programar un mantenimiento preventivo, para evaluar el estado de las mangas (bolsas); esto para evitar acumulación de material (formaciones de pastas o capa de zinc) en las mangas el cual aumenta la resistencia y ello podría generar chispa y como consecuencia el incendio del bag-house (casa de bolsas).
3. Es importante la participación de una empresa especializada y autorizada, para realizar el monitorio y medición del material particulado que sale por la chimenea; para controlar al rango permisible según normas internacionales, estas mediciones tendrán que realizarse periódicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- INDUSTRIAL VENTILATION, American conference of Governmental Industrial Hygienists, 22nd edition, 1995.
- DUST CONTROL HANDBOOK FOR INDUSTRIAL MINERALS MINING AND PROCESSING.
- EPA AIR POLLUTION CONTROL COST MANUAL, United States Environmental Protection Agency, Sixth Edition, January 2002.
- REGLAMENTO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA, Decreto Supremo N° 019-1997-ITINCI.
- NORMAS LEGALES EL PERUANO, Decreto Supremo 003-2002- Produce, octubre 2002

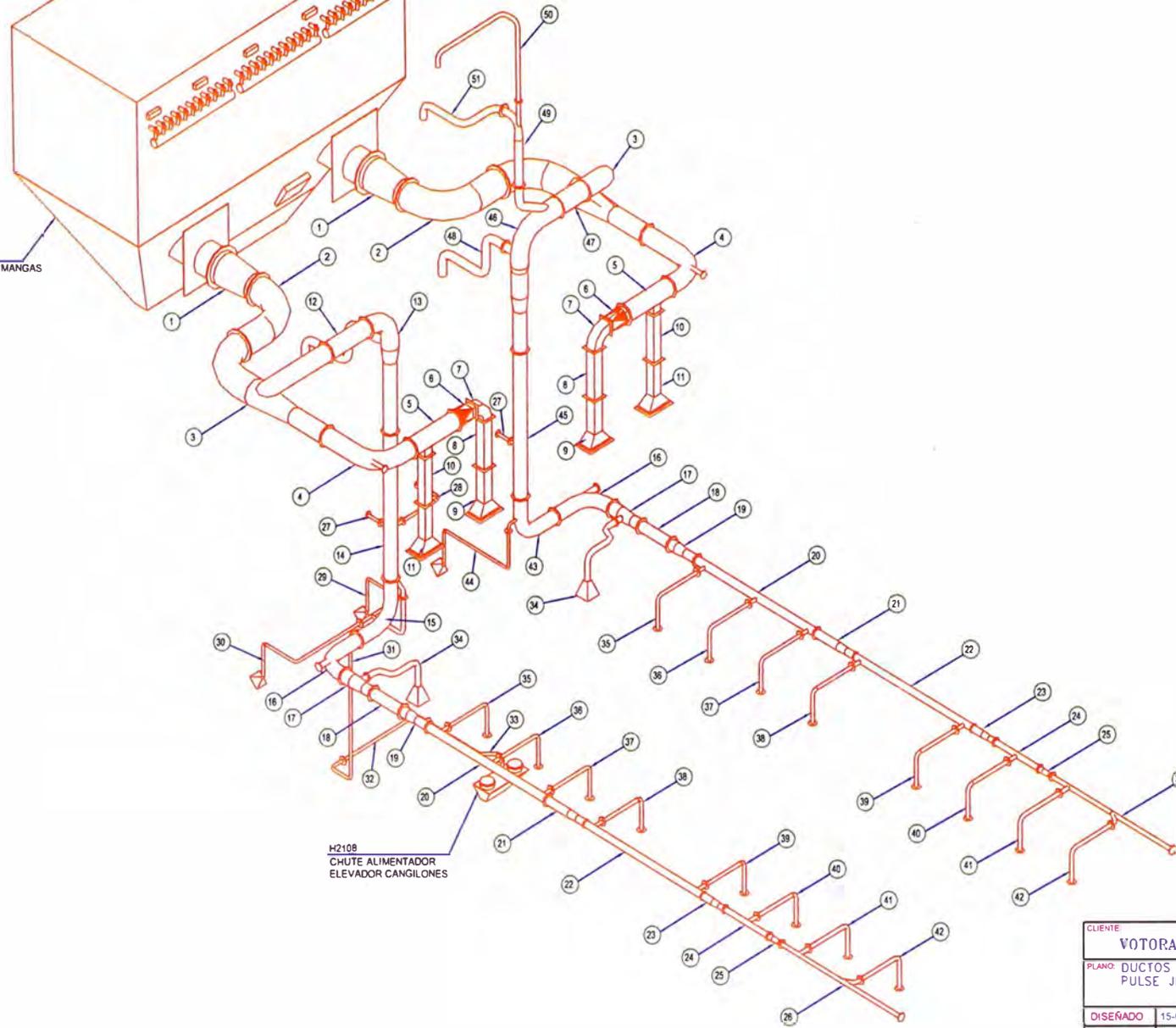
PLANOS

- Plano N° 01-A-83, Rev. 3 – Isometrico.
- Plano N° 02-A-83, Rev. 3 – Planta
- Plano N° 03-A-83, Rev. 3 – Detalles.
- Plano N° 04-A-83, Rev. 3 – Detalles.
- Plano N° 05-A-83, Rev. 3 – Detalles.
- Plano N° 06-A-83, Rev. 3 – Detalles.
- Plano N° 07-A-83, Rev. 3 – Detalles.
- Plano N° 08-A-83, Rev. 3 – Detalles.
- Plano N° 09-A-83, Rev. 3 – Detalles.
- Plano N° 10-A-83, Rev. 3 – Detalles.
- Plano N° 11-A-83, Rev. 3 – Detalles.
- Plano N° 83-40-4016 – Disposicion general de obra- secciones.

A
H2112
DUCTO DE SALIDA
VER PLANO

C
H2110
FILTRO DE MANGAS
PULSE JET

H2108
CHUTE ALIMENTADOR
ELEVADOR CANGILONES



CLIENTE			VOTORANTIM METAIS CAJAMARQUILLA S.A.	
PLANO			DUCTOS DE COLECCION DE FILTRO DE MANGAS PULSE JET.	
			DUCTOS AREAS - 83	
DISEÑADO	15-07-11	W. MORALES	ESCALA: 1:5	
DIBUJADO	15-07-11	J. LARICO	REV.:	
REVISADO	15-07-11	D. OUISPE	REV.:	
APROBADO	15-07-11	J. OVIEDO	REV.:	
				
				
				



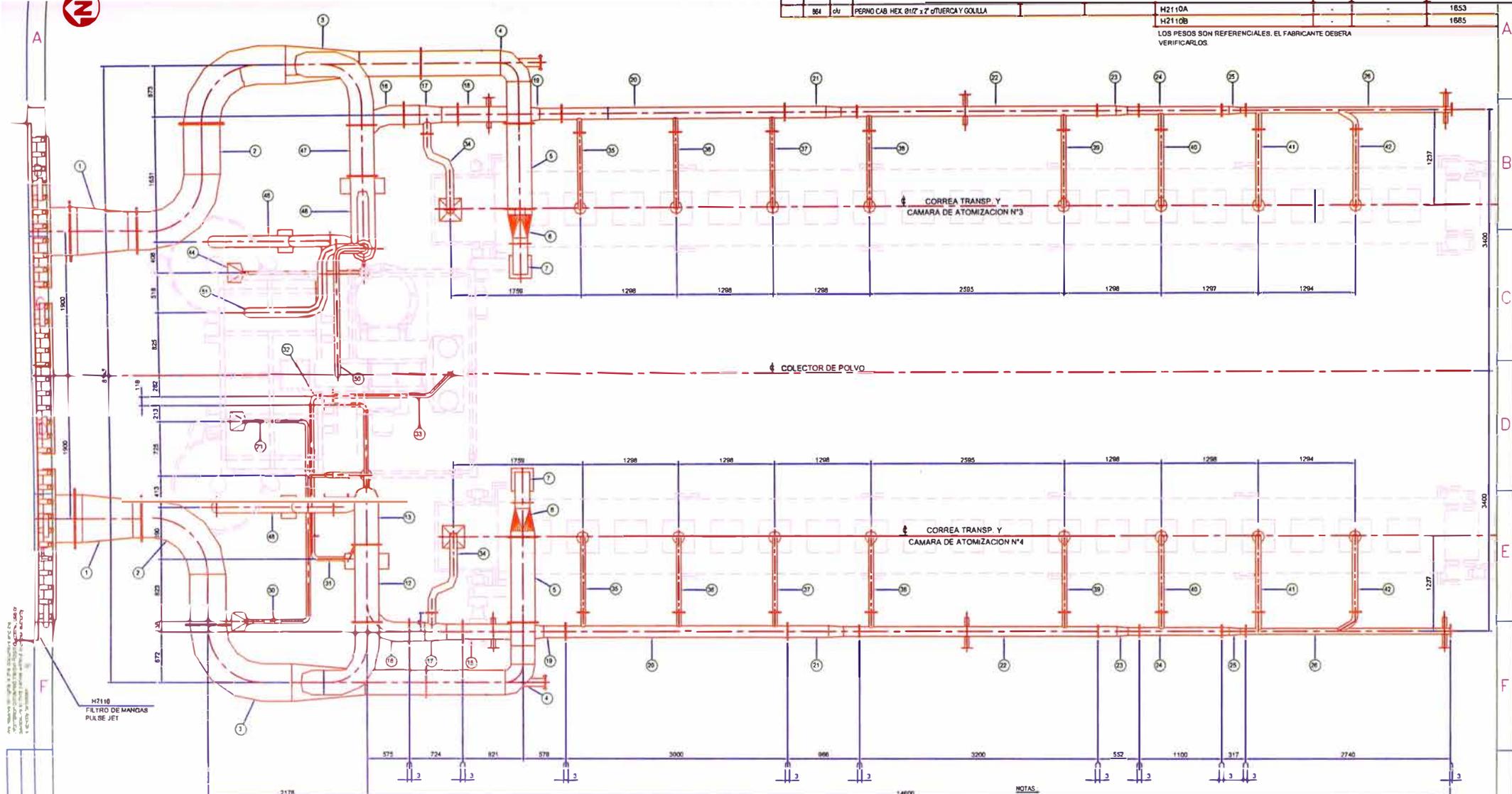
airtec sa	
AV. SAN JUAN, GRUPO 311480 BELLA OHLINGA-CALLAO	
TEL. FAX 445 5188 445 1328 448 0282	
E-mail: airtec@airtec.com.pe	
airtec s.a.	
REF. PLAZA A	REF. PLANO
REV.	REV.
01-A-83	02

FORMATO AT



ITEM	CANT.	UN.	DESCRIPCION	N° DE PLANO	OBSERVACIONES	DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT (Kg)
884	01	UN	PERNO CAB. HEX Ø12 x 2" TUERCA Y GOLLAS			H2110A		1653
						H2110B		1685

LOS PESOS SON REFERENCIALES. EL FABRICANTE DEBERA VERIFICARLOS



Legenda:
 1.- Línea roja: Ductos de colección de polvo.
 2.- Línea azul: Líneas de apoyo.
 3.- Línea verde: Líneas de conexión.
 4.- Línea negra: Líneas de referencia.

NOTAS.

- 1.- DIMENSIONES EN MILIMETROS (S.I.C)
- 2.- PARA SOPORTES DUCTOS VER PLANO N° P. 12-A-83
- 3.- MATERIAL PARA DUCTOS PLANCHA ACERO CARBONO ASTM A36 ESPESOR 3mm.
- 4.- MATERIAL PARA FLANGES PLANCHA ACERO CARBONO ASTM A36 ESPESOR 5mm.
- 5.- SOLDADURA SEGUN NORMA AWS. FILETE CONTINUO MINIMO IGUAL AL MENOR ESPESOR DE ELEMENTOS A UNIR. ELECTRODO E70xx (S.I.C)
- 6.- PARA FLANGES PERFORADOS DEBEN CONSIDERAR EMPAQUETADURA e=3mm.

CLIENTE		VOTORANTIM METAIS CAJAMARQUILLA S.A.	
PLANO: DUCTOS DE COLECCION DE FILTRO DE MANGAS PULSE JET.			
DUCTOS AREAS - 83			
DISEÑADO	15-07-11	W. MORALES	
DIBUJADO	15-07-11	J. LARICO	
REVISADO	15-07-11	D. OUISPE	
APROBADO	15-07-11	J. OVIEDO	

airtec sa

AV. HUANCA BAMBILLA 31188 HUANCA BAMBILLA - PERU
 TEL: +51 045 3142 443 189 481 2882
 E-mail: airtec@airtec.com.pe

REF. EMPLEZA A	REF. PLANO	REF.
	02-A-83	

FORMATO X1

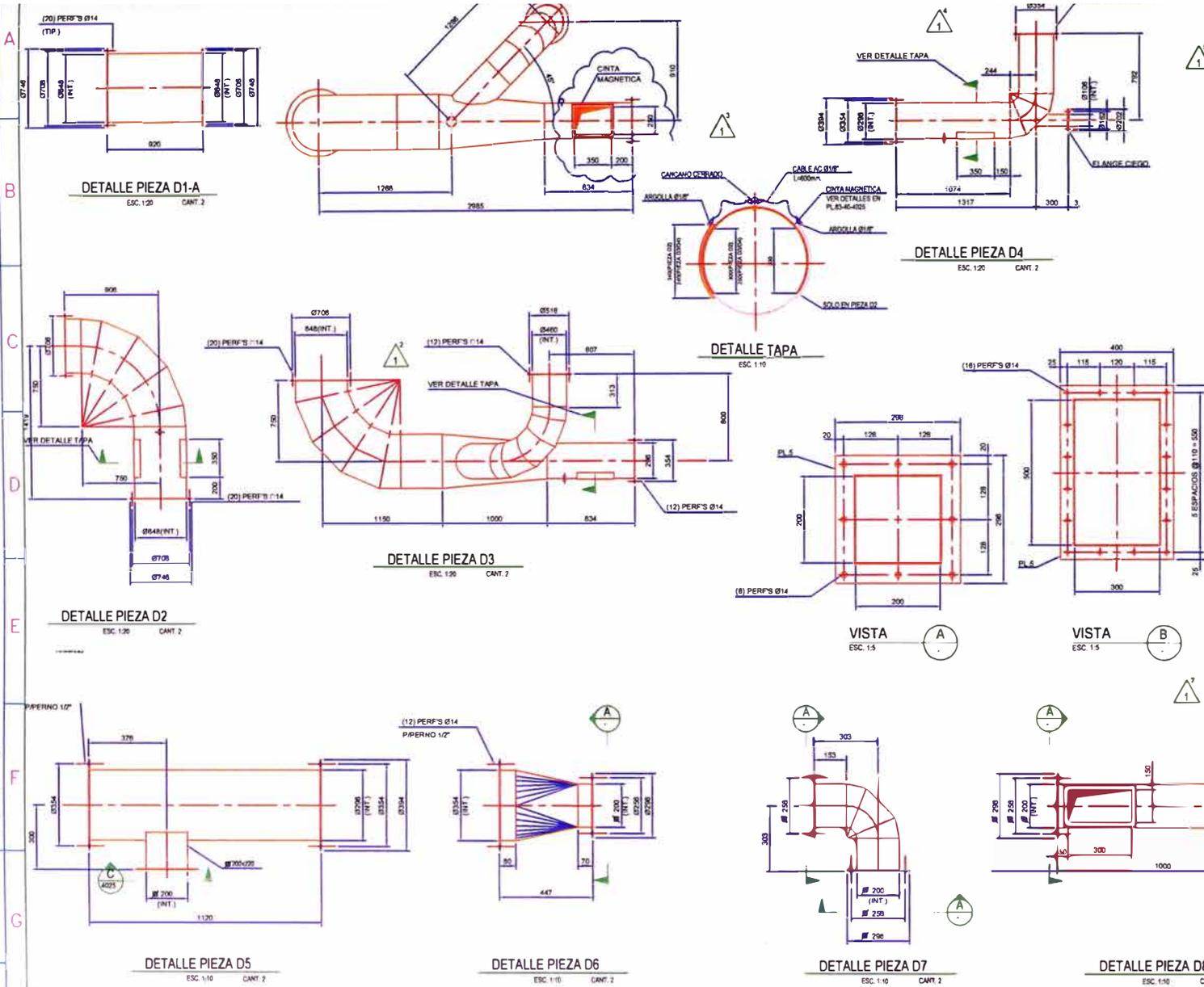
LISTADO DE COMPONENTES

PIEZA	CANT.	DESCRIPCION	PESO UNIT. (Kg)	PESO TOTAL
PIEZA D1				PESO = 73.0kg
1,83	m ²	PLANCHA e=3mm		
0,18	m ²	PLANCHA e=5mm		
PIEZA D2				PESO = 115.3kg
0,25	m ²	PLANCHA e=1mm		
3,83	m ²	PLANCHA e=3mm		
0,17	m ²	PLANCHA e=5mm		
PIEZA D3				PESO = 188.3kg
0,10	m ²	PLANCHA e=1mm		
7,28	m ²	PLANCHA e=3mm		
0,20	m ²	PLANCHA e=5mm		
PIEZA D4				PESO = 85.4kg
0,10	m ²	PLANCHA e=1mm		
2,29	m ²	PLANCHA e=3mm		
0,14	m ²	PLANCHA e=5mm		
PIEZA D5				PESO = 44.4kg
1,38	m ²	PLANCHA e=3mm		
0,18	m ²	PLANCHA e=5mm		
PIEZA D6				PESO = 18.6kg
0,40	m ²	PLANCHA e=3mm		
0,11	m ²	PLANCHA e=5mm		
PIEZA D7				PESO = 15.3kg
0,49	m ²	PLANCHA e=3mm		
0,10	m ²	PLANCHA e=5mm		
PIEZA D8				PESO = 23.2kg
0,08	m ²	PLANCHA e=1mm		
0,80	m ²	PLANCHA e=3mm		
0,10	m ²	PLANCHA e=5mm		
PIEZA D9				PESO = 26.1kg
0,06	m ²	PLANCHA e=1mm		
0,87	m ²	PLANCHA e=3mm		
0,13	m ²	PLANCHA e=5mm		
3,00	m	CINTA MAGNETICA CODIGO 3851K3 (MASTER-CARR)		

LAS CANTIDADES ANOTADAS SON UNITARIAS

PESO TOTAL			
DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT. (Kg)	PESO TOTAL
PIEZA D1 @ D9	-	-	554

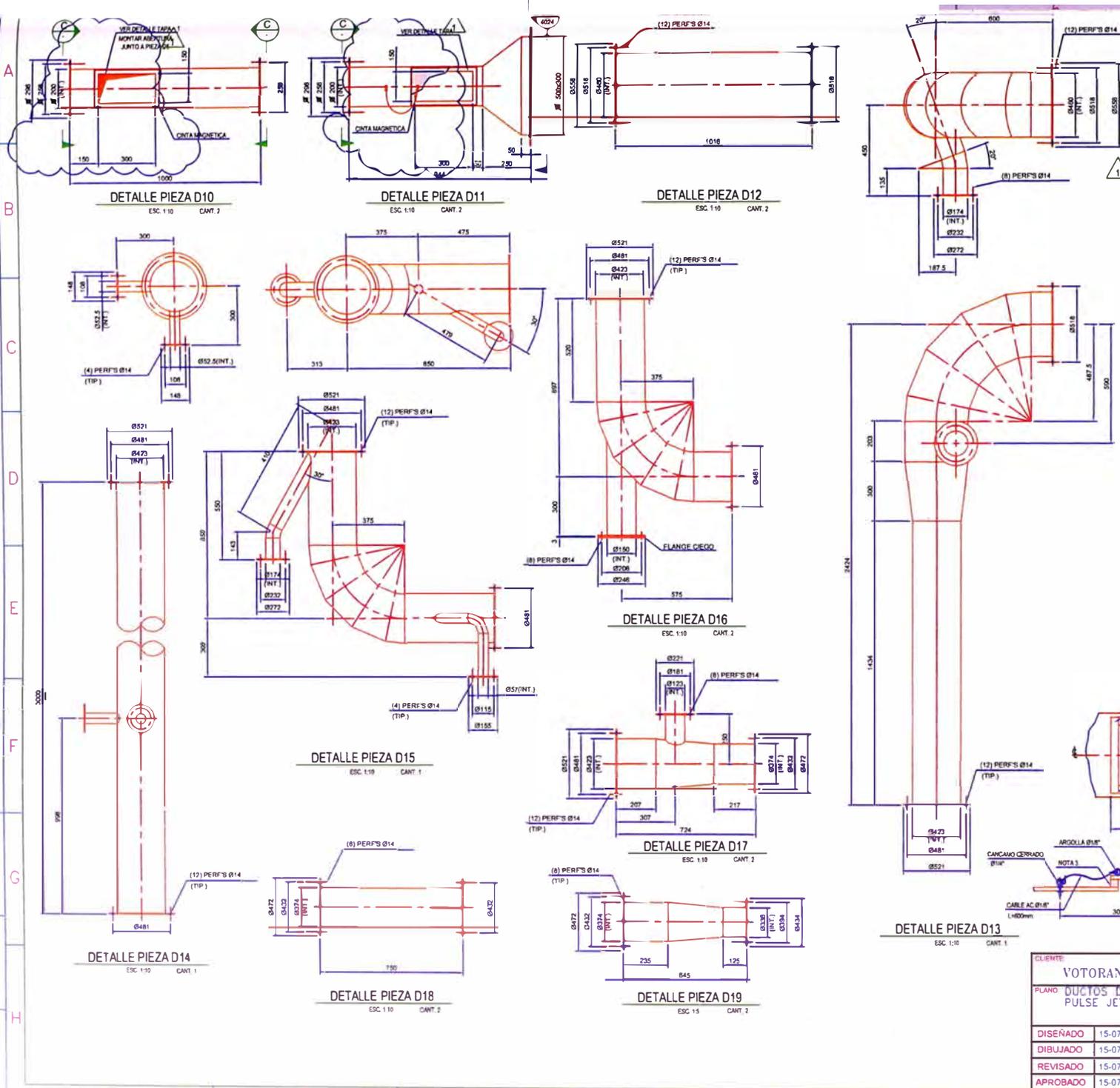
LOS PESOS SON REFERENCIALES. EL FABRICANTE DEBERA VERIFICARLOS



NOTAS:
1.- DIMENSIONES EN MILIMETROS (S I C)

CLIENTE:		VOTORANTIM METAIS CAJAMARQUILLA S.A.		
PLANO:		DUCTOS DE COLECCION DE FILTRO DE MANGAS PULSE JET.		
DISEÑADO:		15-07-11	W. MORALES	
DIBUJADO:		15-07-11	J. LARICO	
REVISADO:		15-07-11	D. OUISPE	
APROBADO:		15-07-11	J. OVIEDO	
ESCALA:		1:5		

FORMATO X

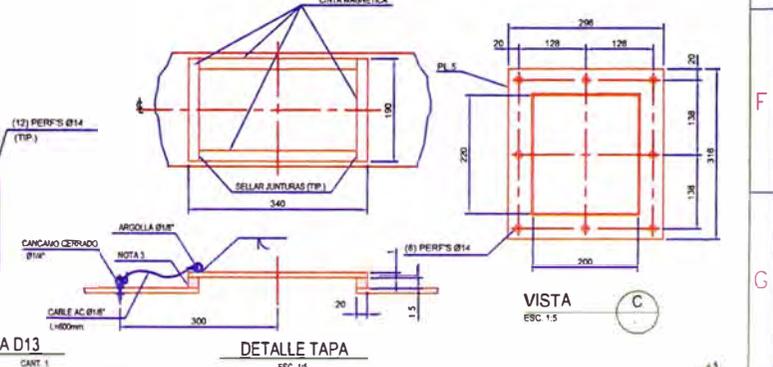


ITEM	CANT.	UN	DESCRIPCION	Nº DE PLANO	OBSERVACIONES
	0.06	m2	PIEZA D10		PESO = 24.2kg
	0.06	m2	PLANCHA e=1mm		
	0.38	m2	PLANCHA e=3mm		
	0.19	m2	PLANCHA e=5mm		
	0.06	m2	PIEZA D11		PESO = 27.2kg
	0.38	m2	PLANCHA e=3mm		
	0.19	m2	PLANCHA e=5mm		
	1.04	m2	PIEZA D12		PESO = 38.3kg
	0.11	m2	PLANCHA e=5mm		
	2.74	m2	PIEZA D13		PESO = 56.8kg
	0.14	m2	PLANCHA e=5mm		
	2.46	m2	PIEZA D14		PESO = 81.9kg
	0.12	m2	PLANCHA e=5mm		
	1.56	m2	PIEZA D15		PESO = 48.9kg
	0.13	m2	PLANCHA e=5mm		
	1.29	m2	PIEZA D16		PESO = 41.4kg
	0.12	m2	PLANCHA e=5mm		
	0.57	m2	PIEZA D17		PESO = 23.2kg
	0.11	m2	PLANCHA e=5mm		
	0.47	m2	PIEZA D18		PESO = 18.0kg
	0.07	m2	PLANCHA e=5mm		
	0.27	m2	PIEZA D19		PESO = 13.9kg
	0.05	m2	PLANCHA e=5mm		
	2.12	uf	CINTA MAGNETICA CODIGO 3851HQ (MASTER-CARR)		

LAS CANTIDADES ANOTADAS SON UNITARIAS

PESO TOTAL			
DESCRIPCION	CANT.	PESO UNIT (Kg.)	PESO TOTAL
PIEZA D10 @ D19	-	-	375

LOS PESOS SON REFERENCIALES. EL FABRICANTE DEBERA VERIFICARLOS

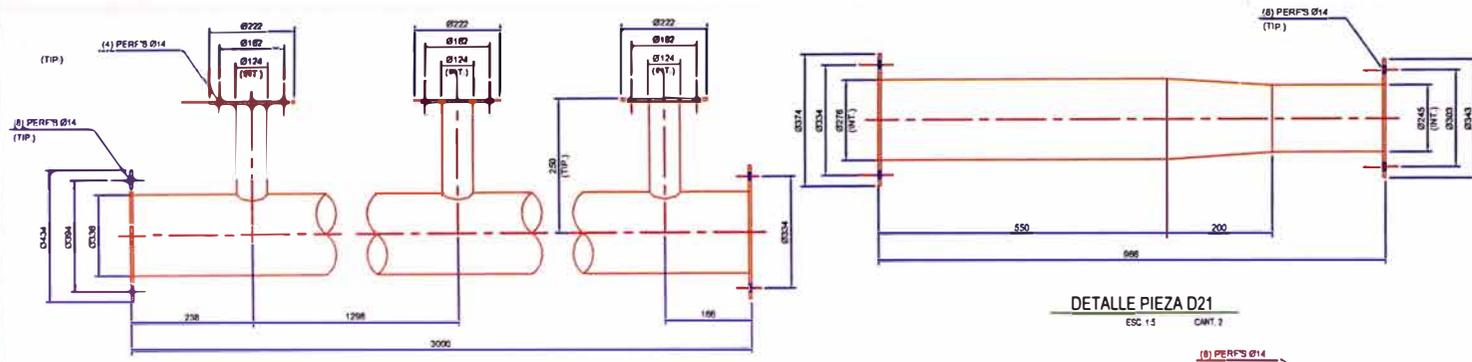


CLIENTE: VOTORANTIM METAIS CAJAMARQUILLA S.A.		PLANO: DUCTOS DE COLECCION DE FILTRO DE MANGAS PULSE JET.		DUCTOS AREAS - 83	
DISEÑADO	15-07-11	W.MORALES	ESCALA:	1:1.5	
DIBUJADO	15-07-11	J.LARICO	REEMPLAZA:		
REVISADO	15-07-11	D.QUISPE	NO. PLANO:		
APROBADO	15-07-11	J.OVIEDO	P-04-A-83		

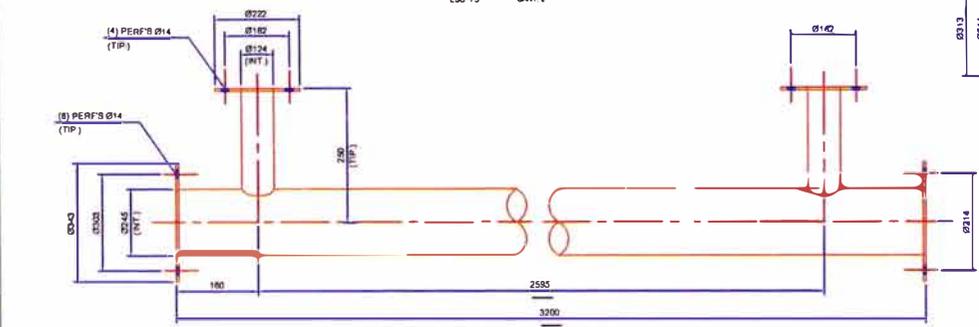


1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

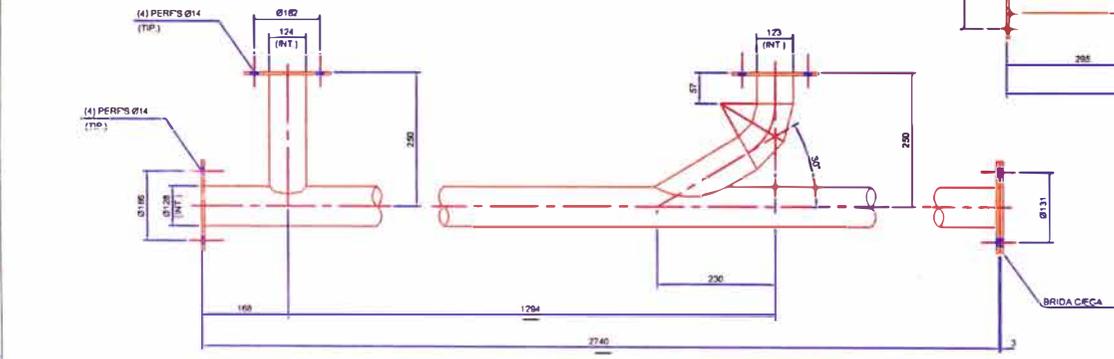
FORNADUTO AT



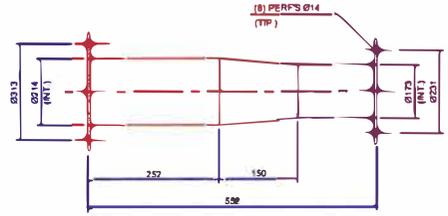
DETALLE PIEZA D20
ESC 1:5 CANT. 2



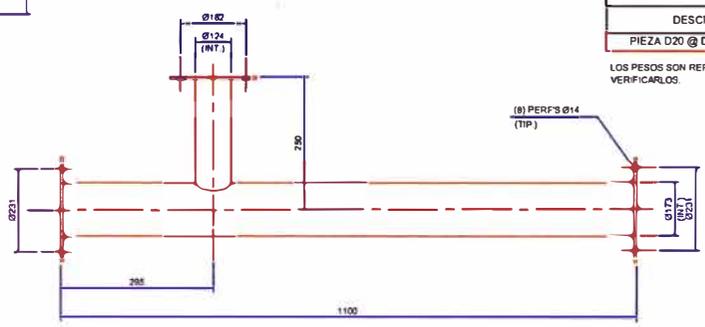
DETALLE PIEZA D22
ESC 1:5 CANT. 2



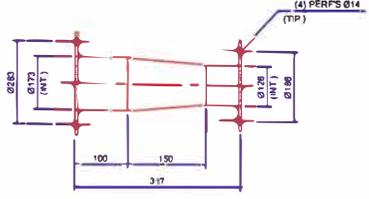
DETALLE PIEZA D26
ESC 1:5 CANT. 2



DETALLE PIEZA D21
ESC 1:5 CANT. 2



DETALLE PIEZA D24
ESC 1:5 CANT. 2



DETALLE PIEZA D25
ESC 1:5

| ITEM | CANT. | UN | DESCRIPCION | Nº DE PLANO | OBSERVACIONES |
|------|-------|----|------------------------|-------------|----------------|
| | | | PIEZA D20 | | PESO = 4.34 Kg |
| 1.41 | m2 | | PLANCHA e=3mm | | |
| 0.12 | m2 | | PLANCHA e=5mm | | |
| 0.80 | m | | CAÑERÍA Ø2 1/2" SHC 80 | | |
| | | | PIEZA D21 | | PESO = 14.4 Kg |
| 0.43 | m2 | | PLANCHA e=3mm | | |
| 0.08 | m2 | | PLANCHA e=5mm | | |
| | | | PIEZA D22 | | PESO = 37.7 Kg |
| 1.25 | m2 | | PLANCHA e=3mm | | |
| 0.08 | m2 | | PLANCHA e=5mm | | |
| 0.50 | m | | CAÑERÍA Ø2 1/2" SHC 40 | | |
| | | | PIEZA D23 | | PESO = 8.1 Kg |
| 0.21 | m2 | | PLANCHA e=3mm | | |
| 0.05 | m2 | | PLANCHA e=5mm | | |
| | | | PIEZA D24 | | PESO = 5.4 Kg |
| 0.34 | m2 | | PLANCHA e=3mm | | |
| 0.07 | m2 | | PLANCHA e=5mm | | |
| 0.23 | m | | TUBO Ø2 1/2" 1.12 Kg/m | | |
| | | | PIEZA D25 | | PESO = 4.7 Kg |
| 0.14 | m2 | | PLANCHA e=3mm | | |
| 0.04 | m2 | | PLANCHA e=5mm | | |
| | | | PIEZA D26 | | PESO = 17.8 Kg |
| 0.37 | m2 | | PLANCHA e=3mm | | |
| 0.10 | m2 | | PLANCHA e=5mm | | |
| 0.35 | m | | TUBO Ø2 1/2" 3.55 Kg/m | | |
| 0.25 | m | | TUBO Ø2 1/2" 5.42 Kg/m | | |

LAS CANTIDADES ANOTADAS SON UNITARIAS

| PESO TOTAL | | | |
|-----------------|-------|-----------------|------------|
| DESCRIPCION | CANT. | PESO UNIT (Kg.) | PESO TOTAL |
| PIEZA D20 @ D26 | - | - | 136.6 |

LOS PESOS SON REFERENCIALES. EL FABRICANTE DEBERA VERIFICARLOS.

NOTAS:
1. DIMENSIONES EN MILIMETROS (S I C)

CLIENTE: VOTORANTIM METAIS CAJAMARQUILLA S.A.
 PLANO: DUCTOS DE COLECCION DE FILTRO DE MANGAS PULSE JET.
 DUCTOS AREAS - 83

| | | |
|----------|----------|------------|
| DISEÑADO | 15-07-11 | W. MORALES |
| DIBUJADO | 15-07-11 | J. LARICO |
| REVISADO | 15-07-11 | D. QUISPE |
| APROBADO | 15-07-11 | J. OVIEDO |

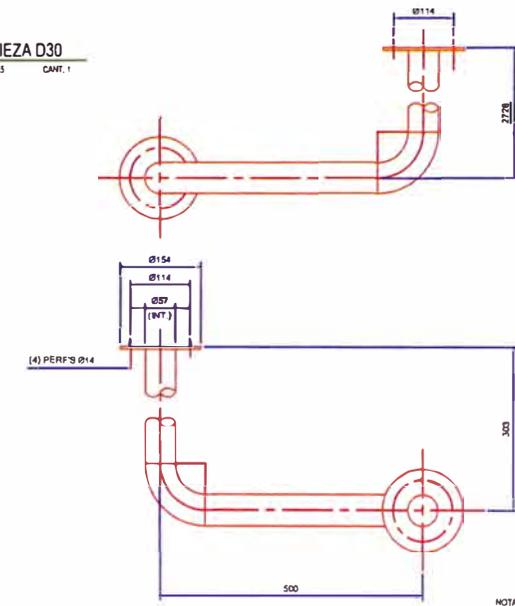
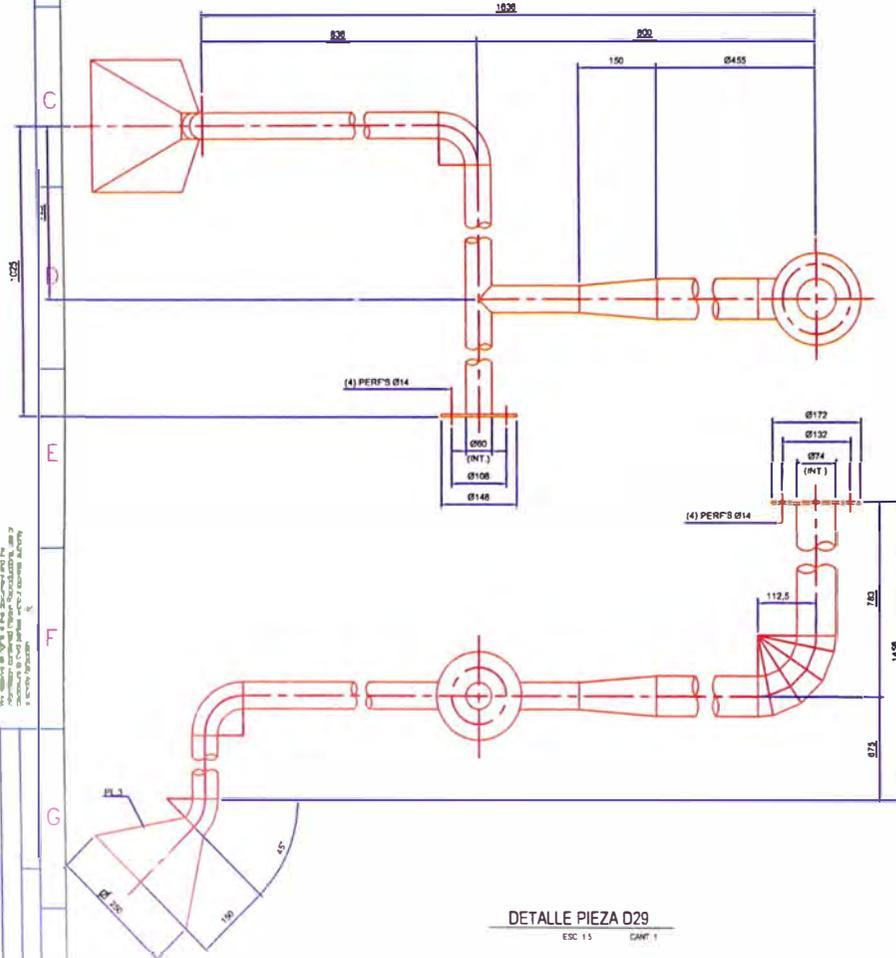
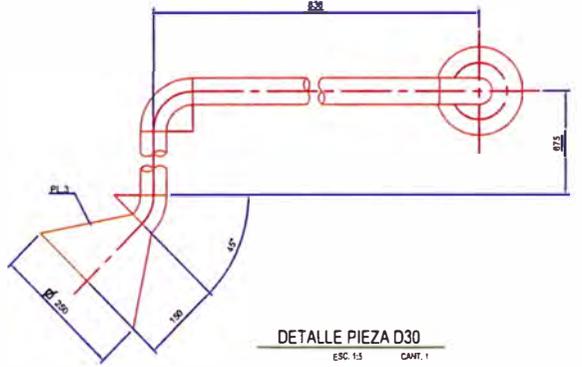
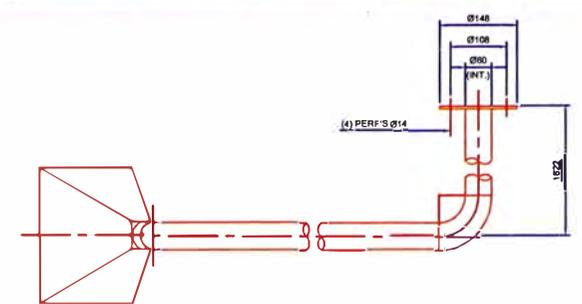
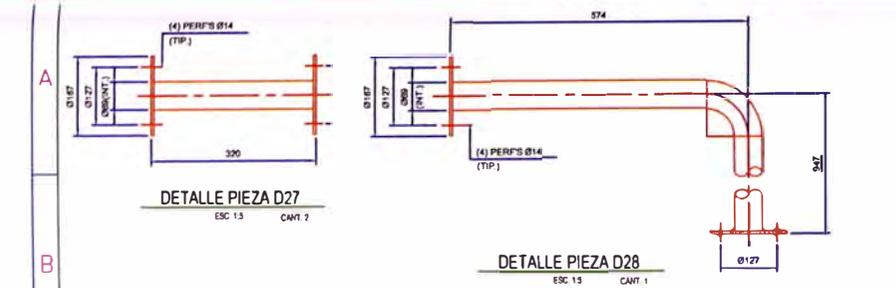
ESCALA: 1:5

REPUESTO A: P-05-A-83

airtec sa
 AV. HERRERA ALVARO 311 LOTE 100 LA CHALUPA CALLE 4
 TEL: +51 011 545 1100 FAX: +51 011 545 1100
 E-mail: airtec@airtec.com.pe

REPUESTO A: P-05-A-83

Este documento es propiedad de Airtec S.A. y no debe ser reproducido, copiado, distribuido o utilizado sin el consentimiento escrito de Airtec S.A.



| ITEM | CANT. | UN | DESCRIPCION | Nº DE PLANO | OBSERVACIONES |
|------|-------|----|--------------------------|-------------|----------------|
| - | - | - | PIEZA D27 | - | PESO= 3.2 Kg. |
| 0.04 | m2 | - | PLANCHA e=5mm. | - | - |
| 0.32 | m | - | CÁRTERA Ø2" Sch 40 | - | - |
| - | - | - | PIEZA D28 | - | PESO= 9.2 Kg. |
| 0.04 | m2 | - | PLANCHA e=5mm. | - | - |
| 1.52 | m | - | CÁRTERA Ø2" Sch 40 | - | - |
| - | - | - | PIEZA D29 | - | PESO= 22.3 Kg. |
| 0.88 | m2 | - | PLANCHA e=5mm. | - | - |
| 0.05 | m2 | - | PLANCHA e=5mm. | - | - |
| - | - | - | PIEZA D30 | - | PESO= 14.5 Kg. |
| 0.58 | m2 | - | PLANCHA e=5mm. | - | - |
| 0.02 | m2 | - | PLANCHA e=5mm. | - | - |
| - | - | - | PIEZA D31 | - | PESO= 18.5 Kg. |
| 0.02 | m2 | - | PLANCHA e=5mm. | - | - |
| 3.50 | m | - | TUBO Ø2 1/2" x 4.48 kg/m | - | - |

| PESO TOTAL | | | |
|-----------------|-------|-----------------|------------|
| DESCRIPCION | CANT. | PESO UNIT (Kg.) | PESO TOTAL |
| PIEZA D27 @ D31 | - | - | 89 |

LOS PESOS SON REFERENCIALES. EL FABRICANTE OEBERA VERIFICARLOS

NOTAS:
1. DIMENSIONES EN MILIMETROS (S I C)

CLIENTE: VOTORANTIM METAIS CAJAMARQUILLA S.A. ESC. 1:3 CANT. 1

PLANO: DUCTOS DE COLECCION DE FILTRO DE MANGAS PULSE JET. DUCTOS AREAS - 83

DISEÑADO: 15-07-11 W.MORALES
 DIBUJADO: 15-07-11 J.LARICO
 REVISADO: 15-07-11 D.QUISPE
 APROBADO: 15-07-11 J.OVIEDO

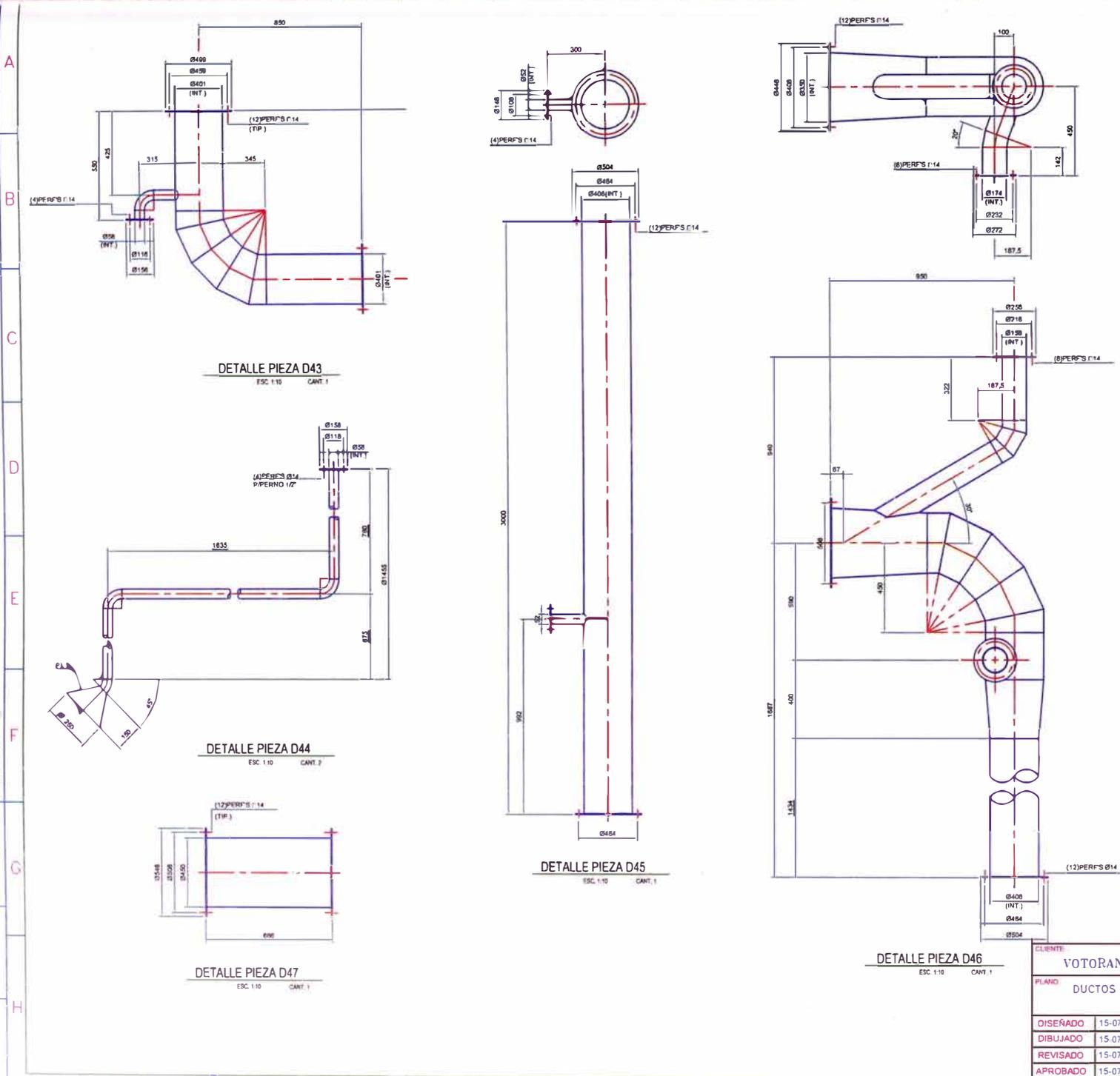
ESCALA: 1:5

REEMPLAZA: P-06-A-83

REV: 02

airtec sa
 AV. MANUEL ARIAS 1111 LINDA DELA OMBAYA GALLO
 TEL: +51 1 438 8888 FAX: +51 1 438 8888
 E-MAIL: airtec@airtec.com.pe

FORMA 01.1.1



| ITEM | CANT. | UN | DESCRIPCION | Nº DE PLANO | OBSERVACIONES |
|------|-------|----|---------------|-------------|---------------|
| | | | PIEZA D43 | | PESO= 35.4 Kg |
| 1.25 | m2 | | FLANCHA e=3mm | | |
| 0.15 | m2 | | FLANCHA e=5mm | | |
| | | | PIEZA D44 | | PESO= 14.9 Kg |
| 0.60 | m2 | | FLANCHA e=3mm | | |
| 0.02 | m2 | | FLANCHA e=5mm | | |
| | | | PIEZA D45 | | PESO= 69.8 Kg |
| 2.70 | m2 | | FLANCHA e=3mm | | |
| 0.15 | m2 | | FLANCHA e=5mm | | |
| | | | PIEZA D46 | | PESO= 98.3 Kg |
| 3.50 | m2 | | FLANCHA e=3mm | | |
| 0.40 | m2 | | FLANCHA e=5mm | | |
| | | | PIEZA D47 | | PESO= 25.5 Kg |
| 0.75 | m2 | | FLANCHA e=3mm | | |
| 0.20 | m2 | | FLANCHA e=5mm | | |

| PESO TOTAL | | | |
|-----------------|-------|-----------------|------------|
| DESCRIPCION | CANT. | PESO UNIT (Kg.) | PESO TOTAL |
| PIEZA D43 @ D47 | - | - | 256 |

LOS PESOS SON REFERENCIALES. EL FABRICANTE DEBERA VERIFICARLOS

CLIENTE: VOTORANTIM METAIS CAJAMARQUILLA S.A.

PLANO: DUCTOS DE COLECCION DE POLVO DE ZINC
DUCTOS AREAS - 83

DISEÑADO 15-07-11 W.MORALES
DIBUJADO 15-07-11 J.LARICO
REVISADO 15-07-11 D.QUISPE
APROBADO 15-07-11 J.OVIEDO

ESCALA: 1:5

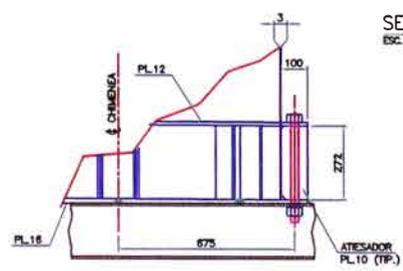
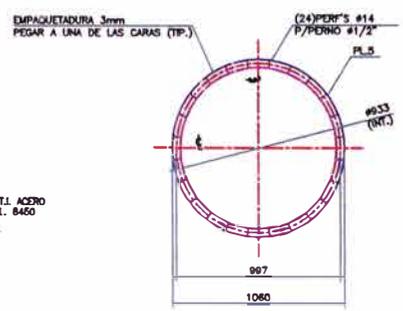
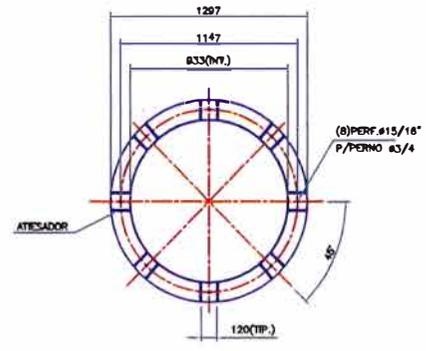
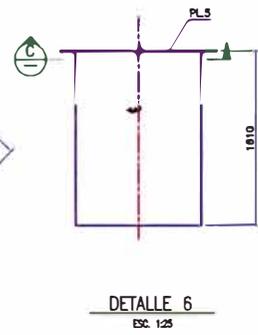
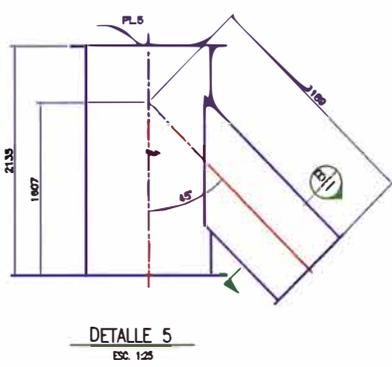
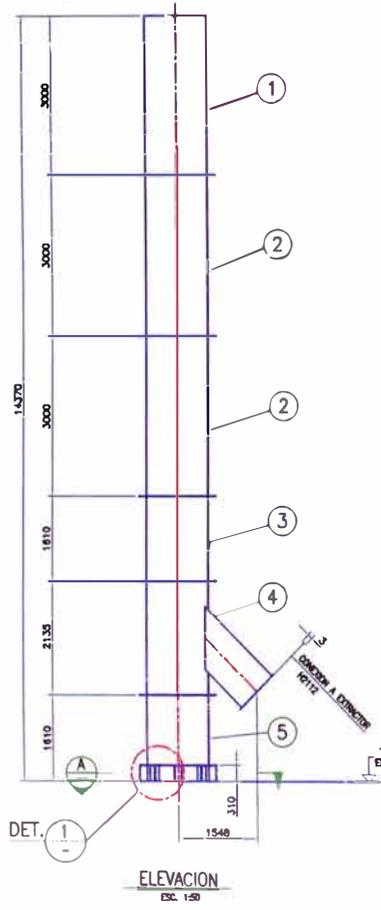
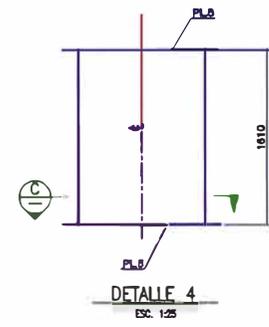
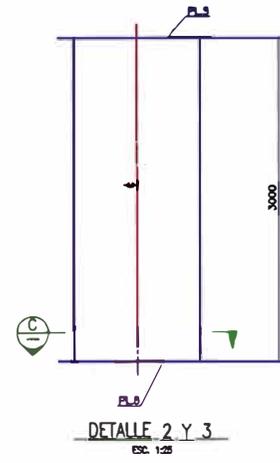
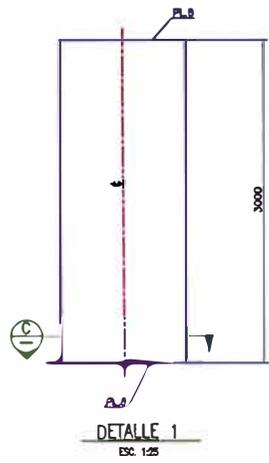
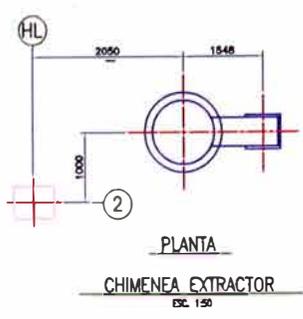
REP. PLANO: P-08-A-83

REP. 25V

FORMA TO 11

airtec sa
AV. MANUEL AOSTA 111189 BELLA OROSA - CALABAZO
TEL. FAX +51 051 985 985 985
E-mail: airtec@airtec.com.pe

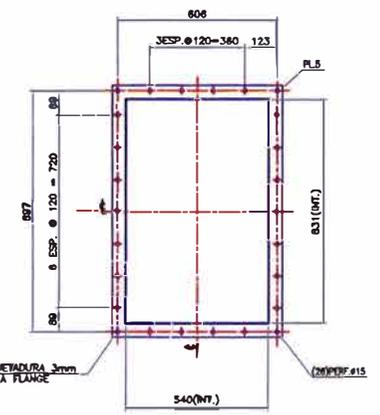
A
B
C
D
E
F
G
H



| ITEM | CANT. | UN. | DESCRIPCION | IMP.D. | OBSERVACIONES |
|------|-------|------|--|------------|---------------|
| 1 | 1 | | CHIMENEA H2112.4240 | | |
| 1 | 1 | | BRANCO 1 | | |
| 1 | 11.33 | m2 | PLANCHAS 4x5mm | 83.40-2053 | 2050 A-36 |
| 1 | 0.25 | m2 | PLANCHAS 4x5mm | 83.40-2053 | 1610 A-36 |
| 2 | 1 | | BRANCO 2 | | |
| 1 | 11.33 | m2 | PLANCHAS 4x5mm | 83.40-2053 | 2050 A-36 |
| 1 | 0.50 | m2 | PLANCHAS 4x5mm | 83.40-2053 | 1610 A-36 |
| 3 | 1 | | BRANCO 4 | | |
| 1 | 6.00 | m2 | PLANCHAS 4x5mm | 83.40-2053 | 2050 A-36 |
| 1 | 0.50 | m2 | PLANCHAS 4x5mm | 83.40-2053 | 1610 A-36 |
| 4 | 1 | | BRANCO 5 | | |
| 1 | 11.80 | m2 | PLANCHAS 4x5mm | 83.40-2053 | 2050 A-36 |
| 1 | 0.42 | m2 | PLANCHAS 4x5mm | 83.40-2053 | 1610 A-36 |
| 5 | 1 | | BRANCO 6 | | |
| 1 | 6.00 | m2 | PLANCHAS 4x5mm | 83.40-2053 | 2050 A-36 |
| 1 | 0.51 | m2 | PLANCHAS 4x5mm | 83.40-2053 | 1610 A-36 |
| 1 | 1.26 | m2 | PLANCHAS 4x10mm | 83.40-2053 | 1610 A-36 |
| 6 | 1 | | BRANCO 7 | | |
| 1 | 1.60 | c.u. | PERNO Ø12 x 50 ZINCADO 2519-2093-106-0-70 | 83.40-2053 | 3000 Ø18-31 |
| 1 | 8 | c.u. | PERNO Ø12 x 100 ZINCADO 2519-2093-106-0-70 | 83.40-2053 | 2050 Ø18-31 |
| 6 | 1 | c.u. | EMPAQUETADURA 3MM 106 | 83.40-2053 | Ø18-31 |

| PESO TOTAL | | | |
|-------------|-------|-----------------|-----------------|
| DESCRIPCION | CANT. | PESO UNIT.(Kg.) | PESO TOTAL(Kg.) |
| H2112.4240 | | | |
| TOTAL | | 1595.50 | 1595.50 |

LOS PESOS SON REFERENCIALES, EL FABRICANTE DEBERA VERIFICARLOS.



- NOTAS:
- 1.- DIMENSIONES EN MILIMETROS Y ELEVACION EN METROS (S.L.C.)
 - 2.- TODAS LAS CONEXIONES DEBEN LLEVAR EMPAQUETADURA DE GOMA ESPESOR 3mm
 - 3.- PARA ACERO SOLDADURA SEGUN NORMA AWS, FILETE CONTINUO MINIMO IGUAL AL MENOR ESPESOR DE ELEMENTOS A UNIR, ELECTRODO E70XX (S.L.C.)
 - 4.- PINTURA, PREPARACION Y TERMINACION SUPERFICIAL, SEGUN ESPECIFICACION TENDINA N° SP-30-4304.

CLIENTE
VOTORANTIM METAIS CAJAMARQUILLA S.A.

PLANO DUCTOS DE DESCARGA DE FILTRO DE MANGAS Y EXTRACTOR CENTRIFUGO.
DUCTOS AREAS = 83

| | | | |
|----------|----------|-----------|----------------|
| DISEÑADO | 15-07-11 | W.MORALES | ESCALA:
1:5 |
| DIBUJADO | 15-07-11 | J.LARICO | |
| REVISADO | 15-07-11 | D.QUISPE | |
| APROBADO | 15-07-11 | J.OVIEDO | |

airtec sa
AV. SAN JUAN 2111 LIMA PERU TEL: 011 426 4000
E-mail: airtec@airtec.com.pe

REF: PL-10-A-83

FORMATO A1

ANEXOS

ANEXO 1.1: Recomendaciones de los manuales de ventilación-descarga faja/chute.

ANEXO 1.2: Recomendaciones de los manuales de ventilación-elevador de cangilones.

ANEXO 1.3: Recomendaciones de los manuales de ventilación-descarga chute/faja.

ANEXO 1.4: Recomendaciones de los manuales de ventilación- zarandas.

ANEXO 2: Recomendación de Dust Control Handbook, formula de Anderson.

ANEXO 3: Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad.

ANEXO 4.1: Coeficiente de pérdidas en codos.

ANEXO 4.2: Perdidas en empalmes.

ANEXO 4.3: Perdidas en ensanchamientos, estrechamientos y entradas.

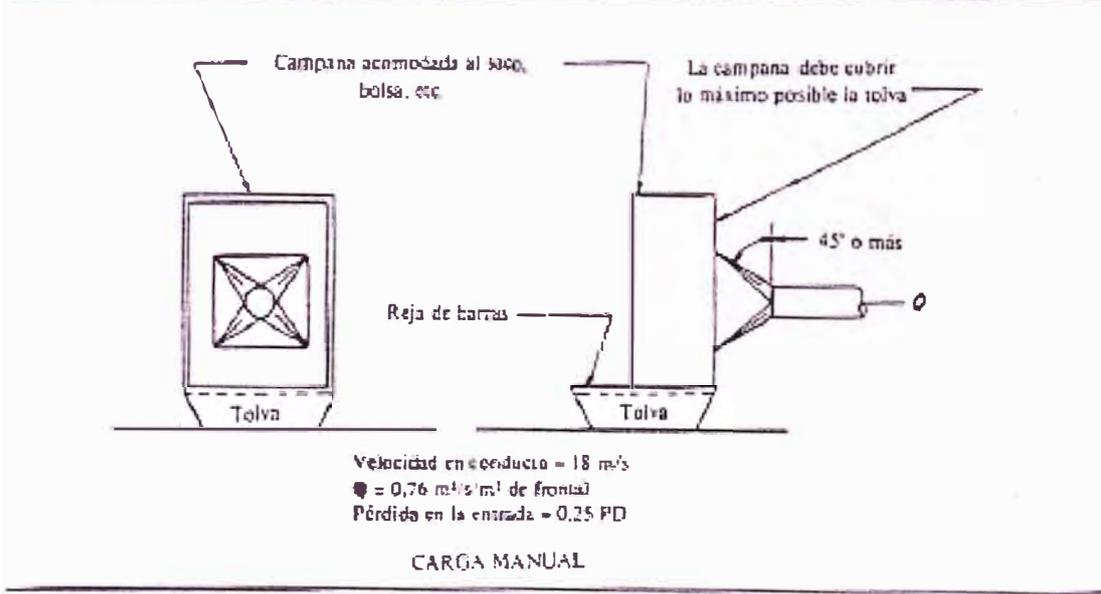
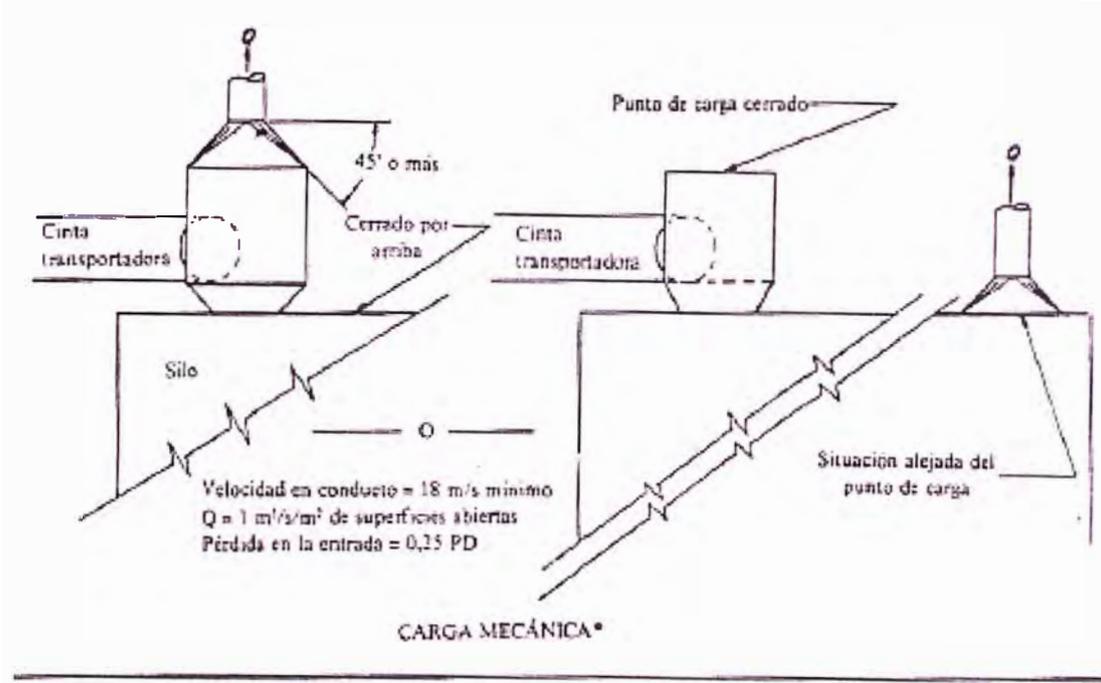
ANEXO 5: Cuadro típico de velocidad de filtración para polvos.

ANEXO 6: Data sheet válvula solenoide.

ANEXO 7: Data sheet válvula diafragma.

ANEXO 8: Catalogo de motores eléctricos WEG.

ANEXO 1.1: Recomendaciones de los manuales de ventilación-descarga faja a chute (tolva).



| VELOCIDAD DE LA CINTA | CAUDAL |
|-----------------------|--|
| menos de 1 m/s | 0,24 m³/s/m de anchura de la cinta no menos de 0,23 m³/s/m de abertura |
| mas de 1 m/s | 0,77 m³/s/m de anchura de la cinta no menos de 0,73 m³/s/m de abertura |

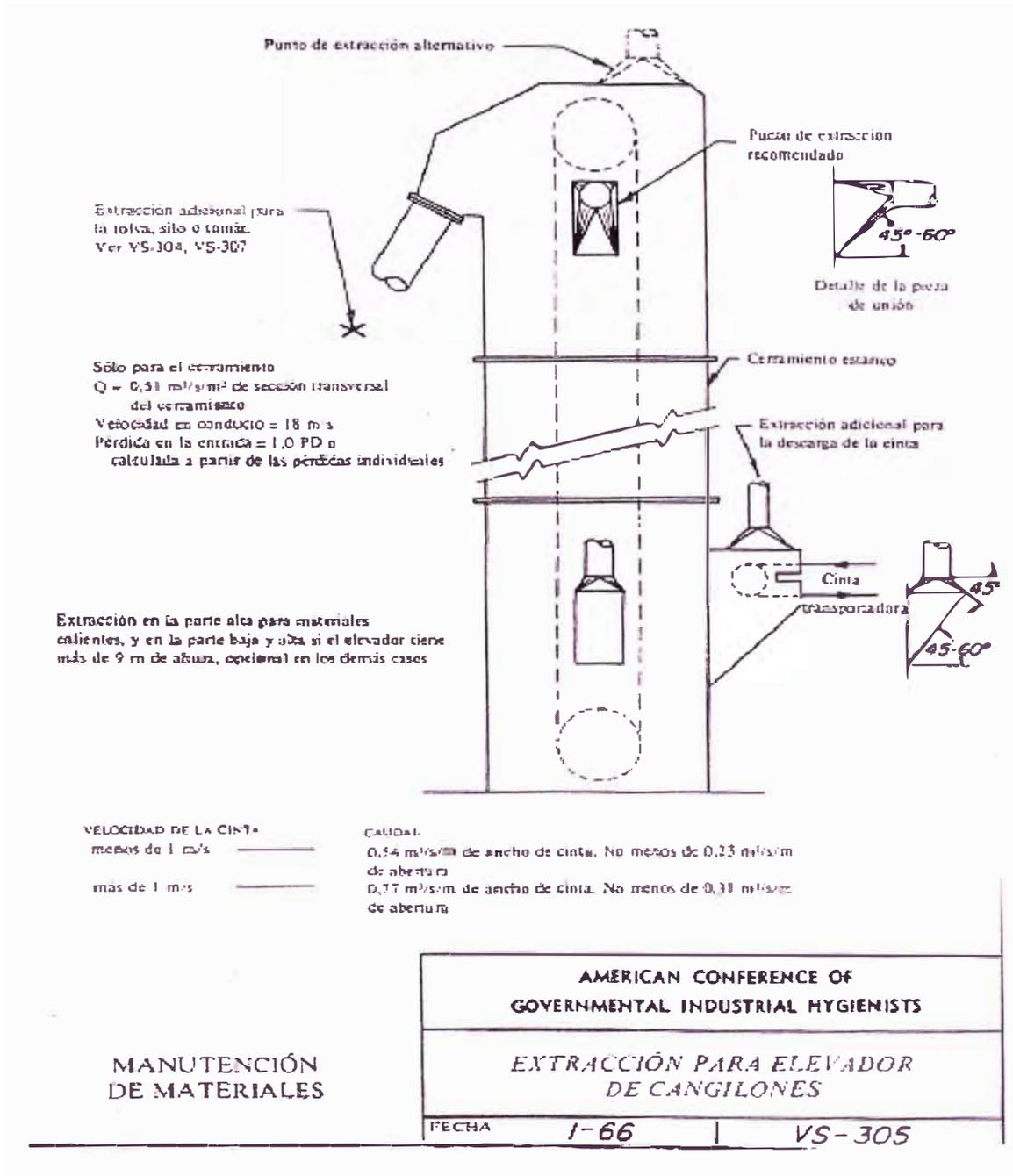
AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

EXTRACCIÓN EN SILOS Y TOLVAS

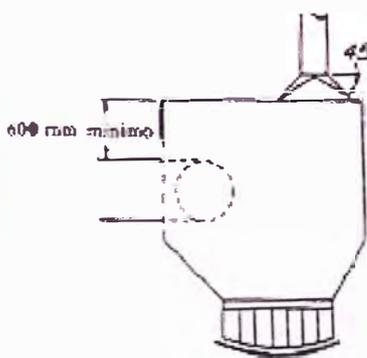
MANUTENCIÓN DE MATERIALES

| | | |
|-------|------|--------|
| FECHA | 1-72 | VS-304 |
|-------|------|--------|

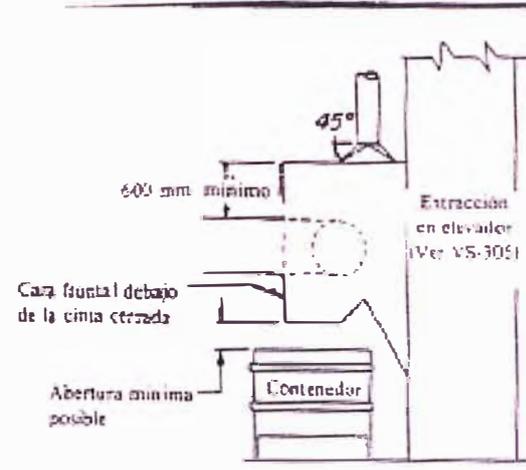
ANEXO 1.2: Recomendaciones de los manuales de ventilación-elevador de cangilones.



ANEXO 1.3: Recomendaciones de los manuales de ventilación-descarga chute (tolva) a faja.



1. Transferencia entre cintas con menos de 1 m de caída. Para caídas mayores instalar una extracción adicional en la cinta inferior. Ver n.º 3 abajo.



2. Transferencia de cinta a elevador con separador magnético

DATOS PARA DISEÑO

Puntos de transferencia:

Cerramientos para lograr una velocidad de aire entre 0,76 y 1 m/s en todas las aberturas

Caudal máximo = 0,54 m³/s/m de anchura de la cinta para velocidades de cinta inferiores a 1 m/s
 = 0,77 m³/s/m de anchura de la cinta para velocidades de cinta superiores a 1 m/s y para separadores magnéticos

Velocidad en conducto = 18 m/s mínimo

Pérdida en la entrada = 0,25 PD

Cintas transportadoras:

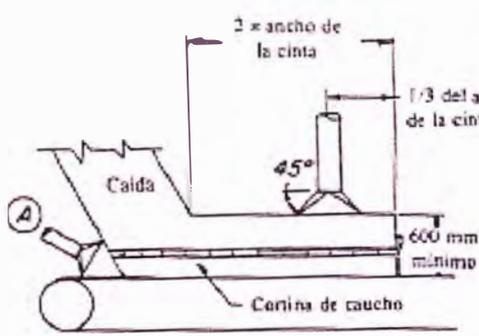
Cubrir la cinta entre los puntos de transferencia

Extracción en los puntos de transferencia

Extracción adicional de 0,54 m³/s/m de anchura de cinta con separación de 9 metros. Utilizar piezas de unión de 45°

Pérdida en la entrada = 0,25 PD

Nota: Los materiales secos o muy pulverulentos pueden precisar caudales de extracción entre 1,5 y 2 veces los indicados.



3. Transferencia entre transportadores de más de 1 m de caída.

Extracción adicional en A para materiales pulverulentos con los caudales.

Ancho de la cinta de

300 a 900 mm. Q = 0,33 m³/s

más de 900 mm. Q = 0,47 m³/s



50 mm de separación de la curva de la cinta

Detalle de la abertura de la cinta

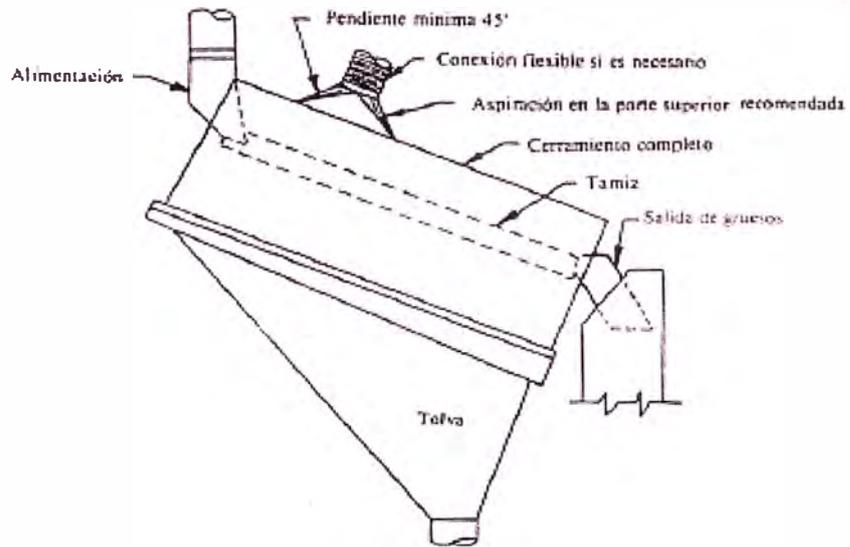
MANUTENCIÓN DE MATERIALES

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

EXTRACCIÓN EN CINTA TRANSPORTADORA

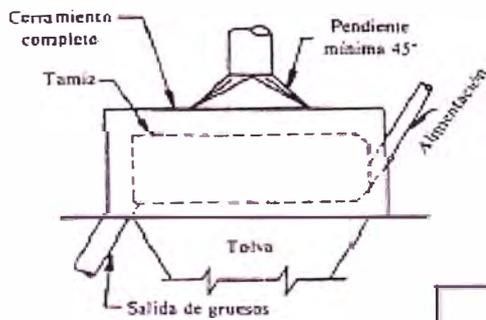
FECHA 1-72 | VS-306

ANEXO 1.4: Recomendaciones de los manuales de ventilación- zarandas.



TAMIZ DE MALLA PLANA

$Q = 1 \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ de aberturas, pero no menos de
 $0.25 \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ de superficie del tamiz. No es preciso
 incrementar para tamices múltiples
 Velocidad en conducto = 18 m/s
 Pérdida en la entrada = 0.50 PD



TAMIZ CILÍNDRICO

$Q = 0.51 \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ de sección circular del tamiz, por lo menos
 $2 \text{ m}^3/\text{s/m}^2$ de aberturas en el cerramiento
 Velocidad en conducto = 18 m/s
 Pérdida en la entrada = 0.50 PD

**MANUTENCIÓN
DE MATERIALES**

**AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**

TAMICES

FECHA

1-64

VS-307

ANEXO 2: Recomendación de Dust Control Handbook, formula de Anderson.

Material conveyed along the belt will have a small amount of air entrapped in the product bed. As the product leaves the head pulley in the normal trajectory it increases in volume as each particle of material collects an amount of air. Once the product lands, this induced air is released, causing substantial positive pressure flowing away from the center of the load zone. The movement of this induced air can be calculated as follows in Equation 5.3 [Goldbeck and Marti 2010]:

$$Q_{ind} = 10 \times A_U \times \frac{\sqrt[3]{R \times S^2}}{D} \quad (5.3)$$

where Q_{ind} = induced air, cubic feet per minute;

A_U = enclosure upstream open area, square feet (where air is induced into the system by the action of falling material);

R = rate of material flow, tons per hour;

S = height of material free fall, feet, and

D = average material diameter, feet.

Other sources of moving air (Q_{gen}) may be devices feeding the load zone such as crushers, and these devices can create a fan-like effect. Equipment manufacturers can provide operators with additional information to help quantify the amount of air generated by these mechanical devices.

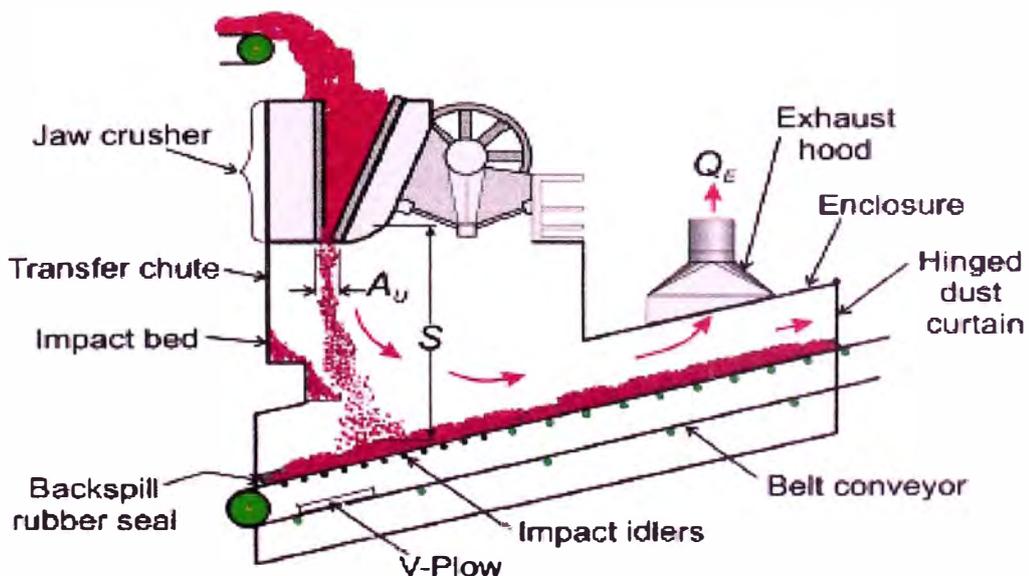
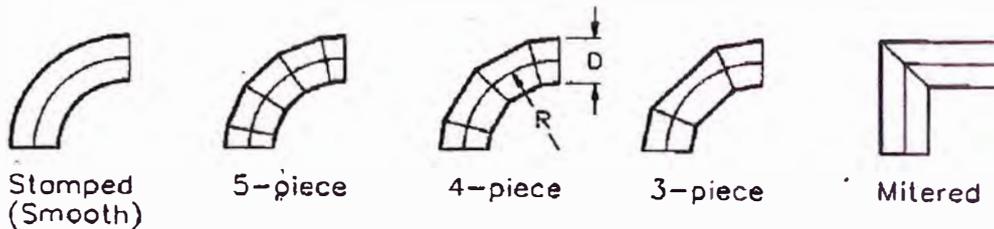


Figure 5.8. Illustration of a dry (exhaust) dust control system at the discharge of a jaw crusher onto a belt conveyor.

ANEXO 3: Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad.

| Material | Coefficiente de Manning
n | Coef. Hazen-Williams
C_H | Coef. Rugosidad Absoluta
e (mm) |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Asbesto cemento | 0.011 | 140 | 0.0015 |
| Latón | 0.011 | 135 | 0.0015 |
| Tabique | 0.015 | 100 | 0.6 |
| Fierro fundido (nuevo) | 0.012 | 130 | 0.26 |
| Concreto (cimbra metálica) | 0.011 | 140 | 0.18 |
| Concreto (cimbra madera) | 0.015 | 120 | 0.6 |
| Concreto simple | 0.013 | 135 | 0.36 |
| Cobre | 0.011 | 135 | 0.0015 |
| Acero corrugado | 0.022 | -- | 45 |
| Acero galvanizado | 0.016 | 120 | 0.15 |
| Acero (esmalado) | 0.010 | 148 | 0.0048 |
| Acero (nuevo. sin recubrim.) | 0.011 | 145 | 0.045 |
| Acero (remachado) | 0.019 | 110 | 0.9 |
| Plomo | 0.011 | 135 | 0.0015 |
| Plástico (PVC) | 0.009 | 150 | 0.0015 |
| Madera (duelas) | 0.012 | 120 | 0.18 |
| Vidrio (laboratorio) | 0.011 | 140 | 0.0015 |

ANEXO 4.1: Coeficiente de pérdidas en codos.



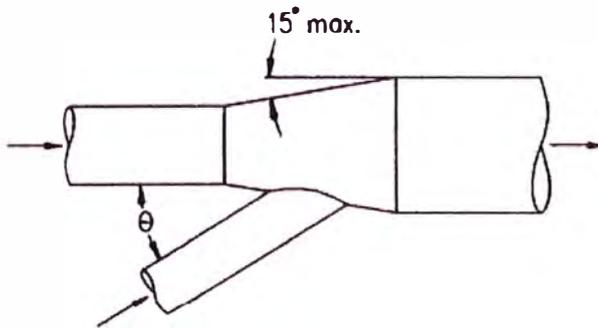
| | R/D | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|-------|
| | 0.5 | 0.75 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 |
| Stamped | 0.71 | 0.33 | 0.22 | 0.15 | 0.13 | 0.12 |
| 5-piece | - | 0.46 | 0.33 | 0.24 | 0.19 | 0.17* |
| 4-piece | - | 0.50 | 0.37 | 0.27 | 0.24 | 0.23* |
| 3-piece | 0.90 | 0.54 | 0.42 | 0.34 | 0.33 | 0.33* |

* extrapolated from published data

OTHER ELBOW LOSS COEFFICIENTS

| | |
|------------------------|------------------------|
| Mitered, no vanes | 1.2 |
| Mitered, turning vanes | 0.6 |
| Flatback (R/D = 2.5) | 0.05 (see Figure 5-23) |

ANEXO 4.2: Pérdidas en empalmes.



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

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

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

ANEXO 4.3: Pérdidas en ensanchamientos, estrechamientos y entradas.

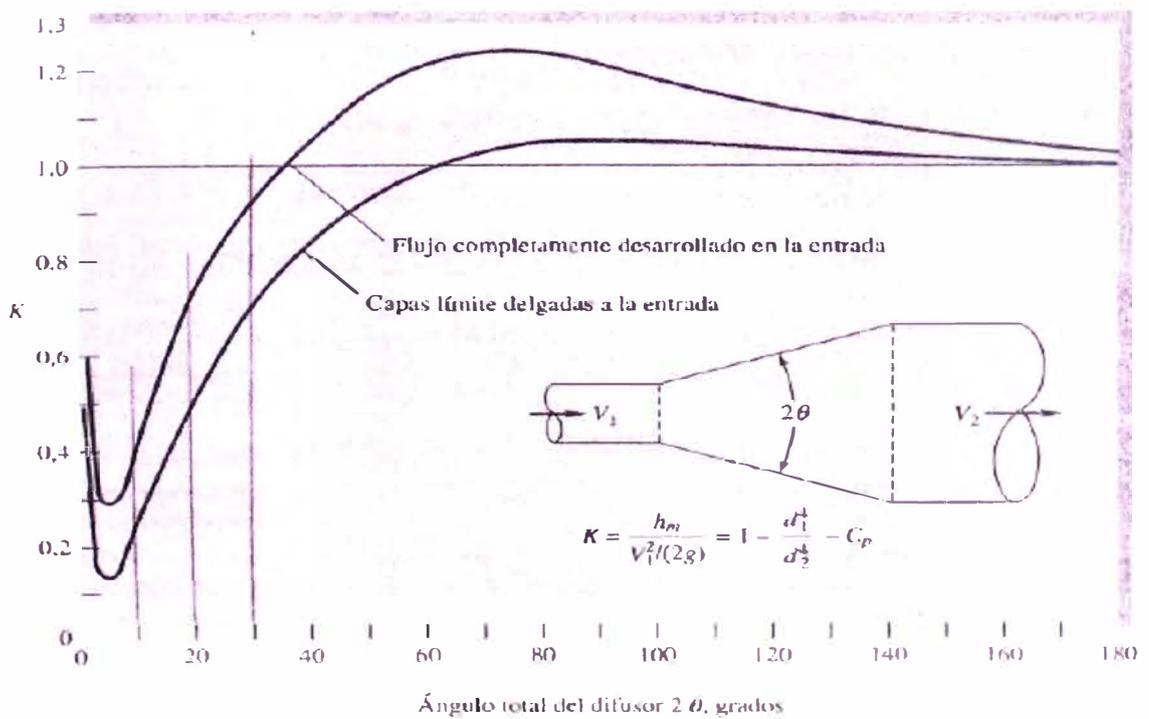
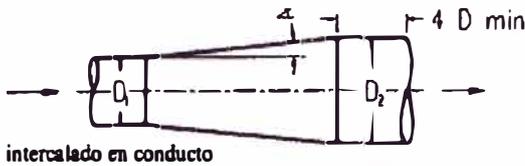
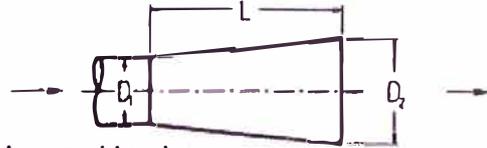


Figura 6.23. Pérdidas en un ensanchamiento cónico gradual.

GANANCIA DE PRESIÓN ESTÁTICA EN ENSANCHAMIENTOS



intercalado en conducto



en el extremo del conducto

| Ganancia (R), fracción de la diferencia de PD | | | | | |
|---|--|-------|--------|------|-------|
| Ángulo de la pieza, grados | Relación de diámetros D ₂ /D ₁ | | | | |
| | 1,25:1 | 1,5:1 | 1,75:1 | 2:1 | 2,5:1 |
| 3 1/2 | 0,92 | 0,88 | 0,84 | 0,81 | 0,75 |
| 5 | 0,88 | 0,84 | 0,80 | 0,76 | 0,68 |
| 10 | 0,85 | 0,76 | 0,70 | 0,63 | 0,53 |
| 15 | 0,83 | 0,70 | 0,62 | 0,55 | 0,43 |
| 20 | 0,81 | 0,67 | 0,57 | 0,48 | 0,43 |
| 25 | 0,80 | 0,65 | 0,53 | 0,44 | 0,28 |
| 30 | 0,79 | 0,63 | 0,51 | 0,41 | 0,25 |
| Brusco 90 | 0,77 | 0,62 | 0,50 | 0,40 | 0,25 |

$PE_2 = PE_1 + R (PD_1 - PD_2)$

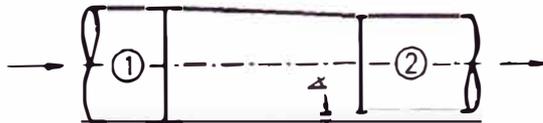
| Ganancia (R), fracción de PD en la entrada | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Factor de forma L/D ₁ | Relación de diámetros D ₂ /D ₁ | | | | | |
| | 1,2:1 | 1,3:1 | 1,4:1 | 1,5:1 | 1,6:1 | 1,7:1 |
| 1,0:1 | 0,37 | 0,39 | 0,38 | 0,35 | 0,31 | 0,27 |
| 1,5:1 | 0,39 | 0,46 | 0,47 | 0,46 | 0,44 | 0,41 |
| 2,0:1 | 0,42 | 0,49 | 0,52 | 0,52 | 0,51 | 0,49 |
| 3,0:1 | 0,44 | 0,52 | 0,57 | 0,59 | 0,60 | 0,59 |
| 4,0:1 | 0,45 | 0,55 | 0,60 | 0,63 | 0,63 | 0,64 |
| 5,0:1 | 0,47 | 0,56 | 0,62 | 0,65 | 0,66 | 0,68 |
| 7,5:1 | 0,48 | 0,58 | 0,64 | 0,68 | 0,70 | 0,72 |

$PE_1 = PE_2 - R (PD_1)^*$

* Cuando $PE_2 = 0$ (atmósfera) PE_1 será (-).

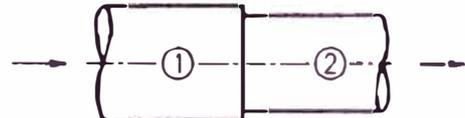
La ganancia será sólo del 70 % de la indicada cuando la pieza de expansión se encuentre a una distancia inferior a 5 diámetros

PÉRDIDA DE PRESIÓN ESTÁTICA EN ESTRECHAMIENTOS



Estrechamiento gradual
 $PE_2 = PE_1 - (PD_2 - PD_1) - L (PD_2 - PD_1)$

| Ángulo de la pieza | L(Pérdida) |
|--------------------|-------------------|
| 5 | 0,05 |
| 10 | 0,06 |
| 15 | 0,08 |
| 20 | 0,10 |
| 25 | 0,11 |
| 30 | 0,13 |
| 45 | 0,20 |
| 60 | 0,30 |
| superior a 60° | Estrecham. brusco |

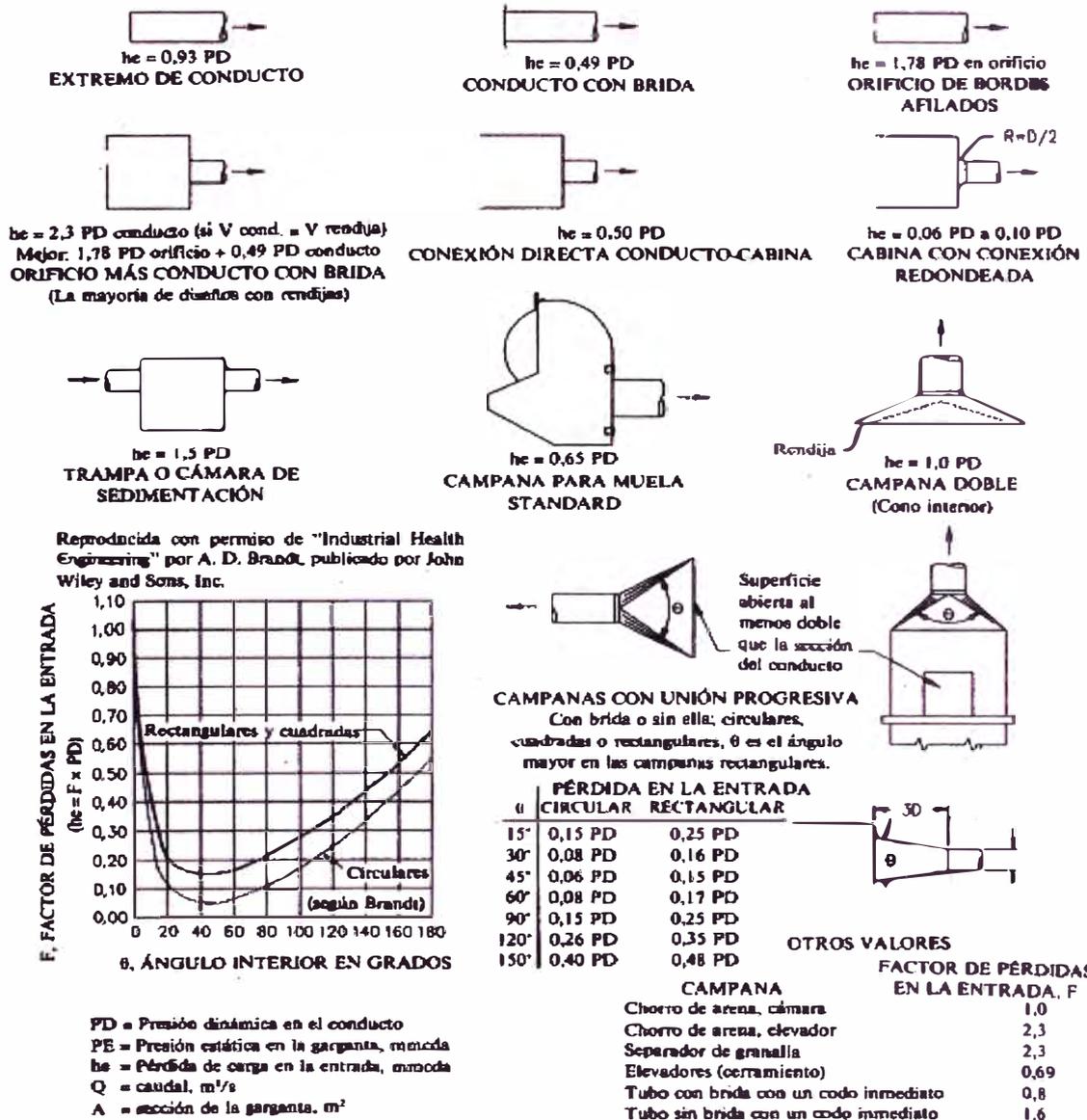


Estrechamiento brusco
 $PE_2 = PE_1 - (PD_2 - PD_1) - K (PD_2)$

| Relación A ₂ /A ₁ | K |
|---|------|
| 0,1 | 0,48 |
| 0,2 | 0,46 |
| 0,3 | 0,42 |
| 0,4 | 0,37 |
| 0,4 | 0,32 |
| 0,6 | 0,26 |
| 0,7 | 0,20 |

A = Sección del conducto m²

Nota: Al calcular la PE en ensanchamientos o estrechamientos hay que utilizar valores algebraicos; PD es (+), y seguramente (-) en el conducto de impulsión del ventilador y (-) en el conducto de aspiración del ventilador.



ANEXO 5: Cuadro típico de velocidad de filtración para polvos.

| Polvo | Velocidad de filtración (m/min) |
|---|---------------------------------|
| Carbono, Grafito, Polvos metalúrgicos, Jabón, Detergentes, Oxido de Zinc | 1,5 - 1,8 |
| Crudo de cemento, Arcilla, Plásticos, Pigmentos, Almidón, Azúcar, Serrín, Zinc (metálico) | 2,1 - 2,5 |
| Oxido de aluminio, Cemento, Arcilla vitrificada, Cal, Caliza, Yeso, Mica, Cuarzo, Haba de Soja, Talco | 2,8 - 3,3 |
| Cacao, Chocolate, Harina, Granos, Polvo de Pielas, Arena, Tabaco | 3,6 - 4,2 |

NOTA: Las velocidades indicadas se deben reducir en 0,3 m/min si la carga de polvo es muy alta o si las partículas son muy pequeñas

ANEXO 6: Data sheet solenoides



| | |
|---------------------|--|
| Ciliente | VOTORANTIM METAIS - AMEC AMERICAS |
| Proyecto | CAJAMARQUILLA SA/VM - CJM 320K PROJECT |
| Orden de Compra N° | 155339-45140 |
| Equipo | ZINC DUST COLLECTOR |
| N° de Documento | P08-005-45140-DT-09 |
| Nombre de Documento | DATA SHEET SOLENOIDES SISTEMA PULSE-JET DUST COLLECTOR |

| CLIENT: | VOTORANTIM METAIS - AMEC AMERICAS | DATE: | 28 de Julio de 2008 |
|--|--|------------------------------------|--|
| PROJECT: | CAJAMARQUILLA SA/VM - CJM 320K PROJECT | | |
| EQUIPMENT: | ZINC DUST COLLECTOR | REV.: | 1 |
| N° DE DOCUMENTO: | P08-005-45140-DT-09 | | CERTIFICADO |
| NOMBRE DE DOCUMENTO: | DATA SHEET SOLENOIDES SISTEMA PULSE JET DUST COLLECTOR | | |
| DESCRIPTION | UNIT | SPECIFIED | OFFERED |
| INSTRUMENTOS | | | |
| SOLEMOIDES SISTEMA PULSE JET DUST COLLECTOR | | | |
| 1 | TAG NUMBER | By AMEC | 83-XV-2110H-A @ AG |
| 2 | CANTIDAD | Vendor to Specify | 33 |
| 3 | FABRICANTE | Vendor to Specify | GOYEN |
| 4 | MODELO | Vendor to Specify | RCA3D2T |
| 5 | POWER SUPPLY | Vendor to Specify | 120 VAC |
| 6 | POWER COMSUMPTION | Vendor to Specify | 20 VA |
| 7 | PRESION DE TRABAJO | Vendor to Specify | 110 PSI MAX |
| 8 | RANGO DE TEMPERATURA | Vendor to Specify | -40 A +90°C |
| 9 | ORIFICIO DE ENTRADA | Vendor to Specify | 1/8" NPT |
| 10 | FLUIDO | | AIRE O NITROGENO |
| 11 | MODELOS CAJAS DE SOLENOIDES | | 3 DE RCA3 8V7000
1 DE RCA3 5V5000
1 DE RCA3 5V4000 |
| 12 | CANTIDAD | Vendor to Specify | 5 unidades |
| 13 | GRADO DE PROTECCION | Vendor to Specify | NEMA 4 |
| OBSERVACIONES: | | SE ADJUNTA CATALOGO DEL FABRICANTE | |

ANEXO 8: Catálogo de Motores Eléctricos WEG.

MOTORES TRIFASICOS DE EFICIENCIA ESTANDAR



CARACTERISTICAS TIPICAS

| Potencia
THP
kW | Carcaza
IEC | RPM | Corriente
nominal
en 220V
A | Corriente
con rotor
bloqueado
Ip / In | Momento
nominal
Cn
Nm | Momento
con rotor
bloqueado
Cp / Cn | Momento
máximo
Cmáx.
Cn | Rendimiento
η % | | | Factor de potencia
Cos φ | | | Factor
de
servicio
F.S. | Momento
de
inercia
J
kgm² | Tiempo
máximo
con rotor
bloqueado
en caliente/
frio (S) | Peso
aprox.
(kg) |
|-----------------------|----------------|-----|--------------------------------------|--|--------------------------------|--|----------------------------------|--------------------|----|-----|-----------------------------|----|-----|----------------------------------|---------------------------------------|--|------------------------|
| | | | | | | | | 50 | 75 | 100 | 50 | 75 | 100 | | | | |

3600 RPM - 60 Hz

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|--------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|---------|--------|------|
| 0,16 | 0,12 | 63 | 3420 | 0,77 | 5,30 | 0,34 | 4,0 | 4,0 | 45,0 | 53,0 | 58,1 | 0,53 | 0,63 | 0,70 | 1,15 | 0,00010 | 21/46 | 7 |
| 0,25 | 0,18 | 63 | 3380 | 1,02 | 4,70 | 0,51 | 3,0 | 3,4 | 52,0 | 58,0 | 61,9 | 0,60 | 0,68 | 0,75 | 1,15 | 0,00012 | 16/35 | 7 |
| 0,33 | 0,25 | 63 | 3390 | 1,34 | 5,00 | 0,70 | 3,2 | 3,0 | 54,2 | 59,0 | 62,9 | 0,62 | 0,72 | 0,78 | 1,15 | 0,00014 | 12/26 | 7 |
| 0,5 | 0,37 | 63 | 3380 | 1,71 | 5,50 | 1,05 | 3,2 | 3,2 | 55,2 | 65,5 | 68,4 | 0,60 | 0,73 | 0,83 | 1,15 | 0,00019 | 9/20 | 8 |
| 0,75 | 0,55 | 71 | 3400 | 2,39 | 6,20 | 1,55 | 2,9 | 3,1 | 63,2 | 68,5 | 71,0 | 0,64 | 0,77 | 0,85 | 1,15 | 0,00037 | 8/18 | 10 |
| 1 | 0,75 | 71 | 3425 | 3,01 | 7,20 | 2,09 | 3,5 | 3,6 | 70,0 | 74,0 | 77,0 | 0,68 | 0,78 | 0,85 | 1,15 | 0,00052 | 8/18 | 11 |
| 1,5 | 1,1 | 80 | 3370 | 4,28 | 7,50 | 3,12 | 3,0 | 3,0 | 76,5 | 78,0 | 78,5 | 0,70 | 0,80 | 0,86 | 1,15 | 0,00079 | 8/18 | 14 |
| 2 | 1,5 | 80 | 3380 | 5,46 | 7,50 | 4,24 | 3,0 | 2,8 | 77,0 | 79,0 | 81,0 | 0,73 | 0,82 | 0,89 | 1,15 | 0,00096 | 7/15 | 16 |
| 3 | 2,2 | 90S | 3465 | 8,43 | 7,80 | 6,07 | 3,0 | 3,0 | 78,5 | 80,0 | 81,5 | 0,66 | 0,77 | 0,84 | 1,15 | 0,00205 | 5/11 | 20 |
| 4 | 3 | 90L | 3450 | 11,0 | 7,90 | 8,31 | 3,0 | 3,4 | 81,5 | 82,5 | 83,0 | 0,70 | 0,80 | 0,86 | 1,15 | 0,00266 | 4/9 | 23 |
| 5 | 3,7 | 100L | 3485 | 12,9 | 8,00 | 10,1 | 2,6 | 2,8 | 81,0 | 84,8 | 85,6 | 0,75 | 0,83 | 0,88 | 1,15 | 0,00672 | 6/13 | 32 |
| 6 | 4,5 | 112M | 3465 | 15,8 | 7,50 | 12,4 | 2,2 | 2,9 | 82,8 | 84,2 | 85,0 | 0,77 | 0,85 | 0,88 | 1,15 | 0,00727 | 8/18 | 38 |
| 7,5 | 5,5 | 112M | 3500 | 19,1 | 8,00 | 15,0 | 2,6 | 3,4 | 84,0 | 86,2 | 86,7 | 0,72 | 0,80 | 0,87 | 1,15 | 0,00842 | 8/18 | 41 |
| 10 | 7,5 | 132S | 3510 | 25,5 | 7,00 | 20,4 | 2,2 | 2,8 | 84,0 | 86,5 | 87,6 | 0,77 | 0,85 | 0,88 | 1,15 | 0,02243 | 12/26 | 64 |
| 12,5 | 9,2 | 132M | 3510 | 31,4 | 7,80 | 25,0 | 2,2 | 2,8 | 85,8 | 87,2 | 87,5 | 0,77 | 0,84 | 0,88 | 1,15 | 0,02430 | 10/22 | 67 |
| 15 | 11 | 132M | 3520 | 36,9 | 8,50 | 29,9 | 2,6 | 3,3 | 85,0 | 87,5 | 87,8 | 0,77 | 0,85 | 0,89 | 1,15 | 0,02804 | 5/11 | 72 |
| 20 | 15 | 160M | 3540 | 50,3 | 7,80 | 40,5 | 2,3 | 3,0 | 86,4 | 88,6 | 89,0 | 0,75 | 0,84 | 0,88 | 1,15 | 0,04706 | 9/20 | 104 |
| 25 | 18,5 | 160M | 3525 | 61,6 | 8,00 | 50,1 | 2,4 | 2,8 | 88,0 | 89,5 | 89,5 | 0,78 | 0,85 | 0,88 | 1,15 | 0,05295 | 7/15 | 111 |
| 30 | 22 | 160L | 3530 | 72,1 | 8,50 | 59,5 | 2,5 | 3,0 | 90,2 | 91,0 | 91,0 | 0,78 | 0,85 | 0,88 | 1,15 | 0,06471 | 8/18 | 126 |
| 40 | 30 | 200M | 3555 | 99,0 | 7,20 | 80,6 | 2,9 | 2,9 | 88,5 | 90,0 | 90,4 | 0,80 | 0,86 | 0,88 | 1,15 | 0,17042 | 11/24 | 213 |
| 50 | 37 | 200L | 3560 | 120 | 7,50 | 99,3 | 3,0 | 2,9 | 90,0 | 91,5 | 92,2 | 0,81 | 0,86 | 0,88 | 1,15 | 0,20630 | 17/37 | 240 |
| 60 | 45 | 225S/M | 3560 | 143 | 8,00 | 121 | 2,6 | 3,0 | 88,0 | 90,0 | 91,7 | 0,82 | 0,87 | 0,90 | 1,00 | 0,34083 | 17/37 | 380 |
| 75 | 55 | 225S/M | 3555 | 174 | 8,00 | 148 | 2,5 | 2,7 | 89,0 | 91,3 | 92,4 | 0,85 | 0,88 | 0,90 | 1,00 | 0,44846 | 13/29 | 430 |
| 100 | 75 | 250S/M | 3560 | 233 | 8,20 | 201 | 3,0 | 3,3 | 90,0 | 92,1 | 93,0 | 0,85 | 0,90 | 0,91 | 1,00 | 0,50227 | 11/24 | 465 |
| 125 | 90 | 280S/M | 3575 | 289 | 8,50 | 241 | 2,5 | 3,0 | 89,0 | 91,5 | 93,0 | 0,80 | 0,85 | 0,88 | 1,00 | 1,27083 | 50/110 | 735 |
| 150 | 110 | 280S/M | 3570 | 344 | 7,80 | 294 | 2,5 | 2,7 | 89,0 | 92,0 | 93,3 | 0,82 | 0,86 | 0,90 | 1,00 | 1,27083 | 34/75 | 735 |
| 175 | 132 | 315S/M | 3565 | 412 | 7,90 | 354 | 2,5 | 2,6 | 89,2 | 92,0 | 93,5 | 0,85 | 0,88 | 0,90 | 1,00 | 1,41204 | 26/57 | 814 |
| 200 | 150 | 315S/M | 3575 | 465 | 8,20 | 401 | 2,7 | 2,8 | 90,0 | 92,5 | 94,1 | 0,84 | 0,87 | 0,90 | 1,00 | 1,64738 | 25/55 | 883 |
| 250 | 185 | 315S/M | 3570 | 573 | 8,10 | 495 | 2,9 | 2,7 | 90,0 | 92,8 | 94,1 | 0,86 | 0,89 | 0,90 | 1,00 | 2,11806 | 30/66 | 1007 |
| 250 | 185 | 355M/L | 3580 | 567 | 7,50 | 494 | 1,8 | 2,5 | 90,8 | 92,9 | 94,1 | 0,88 | 0,90 | 0,91 | 1,00 | 3,67719 | 70/154 | 1302 |
| 270 | 200 | 355M/L | 3580 | 608 | 7,80 | 533 | 1,7 | 2,8 | 91,0 | 92,5 | 93,8 | 0,88 | 0,91 | 0,92 | 1,00 | 4,02193 | 70/154 | 1330 |
| 300 | 200 | 315S | 3565 | 733 | 5,50 | 536 | 1,5 | 2,4 | 90,0 | 91,5 | 92,7 | 0,70 | 0,80 | 0,85 | 1,00 | 2,61000 | 30/70 | 1430 |
| 300 | 220 | 355M/L | 3580 | 662 | 7,20 | 587 | 1,7 | 2,5 | 91,0 | 92,7 | 93,8 | 0,88 | 0,91 | 0,93 | 1,00 | 4,36666 | 70/154 | 1515 |
| 350 | 260 | 315S | 3570 | 851 | 7,60 | 696 | 1,7 | 2,4 | 91,0 | 92,5 | 93,2 | 0,75 | 0,83 | 0,86 | 1,00 | 2,65300 | 30/70 | 1450 |
| 350 | 260 | 355M/L | 3580 | 781 | 7,60 | 694 | 1,7 | 2,4 | 91,8 | 93,8 | 94,0 | 0,89 | 0,92 | 0,93 | 1,00 | 5,17105 | 60/132 | 1650 |
| 400 | 300 | 315S | 3570 | 976 | 6,20 | 803 | 2,0 | 2,7 | 91,5 | 93,0 | 93,8 | 0,74 | 0,83 | 0,86 | 1,00 | 3,06700 | 32/75 | 1480 |
| 450 | 330 | 315S | 3575 | 1060 | 6,60 | 882 | 1,9 | 2,7 | 92,3 | 93,6 | 93,8 | 0,78 | 0,85 | 0,87 | 1,00 | 3,37560 | 25/16 | 1520 |
| 500 | 370 | 315S | 3575 | 1260 | 7,80 | 989 | 2,5 | 2,8 | 94,0 | 95,0 | 95,0 | 0,68 | 0,77 | 0,81 | 1,00 | 3,75070 | 58/26 | 1560 |

1800 RPM - 60 Hz

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|--------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|---------|-------|-----|
| 0,16 | 0,12 | 63 | 1720 | 0,89 | 4,50 | 0,67 | 3,2 | 3,4 | 45,0 | 52,0 | 57,0 | 0,46 | 0,55 | 0,62 | 1,15 | 0,00045 | 31/68 | 7 |
| 0,25 | 0,18 | 63 | 1710 | 1,14 | 4,50 | 1,01 | 2,8 | 3,0 | 53,0 | 60,0 | 64,0 | 0,47 | 0,57 | 0,65 | 1,15 | 0,00056 | 18/40 | 8 |
| 0,33 | 0,25 | 63 | 1710 | 1,44 | 4,50 | 1,40 | 2,9 | 2,9 | 59,0 | 64,0 | 67,0 | 0,48 | 0,59 | 0,68 | 1,15 | 0,00067 | 20/44 | 8 |
| 0,5 | 0,37 | 71 | 1710 | 2,00 | 5,00 | 2,06 | 2,7 | 3,0 | 56,0 | 64,0 | 68,0 | 0,48 | 0,59 | 0,69 | 1,15 | 0,00079 | 10/22 | 10 |
| 0,75 | 0,55 | 71 | 1705 | 2,90 | 5,50 | 3,08 | 3,0 | 3,2 | 62,0 | 69,0 | 71,0 | 0,49 | 0,60 | 0,70 | 1,15 | 0,00096 | 10/22 | 12 |
| 1 | 0,75 | 80 | 1720 | 3,02 | 7,20 | 4,17 | 2,5 | 2,9 | 72,0 | 77,5 | 79,5 | 0,62 | 0,74 | 0,82 | 1,15 | 0,00294 | 8/18 | 15 |
| 1,5 | 1,1 | 80 | 1720 | 4,43 | 7,80 | 6,11 | 2,9 | 3,2 | 72,0 | 77,0 | 79,5 | 0,60 | 0,73 | 0,82 | 1,15 | 0,00328 | 5/11 | 17 |
| 2 | 1,5 | 90S | 1720 | 6,12 | 6,40 | 8,33 | 2,5 | 3,0 | 77,0 | 81,0 | 82,5 | 0,60 | 0,72 | 0,78 | 1,15 | 0,00560 | 7/15 | 22 |
| 3 | 2,2 | 90L | 1730 | 8,70 | 6,80 | 12,2 | 2,6 | 2,8 | 79,0 | 82,0 | 83,0 | 0,64 | 0,75 | 0,80 | 1,15 | 0,00672 | 6/13 | 23 |
| 4 | 3 | 100L | 1725 | 11,9 | 7,80 | 16,6 | 2,5 | 2,8 | 80,0 | 81,0 | 83,0 | 0,61 | 0,73 | 0,80 | 1,15 | 0,00918 | 6/13 | 35 |
| 5 | 3,7 | 100L | 1715 | 14,0 | 7,60 | 20,6 | 2,9 | 3,1 | 82,5 | 84,3 | 85,5 | 0,63 | 0,75 | 0,81 | 1,15 | 0,00995 | 7/15 | 35 |
| 6 | 4,5 | 112M | 1720 | 16,4 | 8,00 | 25,0 | 2,6 | 2,8 | 83,0 | 84,0 | 85,5 | 0,66 | 0,77 | 0,84 | 1,15 | 0,01741 | 7/15 | 45 |
| 7,5 | 5,5 | 112M | 1740 | 20,0 | 7,00 | 30,2 | 2,2 | 2,8 | 86,6 | 87,5 | 88,0 | 0,63 | 0,74 | 0,82 | 1,15 | 0,01741 | 11/24 | 46 |
| 10 | 7,5 | 132S | 1760 | 26,6 | 8,00 | 40,7 | 2,2 | 3,0 | 86,0 | 88,0 | 89,0 | 0,66 | 0,77 | 0,83 | 1,15 | 0,04652 | 5/11 | 62 |
| 12,5 | 9,2 | 132M | 1755 | 33,3 | 8,70 | 50,1 | 2,5 | 2,9 | 86,3 | 87,8 | 88,5 | 0,62 | 0,73 | 0,82 | 1,15 | 0,05427 | 4/9 | 72 |
| 15 | 11 | 132M | 1755 | 39,3 | 8,30 | 59,9 | 2,3 | 2,8 | 86,8 | 88,2 | 88,5 | 0,68 | 0,80 | 0,83 | 1,15 | 0,05815 | 4/9 | 73 |
| 20 | 15 | 160M | 1760 | 52,6 | 6,30 | 81,4 | 2,3 | 2,2 | 88,0 | 89,3 | 90,2 | 0,69 | 0,79 | 0,83 | 1,15 | 0,09535 | 10/22 | 120 |
| 25 | 18,5 | 160L | 1760 | 64,3 | 6,50 | 100 | 2,3 | 2,4 | 89,0 | 90,0 | 91,0 | 0,70 | 0,79 | 0,83 | 1,15 | 0,11542 | 8/18 | 135 |
| 30 | 22 | 180M | 1765 | 75,5 | 7,50 | 119 | 2,8 | 2,8 | 89,3 | 90,0 | 91,0 | 0,70 | 0,80 | 0,84 | 1,15 | 0,16145 | 9/20 | 160 |
| 40 | 30 | 200M | 1770 | 101 | 6,60 | 162 | 2,3 | 2,5 | 89,5 | 90,5 | 91,7 | 0,72 | 0,82 | 0,85 | 1,15 | 0,27579 | 14/31 | 209 |
| 50 | 37 | 200L | 1770 | 122 | 6,60 | 200 | 2,3 | 2,3 | 90,2 | 91,5 | 92,4 | 0,75 | 0,83 | 0,86 | 1,15 | 0,33095 | 12/26 | 232 |
| 60 | 45 | 225S/M | 1775 | 146 | 7,20 | 242 | 2,3 | 2,7 | 91,0 | 92,2 | 93,0 | 0,75 | 0,84 | 0,87 | 1,00 | 0,69987 | 10/44 | 415 |
| 75 | 55 | 225S/M | 1770 | 176 | 7,40 | 297 | 2,2 | 2,7 | 90,3 | 92,0 | 93,0 | 0,76 | 0,84 | 0,88 | 1,00 | 0,80485 | 15/33 | 415 |
| 100 | 75 | 250S/M | 1775 | 243 | 8,80 | 404 | 3,2 | 3,2 | 91,5 | 92,5 | 93,2 | 0,74 | 0,83 | 0,87 | 1,15 | 1,15478 | 11/24 | 520 |
| 125 | 90 | 280S/M | 1780 | 295 | 7,30 | 483 | 2,2 | 2,5 | 90,0 | 92,0 | 93,2 | 0,76 | 0,84 | 0,86 | 1,00 | 1,84681 | 19/42 | 710 |
| 150 | 110 | 280S/M | 1780 | 355 | 8,30 | 590 | 2,6 | 2,7 | 90,0 | 92,3 | 93,5 | 0,78 | 0,84 | 0,87 | 1,00 | 2,56947 | 20/44 | 800 |
| 175 | 132 | 315S/M | 1780 | 433 | 7,50 | 709 | 2,5 | 2,5 | 91,0 | 93,0 | 94,1 | 0,80 | 0,83 | 0,85 | 1,00 | 2,81036 | 14/31 | 880 |
| 200 | 150 | 315S/M | 1780 | 484 | 7,50 | 805 | 2,4 | 2,6 | 90,5 | 93,0 | 94,5 | 0,75 | 0,83 | 0,86 | 1,00 | 3,21184 | 19/42 | 950 |
| 250 | 185 | 315S | 1780 | 612 | 6,60 | 993 | 2,0 | 2,5 | 93,4 | 94,4 | 94,5 | 0,71 | 0,80 | 0,84 | 1,00 | 3,53557 | 25/57 | 109 |