

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE
CAPTACIÓN DE HUMOS CON FILTRO DE MANGAS
PARA UN HORNO DE 30TON DE COLADA**

INFORME DE SUFICIENCIA

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

ALAN MILTON QUISPE PEÑA

PROMOCIÓN 2008-II

LIMA-PERÚ

2012

INDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	6
INTRODUCCIÓN	6
1.1 Antecedentes	6
1.2 Objetivo	6
1.3 Justificación	7
1.4 Limitaciones	7
CAPÍTULO II	6
LÍMITES PERMISIBLES DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL AIRE	9
2.1 Conceptos previos de contaminación por fundición	11
2.2 Impacto en la salud de la contaminación del aire	13
2.3 Estándar de calidad ambiental y límites máximos permisibles	15
2.4 Estándares de calidad para aire	16
CAPÍTULO III	19
EL HORNO ELÉCTRICO DE ARCO	19
3.1 Generalidades	19
3.2 Componentes mecánicos del horno	23
3.3 Emisiones producidas por el horno	27
3.3.1 Emisiones características del proceso de fundición	27

3.3.2	Evaluación de las emisiones	29
CAPÍTULO IV		32
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUMOS		32
4.1	Objetivos del Sistema	32
4.2	Procesos de tratamiento de las emisiones	33
4.3	Sistemas de extracción de partículas	38
4.3.1	Sistema de extracción para emisiones primarias	38
4.3.2	Sistema de extracción para emisiones secundarias	39
4.4	Componentes principales del sistema	41
4.4.1	Campana de aspiración	41
4.4.2	Sistema de conductos	44
4.4.3	Dispositivo de control	48
4.4.4	Ventiladores	48
4.4.5	Chimenea	54
CAPÍTULO V		56
TEORÍA DE PARTÍCULAS Y MEDIOS FILTRANTES		56
5.1	Características de las partículas	56
5.2	Métodos de análisis del tamaño de las partículas	60
5.3	Comportamiento de las partículas en los fluidos	63
5.3.1	Fuerza de arrastre y sustentación	63
5.3.2	Flujos en medios porosos	70
5.4	Medios filtrantes	74

5.4.1	Cámara de sedimentación	76
5.4.2	Ciclones	77
5.4.3	Filtros	79
5.4.4	Electrofiltros	80
5.4.5	Colectores húmedos	81
CAPÍTULO VI		82
FILTRO DE MANGAS		82
6.1	Descripción y funcionamiento	82
6.2	Características de las mangas	85
6.3	Partes constituyentes	87
6.4	Clasificación de los filtros de mangas	89
6.4.1	Limpieza por agitación	90
6.4.2	Limpieza con aire a la inversa	91
6.4.3	Limpieza por chorro pulsante (Pulse Jet)	93
6.5	Consideraciones para el diseño	95
CAPÍTULO VII		98
DISEÑO Y CÁLCULO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE HUMOS		98
7.1	Parámetros y condiciones de diseño	98
7.2	Cálculo de emisiones	98
7.3	Descripción del sistema de captación de humos	101
7.4	Cálculo de campana de captación	103
7.5	Cálculo de los conductos de transporte	108

7.6	Selección del medio filtrante	116
7.7	Cálculo del filtro de mangas	118
7.8	Cálculo de la chimenea	126
7.9	Selección del ventilador	130

CAPÍTULO VIII

133

SISTEMA DE LIMPIEZA DE MANGAS

133

8.1	Sistema pulse jet y el proceso de limpieza de mangas	133
8.2	Componentes del sistema pulse jet	137
8.3	Criterios de diseño del sistema de aire comprimido	143

CAPÍTULO IX

150

PROCEDIMIENTO DE MONTAJE DEL FILTRO DE MANGAS

150

CONCLUSIONES

167

BIBLIOGRAFIA

171

ANEXOS

174

Anexo 1: Estándares de calidad ambiental para aire

Anexo 2: Información sobre hornos de arco eléctrico

Anexo 3: Guías para selección de dispositivos de control

Anexo 4: Tablas para selección de telas filtrantes

Anexo 5: Información para el diseño de sistemas de ventilación

Anexo 6: Planos

PRÓLOGO

El presente informe comprende las etapas de Diseño e Instalación de un Sistema de Captación de Humos y Polvos primarios y secundarios, que constituyen las emisiones gaseosas provenientes del proceso fundición de acero en una Planta Siderúrgica. Dicha Planta empleará como fuente de fundición del acero, a un horno eléctrico de arco de 30ton de colada. Tanto el horno y el sistema de captación de humos conforman así parte de un proyecto conjunto de aumento de capacidad de producción de una Planta Siderúrgica.

El primer capítulo es la Introducción del informe.

Los capítulos II y III, constituyen la parte inicial del marco teórico, y presentan a la fuente de emisión: el horno de arco eléctrico, las emisiones que éste produce y los parámetros de control de dichas emisiones al ambiente. El proceso de obtención del acero por fundición, trae consigo la generación de residuos y emisiones que están directamente relacionados con el tipo de material usado (hierro fundido, acero, bronce o aluminio) así como de la tecnología empleada. La materia empleada por el horno de arco eléctrico son: la chatarra de acero, escoria rica en carbono y cal o piedra caliza. La cantidad de emisiones tiene una relación directa con la cantidad de

acero producido por la Planta. Para un horno eléctrico de arco, las emisiones típicas producidas son las siguientes: CO₂, CO, NO_x, SO₂, CH₄, Componentes Orgánicos Volátiles (COV), Polvo y metales pesados. Estas emisiones producidas en el proceso, generan contaminación del ambiente y, por tanto, deben de ser controladas y minimizadas hasta límites aceptables por los Reglamentos y Normativas establecidas por la región de ubicación. A nivel mundial, la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) ha logrado estandarizar los procedimientos de Control Ambiental para una diversidad de casos a nivel industrial, y han servido como referencia para este trabajo.

Los capítulos IV, V y VI complementan el marco teórico exponiendo aquí todo lo concerniente al sistema de captación de humos. El elemento principal del sistema de captación de humos es el dispositivo de control o medio filtrante. Para nuestro caso, el dispositivo de control estará constituido por un Filtro de Mangas tipo Chorro Pulsado. Como parte importante para entender la teoría de filtración, el capítulo V describe los principales conceptos que establecen el comportamiento de las partículas de polvo que se generan en grandes cantidades y que permanecen en suspensión en los gases emitidos constituyendo así un sistema sólido-gas. El polvo, para nuestro caso polvo metálico, lo llamaremos materia particulada a lo largo del texto ya que su nombre específico de polvo depende del tamaño del mismo, deben ser arrastrados por la corriente gaseosa hasta llegar al dispositivo de control que se encargará de capturarlo.

Como se comentó, tenemos 2 tipos de emisiones. Las emisiones primarias, son aquellas que se captan directamente de la fuente, el horno tiene para ello un agujero en su bóveda que está conectado con el sistema de captación, al cual se le conoce como cuarto agujero. Mientras que las emisiones secundarias son aquellas que no son posibles capturar directamente del horno, ya que escapan durante las operaciones de recarga de chatarra, remoción de escoria y descarga del metal fundido en los cuales se abre la tapa del horno y se dispersan en el medio. Por tanto, las emisiones secundarias deben ser capturadas en la nave industrial donde se encuentra instalado el horno, y se debe procurar que estas sean capturadas lo más cerca posible de la fuente de emisión. Entonces, al tratarse de dos tipos de emisiones se requiere de dos sistemas de captación que pueden ser independientes o conectados entre sí, llamándose a éste último: sistema combinado.

Un sistema de captación de humos típico está constituido por campanas de captación que captan las emisiones en la fuente, sistemas de conductos para transportarlas, dispositivo de control para capturarlas (limpiarlas), chimenea para dispersarlas a la atmósfera una vez limpias y ventiladores que proporcionan la energía necesaria para moverlas a través del dispositivo de control. El dispositivo de control es el componente principal del sistema de captación, ya que de éste depende que los gases contaminados sean limpiados hasta cumplir con los límites permisibles de contaminación. El dispositivo de control que se emplea en el presente proyecto, es un Filtro de Mangas tipo Chorro Pulsado.

Los Filtros de Mangas constituyen uno de los equipos más representativos de la separación sólido-gas mediante un medio poroso y aparecen en todos aquellos procesos en los que sea necesaria la eliminación de partículas sólidas de una corriente gaseosa, haciéndolas pasar a través de un tejido. La característica de operación principal de los filtros de mangas que los distingue de otros filtros de gas es la capacidad de renovar la superficie de filtración periódicamente por medio de limpiezas, a diferencia de los filtros comunes que deben ser desechados después de que se acumule una capa significativa de polvo sobre su superficie.

Los filtros de mangas son capaces de recoger altas cargas de concentración de partículas con una alta eficiencia de filtración, partículas resultantes de procesos industriales de muy diversos sectores incluyendo al siderúrgico. En términos más simples, el filtro de tela es una versión a gran escala de una aspiradora; se provoca que el gas efluente fluya a través del material del filtro y que las partículas se remuevan sobre este material. Los mecanismos que intervienen en el filtro de tela son más complejos que el tamizado directo de las partículas para separarlas de la corriente de aire. Esto se prueba por medio de las eficiencias elevadas que se obtienen al colectar partículas, las cuales son más pequeñas que los intersticios en la tela del filtro. Todo ello se explicará en detalle en el desarrollo de los capítulos del informe.

En el capítulo VII se realiza la selección, dimensionamiento y cálculo de los componentes principales del sistema de captación de humos. Este capítulo se apoya

tanto en el marco teórico, como en guías, tablas y gráficos mostrados en los anexos. Muchas de las fórmulas empleadas en los cálculos son descritas directamente en este capítulo y han sido obtenidas de las referencias indicadas en la bibliografía.

El capítulo VIII describe el Sistema de Limpieza de Mangas (del Filtro de Mangas), no se realiza el cálculo pero se indican los criterios para diseñar dicho sistema. Finalmente en el capítulo VIII, se presentará un procedimiento recomendado, no es el único, para una correcta instalación del Filtro de Mangas y que éste pueda operar correctamente

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El presente informe está basado en un proyecto ejecutado por una empresa siderúrgica de gran envergadura en el país, que no cuenta con sistemas de captación de humos para contrarrestar las emisiones que se generan a diario en la Planta. Como parte de un proyecto conjunto, y en post del mejoramiento de la calidad del aire de la ciudad, la empresa aparte de instalar su nuevo horno eléctrico de arco con su sistema de captación, va a instalar otro sistema de captación para sus instalaciones actuales, que son unos Convertidores LD, que no se tratarán en este trabajo. Dicho esto, es entendible que no se cuenta con data histórica en dicha Planta de este tipo de sistemas.

1.2 OBJETIVO

Comprende las etapas de Diseño e Instalación de un Sistema para realizar el Tratamiento de los Humos provenientes de un Horno Eléctrico de Arco (EAF) de Producción de Acero de 30 Ton por colada en una Planta Siderúrgica. La función del sistema es recuperar las partículas nocivas de material antes de que estas fuesen

liberadas hacia la atmósfera, con ello minimizar la contaminación industrial del aire, basados en los estándares nacionales de calidad del aire. Para ello se realizará el filtrado del polvo metálico que son arrastrados por los gases calientes provenientes del proceso de fundición, teniendo como elemento principal de captación un Filtro de Mangas tipo Chorro Pulsado.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Minimizar la contaminación ambiental producida en las plantas de fundición de acero, para preservar la conservación del medio ambiente, manteniendo los estándares nacionales de la calidad del aire. De esta manera podremos dar una mejor calidad de vida a las personas que habitan dicha ciudad protegiendo su salud.

1.4 LIMITACIONES

Como ya se indicó, en este trabajo, tanto el horno como el sistema de captación conformarán parte de un proyecto conjunto de aumento de capacidad de producción de una Planta Siderúrgica, por lo que para realizar el diseño del sistema de captación se debe tomar datos del fabricante del horno y/o datos de instalaciones similares en cuanto a las características de las emisiones producidas. No siendo posible tomar datos actuales de la instalación acerca de las características de las emisiones, que serían favorables para el diseño, ya que se basaría éste en datos reales y no en datos teóricos.

Además, tampoco será posible verificar las constantes de filtración planteadas en el documento, empleando prototipos del modelo general. Otra limitación, es que no se realizará el diseño del sistema de refrigeración de los conductos, que se instala en el primer tramo de los conductos de transporte inmediatamente a la salida de la fuente de emisiones primarias para disminuir su temperatura hasta la temperatura de operación del sistema. Asimismo, no se realizará el diseño de componentes estructurales, tales como soportes de conductos, estructura soporte y estructura de los compartimientos del Filtro de Mangas, etc.; y sistemas complementarios como sistema de aire comprimido para accionamiento de válvulas y sistema de eliminación de las partículas recolectadas por el Filtro de Mangas.

CAPITULO II

LÍMITES PERMISIBLES DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL AIRE

Las Industrias en general tienen la obligación de controlar sus emisiones contaminantes del ambiente producto de sus actividades. Las opciones con las que cuentan para el control de la contaminación las podemos agrupar en:

- Mejoramiento de la dispersión (chimeneas altas, protocolos de control intermitente, reubicación de la planta)
- Prevención de la contaminación (modificaciones en el proceso)
- Tratamiento de la corriente contaminada.

El empleo de chimeneas altas disminuye la concentración de contaminantes en los alrededores de la chimenea, pero no hay certeza sobre que ocurre en lugares alejados.

En tanto que, la reubicación de la planta es un método de control muy difícil de implementar. Tal vez se puede actuar en las etapas previas a la ubicación de la planta, realizando estudios de los mapas de vientos y condiciones atmosféricas de las zonas candidatas para el establecimiento de la planta. Por otra parte, los protocolos

de control intermitente están basados en el *control predictivo*, donde se tiene el conocimiento de la dinámica de las condiciones atmosféricas que determinan la dispersión de los contaminantes, y el *control observacional*, en el que un sistema de sensores informan de la calidad del aire, aunque tiene como problema el tiempo de respuesta y acción, siendo útil entonces como sistema complementario al control predictivo.

La alternativa de modificar el proceso puede ser la opción más económica de reducir contaminantes. Como por ejemplo, el uso de hornos más modernos que producen efluentes gaseosos de poco volumen y alta concentración, la incineración de residuos sólidos urbanos en incineradores cerrados, etc. Siendo un poco más drásticos, podemos hablar de prevención total de la contaminación, por ejemplo el sustituir carbón/madera por gas natural en sistemas de calefacción, sustituir gasolinas por gas natural/bioetanol/propano, etc.

Si no se puede dar las 2 anteriores, se recurre al tratamiento de la corriente contaminada hasta niveles aceptables para su descarga al ambiente. Ahora, vale decir, que si el contaminante es un material valioso puede resultar más económico el recuperarlo que el emitirlo, conllevando ello a una modificación del proceso también. Si la emisión del contaminante no puede ser evitada, si el contaminante no puede ser revalorizado, ni destruido por oxidación, el destino final entonces será su depósito. El presente trabajo toma el principio del tratamiento de la corriente contaminada, los niveles aceptables que mencionamos, serán determinados por las leyes de la región.

Dentro del marco legal peruano, la Ley General del Ambiente “Ley N°28611”, promulgada por el Ministerio de Medio Ambiente (MINAM), establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable de vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida, asimismo debe de contribuir a una efectiva gestión ambiental y protección de su medio ambiente, asegurando sobre todo la salud de las personas, la conservación de la diversidad biológica y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales del país. Por ello, el Ministerio del Ambiente, ha elaborado dentro de sus funciones, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) que precisamente regulan y controlan dichas emisiones para que no sean perjudiciales. Para una mejor comprensión de los términos empleados en la definición de los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Permisibles, daremos previamente algunas definiciones conceptuales.

2.1 CONCEPTOS PREVIOS DE CONTAMINACIÓN POR FUNDICIÓN

- **Contaminantes ambientales de la industria de la fundición:** Son principalmente los siguientes: dióxido de azufre, material particulado, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos reactivos, metales pesados, compuestos orgánicos volátiles. En la atmósfera, estos contaminantes se pueden encontrar en cualquiera de las 3 formas: gaseosas, líquidas y sólidas; sin embargo, las formas físicas generalmente consideradas para contaminación ambiental son:

Partículas, pequeñas masas discretas de materia sólida o líquido, como lo son el polvo, los humos, la neblina y la ceniza flotante.

Gases, bajo la forma de moléculas ampliamente separadas entre sí que poseen un movimiento muy rápido y no tienen una forma ni un volumen definidos.

- **Material particulado (PTS);** el material particulado o partículas totales suspendidas son acumulaciones de gotitas de un sólido o líquido en la atmósfera ambiental generada a partir de alguna actividad. No son químicamente uniformes, por tanto no poseen una composición química definida, tiene como componentes principales: polvo, hollín, plomo, sulfatos e hidrocarburos. Poseen una variedad de tamaños, formas y composiciones químicas, formando una mezcla heterogénea. Afectan el balance de la radiación terrestre y poseen efectos nocivos sobre la salud. Las partículas penetran en los pulmones, bloqueándolos y evitando el paso del aire.
- **Compuestos orgánicos volátiles (COV);** son sustancias químicas que contienen carbono, y otros elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Se convierten fácilmente en vapores o gases, siendo liberados por la quema de combustibles como gasolina, madera, carbón o gas natural. También son liberados por disolventes y pinturas, entre otros. Son peligrosos contaminantes del aire, destructores del ozono estratosférico, y contribuyen a la formación del smog fotoquímico al reaccionar con otros contaminantes atmosféricos y con la luz solar.

- **Índices de calidad del aire de materia particulada;** en los últimos años, los organismos gubernamentales de varios países están controlando los valores de PM₁₀, es decir, la concentración total de partículas con tamaño menor a 10µm, que corresponden a todo el rango de partículas finas más pequeñas, del rango de las gruesas, y que se conocen como partículas inhalables. Un valor típico de PM₁₀ en un núcleo urbano es de 30µm/m³.

2.2 IMPACTO EN LA SALUD DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

La exposición crónica a contaminantes aéreos tiene repercusiones irreversibles sobre la función pulmonar; incrementa la morbilidad, mortalidad y discapacidad por enfermedades respiratorias crónicas. Cualquier evento que afecte el desarrollo normal del aparato respiratorio en el periodo de la niñez y adolescencia, tendrá repercusiones permanentes en la vida de los afectados.

El material particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) causa daño alveolar y un incremento de 1% en la concentración de PM₁₀ produce incremento de la mortalidad en enfermedades asmáticas. Otras investigaciones orientadas a las enfermedades asmáticas concluyen que el incremento en los síntomas está asociado a las exposiciones de PM₁₀ que va de 1.1% a 11%. La clasificación de las partículas como gruesas y finas, depende entonces de su tamaño, dependiendo de que sus diámetros sean mayores o menores a 2.5µm, respectivamente.

Hay diferentes razones generales que explican porque las partículas grandes son menos preocupantes para la salud humana que las más pequeñas:

Debido a que las partículas gruesas sedimentan rápidamente, la exposición a ellas por vía de inhalación se reduce.

Cuando se inhalan, las partículas gruesas son filtradas de forma efectiva por la nariz (gracias a los pelos) y por la garganta y, generalmente, no llegan a los pulmones. En cambio, las partículas finas, al ser inhaladas, van a los pulmones (debido a lo cual se denominan “respirables”) y pueden adsorberse sobre las superficies de las células y, en consecuencia, afectar nuestra salud.

El área superficial por unidad de masa de las partículas grandes, es menor que las correspondientes a las partículas más pequeñas, con lo que, gramo a gramo, su capacidad de transportar gases adsorbidos a cualquier parte del sistema respiratorio y, allí, catalizar reacciones químicas y bioquímicas es, correspondientemente, más pequeña.

Por otra parte, el dióxido de azufre SO_2 también produce daño en el aparato respiratorio, los efectos de este contaminante se manifiestan en la bronquitis. Las emisiones de plantas pesqueras, Siderúrgicas y parque automotor por la combustión de combustibles como: diesel 2, residual 500 y bunker 6 contribuyen al daño de la salud de la población, porque producen compuestos orgánicos volátiles y gases como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado estos a su vez contienen metales, hidrocarburos policíclicos aromáticos ocasionando irritación en las membranas mucosas y vías aéreas inferiores.

Los estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles establecen medidas de control para estos contaminantes.

2.3 ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP)

El Ministerio del Ambiente, ha elaborado dentro de sus funciones, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), teniendo como guía los dictados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), con la finalidad de contar con parámetros de control del grado de emisiones que pueden producir las industrias. Están clasificados acorde con el agente contaminado, el tipo de industria que lo produce y el riesgo a la salud. Los mismos son renovados cada cierto periodo estableciendo nuevos niveles de calidad, dependiendo inclusive de la situación actual de la región (grado de contaminación).

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) constituyen así, instrumentos de gestión ambiental que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental en que vivimos, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas. Ambos constituyen un punto de partida para:

Desarrollo e implementación de planes para la prevención, control y descontaminación.

Movimiento de recursos financieros y humanos.

Promoción de tecnologías y producción más limpia.

Los ECA son indicadores de calidad ambiental, miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire,

agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, pero que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente.

Los LMP miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en las emisiones, efluentes o descargas generadas por una actividad productiva (minería, hidrocarburos, electricidad, etc.), que al exceder causa daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y las instituciones que forman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

Una de las diferencias es que la medición de un ECA se realiza directamente en cuerpos receptores, mientras que un LMP se da en los puntos de emisión y vertimiento. Sin embargo, ambos son indicadores que permiten a través del análisis de sus resultados, establecer políticas ambientales (ECA) y correcciones en el accionar de alguna actividad específica (LMP).

2.4 ESTÁNDARES DE CALIDAD PARA AIRE

Para nuestro caso en particular, una Planta de Producción de Acero, tomamos en consideración los Estándares de Calidad para Aire. Dichos estándares han sido aprobados mediante Decreto Supremo D.S. N°003-2008-MINAM.

Los estándares primarios de calidad del aire consideran los niveles de concentración máxima de los siguientes contaminantes del aire:

Dióxido de Azufre (SO₂)

Material particulado con diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM10)

Monóxido de Carbono (CO)

Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Ozono (O₃)

Plomo (Pb)

Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

En las tablas siguientes, mostramos los valores establecidos que se aprobaron como Estándares de Calidad para Aire, que reemplazan y dejan fuera de vigencia a los estándares del D.S. N°074-2001-PCM, desde el primero de enero del 2009.

Tabla 2.1 Estándares de calidad del aire según D.S. N°003-2008-MINAM

ESTANDAR DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL DIÓXIDO DE AZUFRE SO₂

Parámetro	Periodo	Valor µg/m ³	Vigencia	Formato	Metodo de análisis
Dióxido de azufre (SO ₂)	24 horas	80	1 de enero de 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	20	1 de enero del 2014		

ESTANDAR DE CALIDAD AMBIENTAL PARA COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV); HIDROCARBUROS TOTALES (HT); MATERIAL PARTICULADO CON DIÁMETRO MENOR A 2,5 MICRAS (PM_{2.5})

Parámetro	Periodo	Valor	Vigencia	Formato	Metodo de análisis
Benceno ¹	Anual	4 µg/m ³	1 de enero de 2010	Media aritmética	Cromatografía de gases
		2 µg/m ³	1 de enero de 2014		
Hidrocarburos Totales (HT) Expresado como Hexano	24 horas	100 mg/m ³	1 de enero de 2010	Media aritmética	Ionización de la llama de hidrógeno
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2.5})	24 horas	50 µg/m ³	1 de enero de 2010	Media aritmética	Separación inercial filtración (gravimetría)
	24 horas	25 µg/m ³	1 de enero de 2014	Media aritmética	Separación inercial filtración (gravimetría)
Hidrógeno Sulfurado (H ₂ S)	24 horas	150 µg/m ³	1 de enero de 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)

¹ Único Compuesto Orgánico Volátil regulado (COV)

Tabla 2.2 Estándares de calidad del aire según D.S. N°074-2001-PCM

CONTAMINANTES	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR		METODO DE ANALISIS ^{1[1]}
		VALOR	FORMATO	
Dióxido de Azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial/ filtración (Gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de Carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez/año	
Dióxido de Nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (Método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (Método automático)
Plomo	Anual ^{2[2]}			Método para PM10 (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces/año	
Sulfuro de Hidrógeno	24 horas ²			Fluorescencia UV (método automático)

^{1[1]} O método equivalente aprobado

^{2[2]} A determinarse según lo establecido en el Artículo 5 del presente reglamento

CAPÍTULO III

EL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO

En este capítulo se da a conocer aspectos generales del horno de arco eléctrico para entender su funcionamiento y cómo se producen las emisiones gaseosas, llámense humos y material particulado.

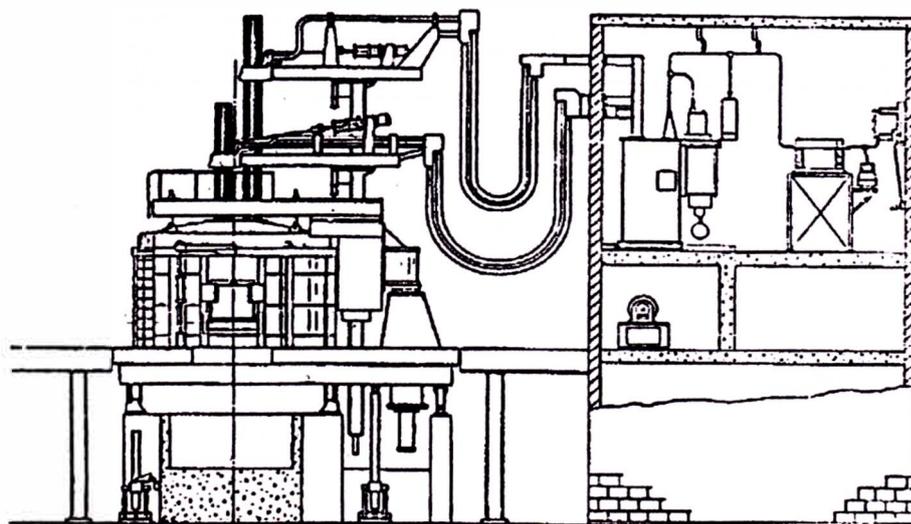
3.1 GENERALIDADES

Los hornos de arco eléctrico son usados principalmente por grandes fundiciones y plantas siderúrgicas para la obtención del acero por fundición de metales. El acero obtenido va desde aceros con regular contenido de carbono hasta aceros de alta aleación, tales como aceros para herramientas, aceros inoxidable y aceros especiales.

Los hornos de arco basan su principio en la transformación de la energía eléctrica en calor aplicado a la carga. La carga se encuentra en el interior de la Cuba (cuerpo) del horno y se establece el arco entre los electrodos o entre los electrodos y la carga. La carga está compuesta casi exclusivamente por chatarra de acero que engloba la posible utilización, total o parcial, de prerreducidos de mineral de hierro como carga. El calor aplicado provoca la elevación de temperatura de la carga. La energía

eléctrica procede de una red de corriente alterna en alta tensión y llega al horno, propiamente dicho, a través de un circuito eléctrico que consta básicamente de:

- Una línea de entrada en alta tensión.
- Un transformador principal, que reduce la tensión de entrada a la requerida en el horno.
- Un circuito eléctrico, a continuación del secundario del transformador, que termina en los electrodos. El *Electrodo* constituye el último elemento conductor de la corriente antes del arco, son de grafito obtenido por un proceso bastante complejo y suministrados por unos pocos fabricantes mundiales, siendo muy escasas las diferencias entre ellos en las características mecánicas y eléctricas.



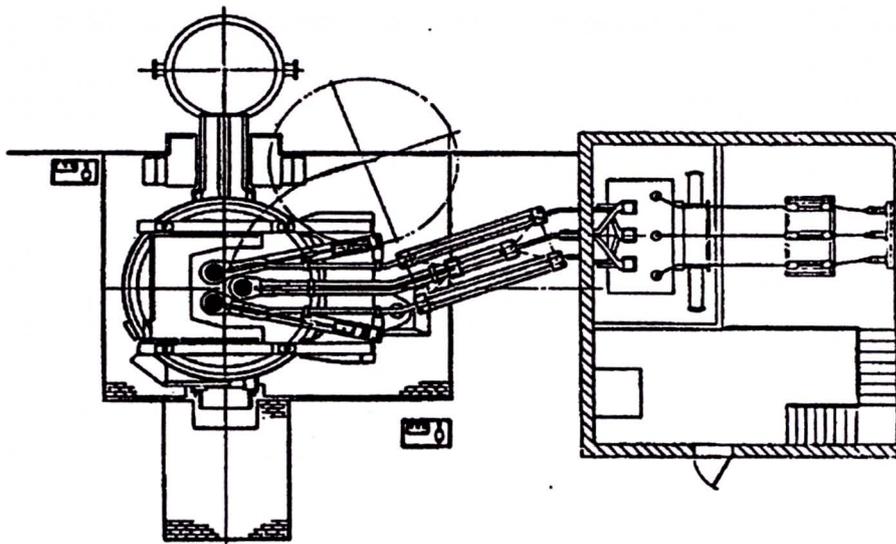


Fig. 3.1 Transformador Principal, Circuito Eléctrico y Horno de Arco.

Los hornos de arco pueden disponer de un solo electrodo (hornos de corriente continua), dos electrodos dispuestos horizontalmente (calentamiento indirecto por radiación del arco al interior de la cuba) o tres electrodos (hornos de corriente alterna).

Un horno típico de corriente alterna tiene tres electrodos. El arco se forma entre el material cargado y el electrodo, así la carga se calienta tanto por la corriente que pasa a través de la carga como por la energía radiante generada por el arco. Los electrodos suben y bajan automáticamente mediante un sistema de posicionamiento, para la regulación del arco y además de permitir quitar la Bóveda (tapa) del horno.

Los tamaños de un horno de arco eléctrico van desde la tonelada de capacidad (utilizado en fundiciones) hasta las 400 toneladas de capacidad utilizados en la industria metalúrgica. La temperatura en el interior de un horno de arco eléctrico

puede alcanzar los 1800 grados Celsius, y puede controlarse eléctricamente con un alto grado de precisión. El horno es revestido interiormente con refractarios que son capaces de soportar altas temperaturas, pero que se deterioran en cierta manera durante el proceso de fusión, generando escoria. Dicha escoria, al añadirse intencionalmente Cal y Sílice, puede proteger al metal derretido del aire, además que extraen ciertas impurezas.

Luego que el metal ha sido fundido y tratado hasta conseguir las condiciones deseadas, es transferido hacia el área de colada en cucharas revestidas con refractarios, Se retira la escoria de la superficie del baño y se vierte el metal en moldes. Los humos provenientes del metal en el área de colada normalmente son extraídos hacia un dispositivo de recolección de polvo. Dicho dispositivo, como se mencionó en el objetivo, será el motivo de la ejecución del presente informe, y se detallará en los capítulos siguientes.

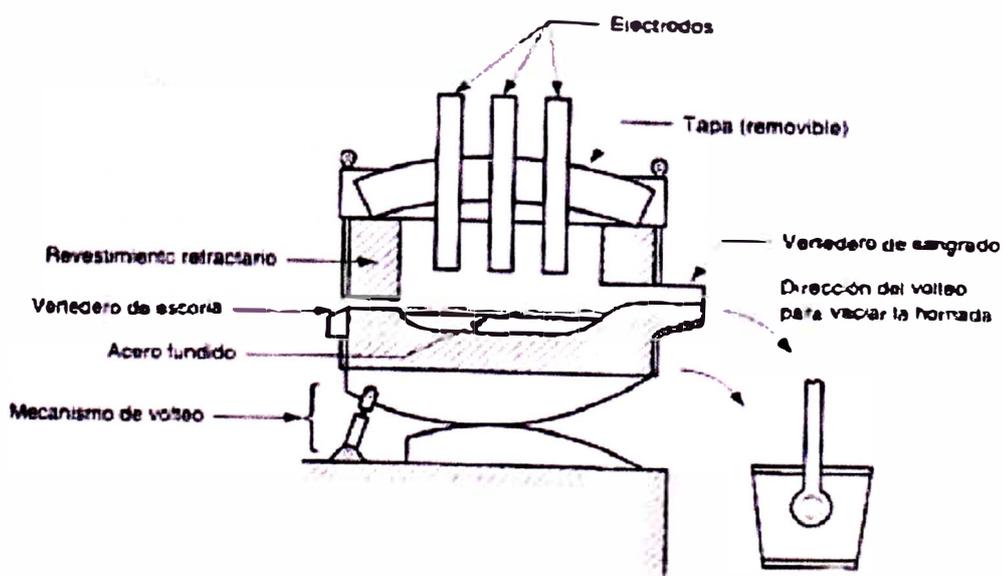


Fig. 3.2 El Horno Eléctrico de Arco

3.2 COMPONENTES MECÁNICOS DEL HORNO

La parte mecánica de un horno de arco eléctrico comprende:

- Horno propiamente dicho donde se realiza la fusión.
- Elementos adicionales, tales como:

Las lanzas de aportación de O_2 y los quemadores oxi-gas; que aparte de generar energía, oxidan la chatarra (reacción exotérmica), los electrodos y el carbón, forma con el carbón una escoria espumosa que protege el arco disminuyendo las pérdidas de calor, además de reducir el contenido de Si, Mn y C del acero durante el afino.

Aspiración y depuración de los humos producidos, los precalentadores de chatarra, si existen, y

Las cestas de carga y las cucharas de colada.

- Materiales refractarios utilizados en el horno y en la cuchara de colada, que aíslan la carga, de las paredes del horno.

A su vez, el horno propiamente dicho está formado por muchos componentes, que se agrupan en:

Cuba y Bóveda

Plataforma y Superestructura

Columnas y Brazos Porta electrodos

Mecanismos de accionamiento

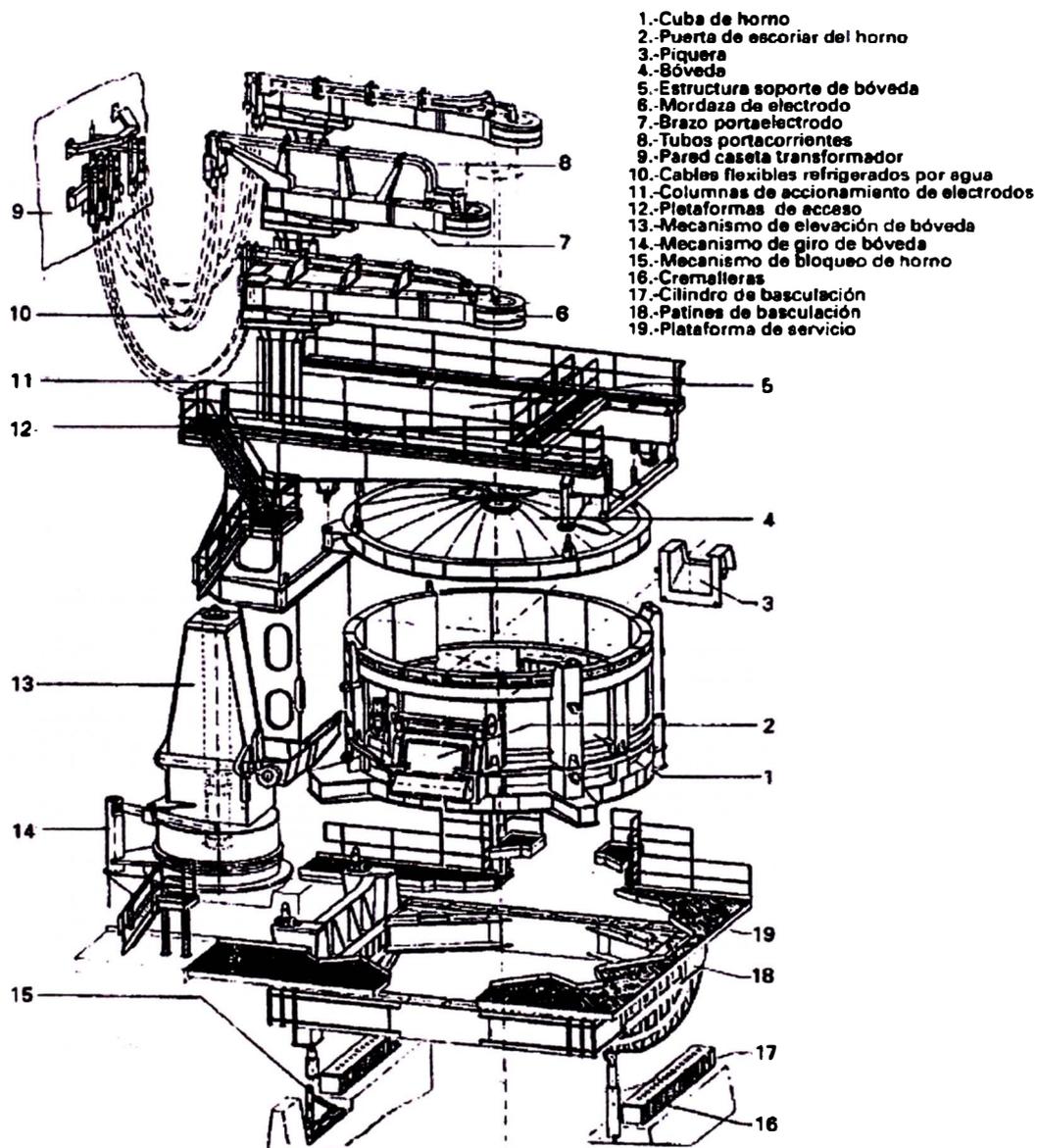


Fig. 3.3 Componentes de la parte mecánica de un Horno de Arco

- a) **Cuba y Bóveda**, la *Cuba* es el elemento fundamental destinado a contener el baño del metal fundido. Las paredes laterales, normalmente son paneles, frecuentemente tubulares y fuertemente refrigerados por agua y con una capa muy ligera de refractario. La

Bóveda (tapa removible), está constituida por tubos de acero refrigerados por agua y/o protegida con ladrillos refractarios. Consta de 3 agujeros en la parte central dispuestos a 120° por donde pasan los electrodos; cuelga de unas vigas de suspensión que permiten su desplazamiento y retirada de encima de la cuba para poder cargar el horno con chatarra fría por la parte superior. Siendo esta operación realizada de 3 a 4 veces en cada colada.

- b) Plataforma y Superestructura,** la *Plataforma* soporta la cuba con la bóveda y sirve de base para la basculación del horno en dos operaciones, de colada y desescoriado. Para ello, lleva cilindros de basculación están provistos de mecanismos de enclavamiento que impiden la caída de la plataforma, cuando se gira la bóveda, y componentes mecánicos que aseguren la vuelta automática a su posición horizontal. La estructura de la plataforma es extraordinariamente robusta, dadas sus condiciones de trabajo (carga de impacto, variación de temperatura). La *Superestructura* tiene como objetivo fundamental soportar excéntricamente los tres conjuntos de columnas-brazos porta electrodos y alojar los mecanismos de accionamiento correspondientes, también actúa como soporte de las vigas de suspensión de la bóveda.
- c) Columnas y brazos portaelectrodos,** los *Brazos portaelectrodos*, comienzan por un lado en las mordazas de apriete de los electrodos, siguen en los tubos de cobre portacorriente soportados por la

estructura de los brazos, para terminar en la unión con los terminales de los cables refrigerados por agua.

- d) Mecanismos de accionamiento,** para basculación del horno en la plataforma, apertura y cierre de la puerta en la cuba, regulación de los electrodos, elevación y giro de bóveda para la carga del horno, y otros. La gran parte de estos accionamientos se realizan con un grupo oleo-hidráulico, situado en una sala debajo o al lado del transformador principal: *Sala hidráulica*.

Cada fabricante de hornos cuenta con diseños propio con particularidades importantes y características específicas, pero el conjunto de la parte mecánica fundamental es el indicado. Las variantes son principalmente en el grado de libertad y diseño de la superestructura: giratoria, elevable, en forma de pórtico, y de la cuba: desplazable horizontalmente y sin plataforma.

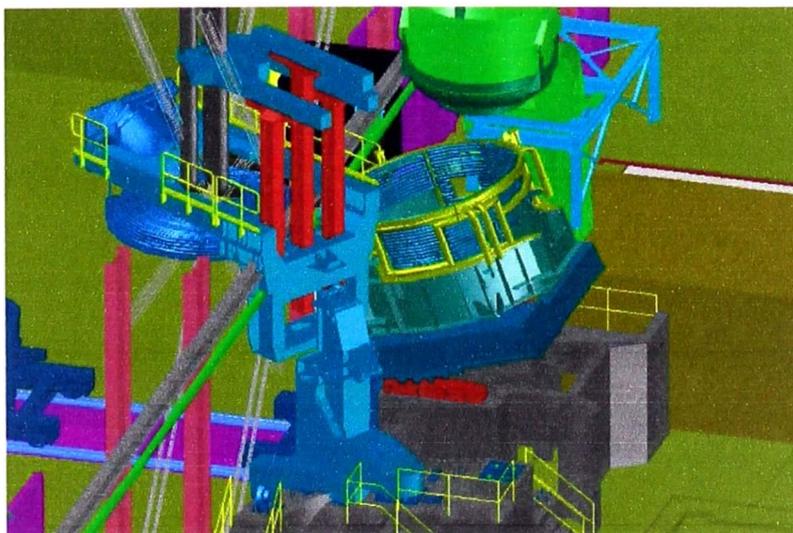


Fig. 3.4 Movimientos del horno durante el vaciado de colada

3.3 EMISIONES PRODUCIDAS POR EL HORNO

3.3.1 Emisiones Características del Proceso de Fundición

Para lograr obtener acero se deben eliminar las impurezas que se encuentran en el arrabio o en las chatarras, controlando dentro de unos límites especificados según el tipo de acero, los contenidos de los elementos que influyan en sus propiedades. Las reacciones químicas que se producen en el proceso se detallan en la tabla 3.1, éstas requieren de temperaturas superiores a los 1000°C para poder eliminar las sustancias perjudiciales, bien en forma gaseosa o bien trasladándolas del baño a la escoria. Producto de ello se generan las siguientes emisiones contaminantes:

Tabla3.1 Principales reacciones químicas en el afino

Elemento	Forma de eliminación	Reacción química
Carbono	Al combinarse con el oxígeno se quema dando lugar a CO y CO ₂ gaseoso que se elimina a través de los humos.	$2 C + O_2 \rightarrow 2 CO$ $2 CO + O_2 \rightarrow 2 CO_2$
Manganeso	Se oxida y pasa a la escoria. Combinado con sílice da lugar a silicatos.	$2 Mn + O_2 \rightarrow 2 MnO$ $MnO + SiO_2 \rightarrow \text{silicatos}$
Silicio	Se oxida y pasa a la escoria. Forma silicatos	$Si + O_2 \rightarrow SiO_2$ $SiO_2 + \text{óxidos} \rightarrow \text{silicatos}$
Fósforo	En una primera fase se oxida y pasa a la escoria. En presencia de carbono y altas temperaturas puede revertir al baño. Para fijarlo a la escoria se añade cal formándose fosfato de calcio.	$4 P + 5 O_2 \rightarrow 2 P_2O_5$ $P_2O_5 + 5 C \rightarrow 2 P + 5 CO$ $2 P + 5 FeO + 3 CaO \rightarrow P_2O_5 \cdot 3 CaO + 5 Fe$
Azufre	Su eliminación debe realizarse mediante el aporte de cal, pasando a la escoria en forma de sulfuro de calcio. La presencia de manganeso favorece la desulfuración.	$S + Fe + CaO \rightarrow FeO + S_{Ca}$ $S + Fe + MnO \rightarrow SMn + FeO$ $S + Fe + Mn \rightarrow SMn + Fe$

- *Dióxido de Azufre (SO₂)*, es un producto gaseoso de la combustión de compuestos que contienen azufre, de olor sofocante y fuerte. Se oxida en la atmósfera húmeda y se transforma en ácido sulfúrico.
- *Monóxido de Carbono (CO)*, gas producido por la combustión incompleta del carbono o de sustancias orgánicas. Es un gas tóxico que en concentraciones elevadas puede provocar incluso la muerte, por lo que se debe controlar al máximo.
- *Dióxido de Carbono (CO₂)*, la combustión completa del carbono produce CO₂ que es el principal contribuyente al efecto invernadero. Este componente es una consecuencia inevitable de la combustión.
- *Material particulado*, la emisión de material particulado, o partículas, se desprende de la chatarra en el proceso de fusión y afino, y no es otra cosa más que las impurezas que trae la chatarra, como óxidos de hierro, pigmentos de pinturas, incrustaciones no metálicas, etc. También se produce cuando se cargan los insumos en el horno como cal, antracita y cascarilla. El control del material particulado menor a 10µm y a 2µm es de vital importancia, ya que ingresan fácilmente por las vías respiratorias de las personas produciendo enfermedades.
- *Óxidos de Nitrógeno (NO_x)*, son gases producidos por oxidación a altas temperaturas del aire que ingresa al proceso durante las aperturas del horno y por los orificios de los electrodos. Entre los diferentes efectos perniciosos de estos óxidos se pueden citar: colaboran en la destrucción de la capa de ozono de forma importante, en combinación con el agua de la atmósfera pueden dar

lugar a condensaciones ácidas lo que produce lluvia ácida, el NO₂ es un gas venenoso.

3.3.2 Evaluación de las Emisiones

Las emisiones producidas anualmente pueden ser calculadas por 3 métodos: Medido, Calculado y Estimado.

a) **Medido**, se basa en mediciones realizadas utilizando métodos normalizados o aceptados. La fórmula general de aplicación a la hora de calcular las emisiones anuales (kg/año) a partir de medidas es la siguiente:

$$Emisiones \left(\frac{kg}{año} \right) = \frac{Concentración \left(\frac{mg}{Nm^3} \right) \times Caudal \left(\frac{Nm^3}{hr} \right) \times H_0}{10^6}$$

H₀: Horas de funcionamiento anuales de la instalación

Si la concentración viene dada en ppm (partes por millón en volumen), se utilizarán las siguientes relaciones de paso para obtener los valores de concentración (en masa) en condiciones normales.

Tabla 3.2 Factores de conversión de ppm a mg/Nm³

De	a	Multiplicar por
ppm NO	mg/Nm ³	2,05
ppm SO ₂		2,86
ppm CO		1,25
ppm N ₂ O		1,96
ppm CH ₄		0,71

Condiciones Normales. 0 °C, 1 atm

b) Calculado, las emisiones se calculan utilizando métodos de estimación aceptados, empleando factores de emisión, representativos del sector industrial. Un dato es calculado cuando se obtiene a partir de: cálculos utilizando datos de actividad (tasas de producción) y factores de emisión, cálculos basados en balances de masas y métodos de cálculo de emisiones descritos en referencias publicadas. Ver tabla 3.3.

Tabla 3.3 Cálculo de emisiones basado en factores de emisión

OPERACIÓN	FE (factor de emisión)
Cualesquiera proceso	Kg contaminante/t. producto
	Kg contaminante/t. materia prima introducida
Combustión industrial	Kg contaminante/kWh GN
	Kg contaminante/Nm ³ GN
	Kg contaminante/termia GN
	Kg contaminante/t de combustible (fuel-oil, propano, gasóleo, carbón, coque,...)

Tabla 3.4 Perfil Medioambiental del acero (Lawson, B.;1996)

<u>Energía</u>	19	MJ / kg producto
<u>Materias primas</u>		
Ganga de hierro	1500	kg / t producto
Piedra caliza	225	kg / t producto
Carbón (en forma de coque)	750	kg / t producto
<u>Emisiones</u>		
Escoria	145	kg / t producto
Escoria granulada	230	kg / t producto
Agua residual	150000	l / t producto
Emisiones gaseosas (incluyendo dióxido de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno)	2	t / t producto
Incidiosel :		
Dióxido de carbono (CO ₂)	1,950	t / t producto
Óxido de nitrógeno (NO _x)	0,003	t / t producto
Óxido de sulfúrico (SO ₂)	0,004	t / t producto
Metano (CH ₄)	0,626	kg / t producto
Componentes orgánicos volátiles (COV _{tot})	0,234	kg / t producto
Polvo	15,000	kg / t producto
Metales pesados (Pb,Cd,Hg,As,Cr,Cu,Ni,Se,Zn,V)	0,037	kg / t producto

Basándonos en este principio, se ha encontrado dentro del material bibliográfico, un método de evaluación del tipo calculado: Para producir una tonelada de acero se necesitan 1500kg de ganga de hierro, 225 kg de piedra caliza y 750 kg de carbón (en forma de coque). Y por cada tonelada de bloque de acero fabricado se generan: 145 kg de escoria, 230 kg de escoria granulada, aproximadamente 150 000 litros de agua residual y alrededor de 2 toneladas de emisiones gaseosas (incluyendo CO₂, óxidos sulfurosos y óxidos de nitrógeno). Este enunciado se muestra en la tabla 3.4.

c) **Estimado**, se basa en estimaciones no normalizadas, deducido de las mejores hipótesis o de opiniones autorizadas. Un dato es estimado cuando proviene de: opiniones autorizadas, no basadas en referencias disponibles publicadas; suposiciones, en caso de ausencia de metodologías reconocidas de estimación de emisiones o de guías de buenas prácticas.

CAPÍTULO IV

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUMOS DEL HORNO

4.1 OBJETIVOS DEL SISTEMA

Un sistema efectivo de control de emisiones debe estar orientado a tener tres objetivos de operación:

- **Mejorar la Seguridad y Productividad del trabajador.** Debe reducir, suprimir o remover polvos peligrosos para crear un ambiente en el cuál los trabajadores puedan laborar con más seguridad y ser más productivos.
- **Cumplir con las normas que impone el Gobierno, así como con las normas de cualquier institución local o reglas internas de la Planta orientadas a incrementar la calidad del aire.**
- **Mejorar la Economía de la producción de la Planta al reducir los costos de producción las siguientes maneras:**

Se puede recuperar producto útil.

Se puede mejorar la calidad del aire en el área de trabajo, y en consecuencia reducir el ausentismo y rotación de los trabajadores, gastos médicos, etc.

Se puede reducir los costos de limpieza de las naves al ser menos frecuentes las operaciones de limpieza de las estructuras y equipos.

Se puede reducir también el mantenimiento de los equipos, capturando el polvo que causa menos fallas o mal funcionamiento en componentes eléctricos y electrónicos, excesivo desgaste o fallas de otros equipos.

De lo anterior, es iluso pensar que en los tiempos actuales los Gerentes y/o dueños de las Plantas de Producción tengan la idea de que la instalación de estos sistemas son causantes de incrementos en costos de operación, en lugar de ello debe pensarse que son una parte integrada al proceso de fabricación.

4.2 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LAS EMISIONES

El proceso de tratamiento depende del tipo de emisión contaminante. En el manual de la EPA Air Pollution (Environmental Protection Agency) se puede encontrar estandarizados diversos procedimientos para el control de dichas emisiones. En este trabajo sólo daremos nociones breves acerca de estos métodos. Nuestro principal objetivo se centrará en el control de materia particulada.

Las emisiones más nocivas de las que hablamos y las que frecuentemente debemos eliminar en los procesos son las siguientes:

Eliminación de Partículas.

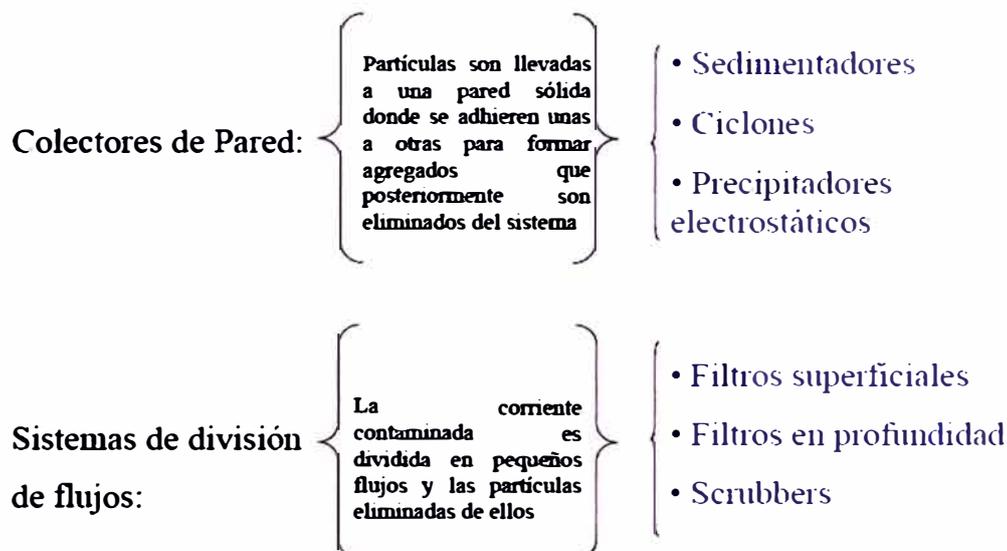
Eliminación de COVs y Olores.

Eliminación de Compuestos de Azufre.

Eliminación de Óxidos de Nitrógeno.

a) ELIMINACIÓN DE PARTÍCULAS

Los mecanismos de eliminación de partículas serán expuestos a detalle en 5.4. Dichos mecanismos realizan la eliminación de partículas mediante procesos físico/químicos, pudiendo ser clasificados de la siguiente manera:



b) ELIMINACIÓN DE COVs Y OLORES

El control de los COV (Compuestos Orgánicos Volátiles), se puede realizar de las siguientes maneras:

Control por prevención, se actúa en las etapas de emisión de COVs, realizando sustitución o modificación del proceso. En ocasiones resulta más económico modificar el proceso que tratar el contaminante generado.

Control por concentración y recuperación, debido al alto valor de dichos disolventes y combustibles, resulta económico realizar este tipo de control cuando las concentraciones de los COVs sean altas. Los métodos

para realizar el control por concentración y recuperación son: *i) Condensación*, el COV condensa y se recupera como líquido aunque el costo de operación del sistema de refrigeración es alto y aplicable a altas concentraciones, *ii) Adsorción*, se provoca la unión de la molécula de COV a una superficie sólida generalmente carbón activo hasta la saturación del adsorbente luego de ello se realiza una regeneración por lavado con vapor el costo de operación es bajo y aplicable a bajas concentraciones, y *iii) Absorción*, se provoca que la moléculas de COV pasen a formar parte de la fase del absorbente para lo cual se necesita elevada afinidad del líquido absorbente por los COV para favorecer su solubilidad, y poca afinidad por el restos de los compuestos de la corriente contaminada es aplicable a altas concentraciones.

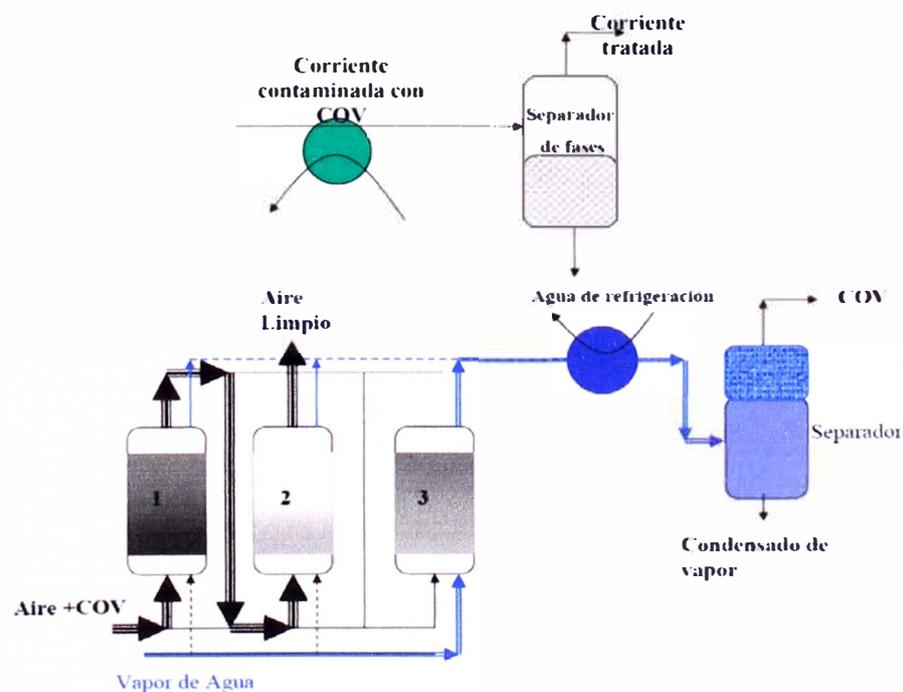


Fig. 4.1 Procedimiento de recuperación de COVs por condensación y adsorción

Control por oxidación, se puede realizar por *i) Combustión (incineración)*, los COVs se transforman así en productos menos nocivos para la salud. Ej. $C_6H_6 + 7\frac{1}{2}O_2 \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O$, aunque una combustión incompleta puede generar contaminantes más tóxicos que los iniciales, y *ii) Oxidación biológica*, se realiza mediante procesos biológicos de degradación de los COVs empleando para ello bioreactores, biofiltros y biolavadores.

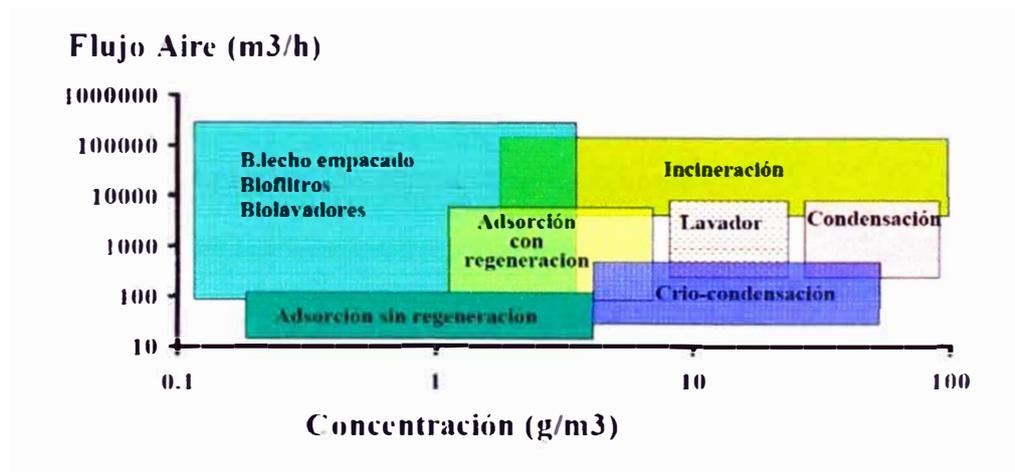


Fig. 4.2 Selección del método de control de COVs vs. flujo y concentración.

c) ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS DE AZUFRE (SO₂)

El tipo de tratamiento a emplear depende de la concentración de SO₂ en la corriente de salida. *i) Para corrientes concentradas*, como los procesos de fundición de metales (2-40%SO₂) se emplea el método de eliminación con

transformación en ácido sulfúrico, esta conversión es sólo rentable cuando la concentración de SO_2 es superior al 4%, el ácido sulfúrico puede ser vendido para producción de fertilizantes. *ii) Para corrientes diluidas*, como la combustión del carbón y petróleo en centrales eléctrica ($\text{SO}_2 \approx 0.1\%$) se emplea el método de eliminación con lavado de la corriente gaseosa en agua con partículas de caliza en suspensión CaCO_3 y depósito en basurero del CaSO_4 formado.

También se pueden manejar alternativas de prevención antes de tener que tratar la corriente de los modos antes descritos. Por ejemplo, al realizar cambio a combustibles con bajo contenido en S, eliminación del S del combustible antes de su combustión, uso de energía alternativas a las térmicas o modificación del proceso de combustión tradicional.

d) ELIMINACIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

Se cuenta con 2 alternativas para el control de NO_x : *i) Modificación del proceso de combustión para prevenir su formación*, realizando la combustión en 2 etapas, teniendo así reducción de las NO_x debido a las menores temperaturas que se alcanzan; o con recirculación de los gases de combustión, en la que se mezcla el combustible gaseoso con un 15% de exceso de aire y los gases de combustión son recirculados disminuyendo la temperatura en la llama con a consecuente disminución de los NO_x ; *ii) Tratar el gas de combustión químicamente para convertir el NO_x en N_2* , se añade un agente reductor como NH_3 , úrea, CH_4 , CO , etc. el cual toma el oxígeno del NO .

4.3 SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE PARTÍCULAS

En los Hornos de Arco Eléctrico, el sistema de eliminación total de los polvos y humos consiste de:

- Un sistema directo o sistema de extracción primaria y,
- Un sistema de extracción para las emisiones secundarias.

4.3.1 Sistema de Extracción para emisiones Primarias

Los Hornos de Arco Eléctrico en la actualidad tienen en su mayoría un cuarto agujero en la bóveda, esto hace que este agujero se comporte como la chimenea y es por allí donde se instalan los conductos de extracción (sistema directo) para luego ser enfriados y conducidos hacia el colector de humos. El colector de humos realizará la filtración seca del material particulado generado.

El sistema más simple para este primer tipo de extracción, tal como se muestra en la figura 4.3, consta de:

- Conductos refrigerados por agua para la recogida de los humos calientes del horno, que luego pasan a,
- Un enfriador tubular de ventilación natural o forzada
- Una estación de filtrado de mangas con descarga de polvo extraído
- Un equipo de aspiración que conduce los humos a la chimenea.

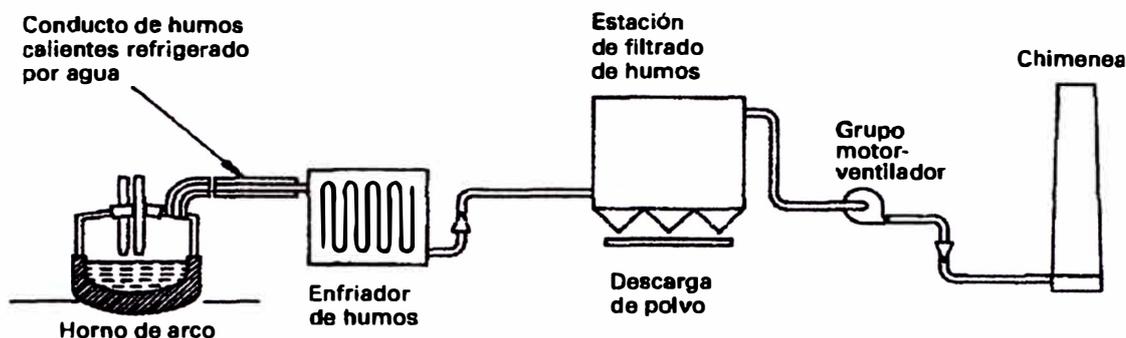


Fig. 4.3 Sistema de recogida de Humos por cuarto agujero en bóveda

4.3.2 Sistema de Extracción para emisiones Secundarias

El sistema de extracción primaria no es la solución para la extracción total de los humos, los humos escapan hacia las afueras del horno por los agujeros de los electrodos cuando se hace la apertura de la compuerta para el ingreso de las ferroaleaciones y el oxígeno. Por tanto, se debería instalar en la nave de la acería del horno, un sistema de extracción secundaria constituido por un conjunto de campanas extractoras, que aspiran los humos y los derivan hacia un segundo colector de humos para su filtración respectiva. Este segundo colector puede trabajar independientemente del primero, o en conjunto, ver fig. 4.4.

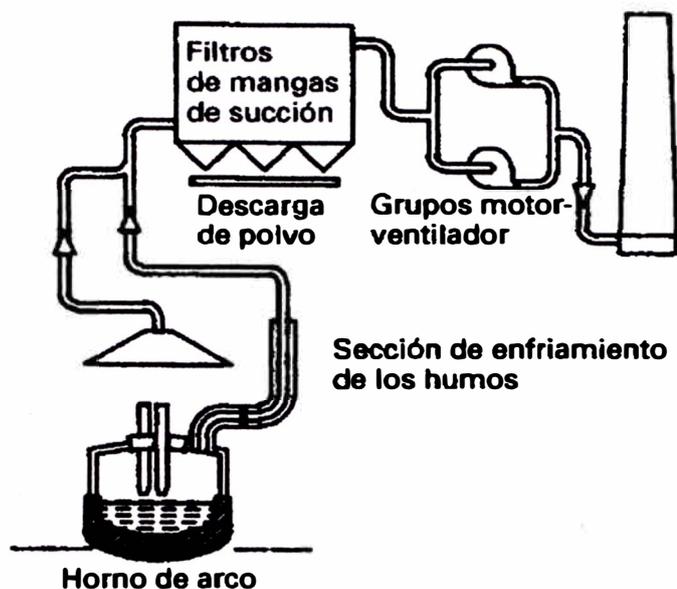


Fig. 4.4 Combinación de sistema de extracción con filtro de mangas de succión

Cuando se realiza en conjunto ocurre que el caudal de humos puede ser entre seis y ocho veces superior al del equipo más simple de la extracción primaria, y aunque la concentración de polvo en los humos es mucho menor, el tamaño de la estación de filtrado es enorme. Por otra parte, corrientes de aire en el interior de la nave pueden hacer que la recogida de humos de la campana no sea todo lo completa que se desea. Los ventiladores pueden estar situados entre la estación de filtrado y la chimenea o bien antes de la estación de filtrado, lo que puede dar lugar a problemas de mantenimiento en los ventiladores.

Siempre que el proceso y la instalación lo permitan, los hornos pueden ser encapsulados en un recinto, logrando una recogida de prácticamente el total de los humos y una insonorización muy apreciable del conjunto de la instalación.

4.4 COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA

Los equipos necesarios para conducir y limpiar la corriente de gas contaminada antes que ésta sea liberada a la atmósfera, son típicos para la mayoría de Sistemas de Eliminación de Humos. Estos son: Campanas, Sistemas de Conductos, Dispositivo de Control o Medio Filtrante, Ventiladores y Chimeneas.

Se utiliza una campana para capturar las emisiones en la fuente; el sistema de conductos, para conducir las al dispositivo de control; dispositivo de control, para realizar la separación de las partículas de la corriente de gas; una chimenea, para dispersarlas después que abandonan el dispositivo; y un ventilador, para proporcionar la energía para moverlas a través del sistema de control.

4.4.1 Campana de Aspiración

La campana es el dispositivo de aspiración de humos, por lo que constituye uno de los principales elementos del sistema. El término campana se usa en sentido general, comprendiendo todas las aberturas por las que se produce succión sin considerar sus formas.

La estructura de la campana está diseñada para encerrar total o parcialmente una operación generadora de un contaminante. Si las emisiones no son capturadas eficientemente, éstas no podrán ser conducidas hacia los dispositivos de control.

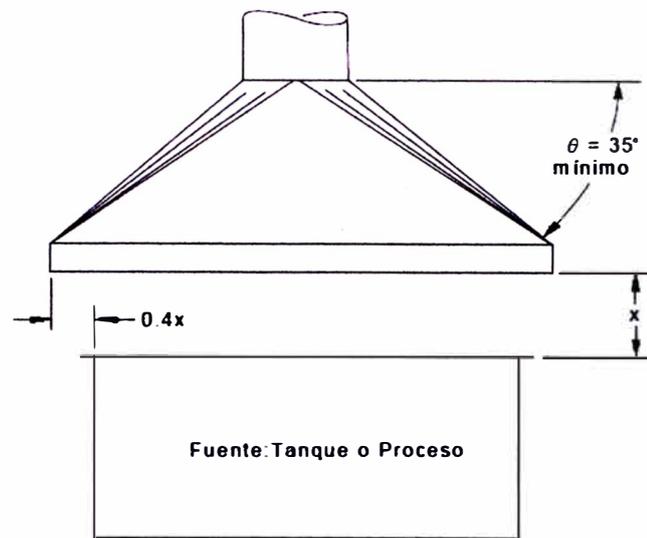


Fig. 4.5 Instalación Típica de una Campana de Toldo (techo)

La eficacia de una campana depende básicamente de su capacidad para generar en las cercanías del foco de emisión del contaminante, velocidades de aire que contrasten el efecto de las corrientes ya existentes en la zona. El cálculo de la velocidad necesaria para una eficiente captación de contaminante se muestra en 7.5.

- **Consideraciones para el diseño de Campanas**

Ubicar la campana lo más cerca posible a la fuente.

Capturar el contaminante con velocidad adecuada.

Ubicación de la entrada de tal forma que el movimiento del fluido se desvíe hacia ella. Encerrar la fuente para *minimizar* el caudal.

El ancho debe ser mayor que la fuente.

Se pueden colocar aletas dentro para llevar el flujo hacia el ducto con menores pérdidas.

- **Tipos de Campanas,**

- a) **Campanas de techo,** son las más conocidas. Consiste en una bóveda situada por encima del lugar de trabajo. Este tipo de campana no se utiliza cuando el material es tóxico y el operario debe inclinarse sobre el tanque o proceso generador del contaminante. Cuando hay corrientes transversales puede ser necesario colocar plantillas en los costados.
- b) **Cabinas,** suelen tener, aunque no siempre, un gran agujero, de forma que parte de la operación contaminante puede efectuarse dentro de la campana. El aire generalmente circula horizontalmente en lugar de vertical.
- c) **Campana de rejilla lateral,** es similar a la cabina pero el agujero es más pequeño. Se trabaja, por lo general, en frente de la campana y de forma que el aire que penetra en la misma circula por encima de donde se está trabajando.
- d) **Campana de aire descendente,** el aire circula hacia abajo. Su empleo es limitado ya que cualquier corriente ascendente o transversal tiene un efecto adverso sobre la penetración del contaminante de las aberturas.
- e) **Campana extractora alargada,** es simplemente una campana de rejilla lateral, en la cual la relación de lado mayor a menor es más grande. Como ejemplo, las bocas de aspiración de los tanques y baño.

4.4.2 Sistema de Conductos

Los sistemas de conductos incluyen todo el equipo que se encarga de trasladar el gas contaminado desde el dispositivo de captura hacia el dispositivo de control. Esto incluye: conductos rectos, accesorios tales como codos y té, dispositivos de control de flujo tales como válvulas compuertas, y los soportes de los conductos.

Para que la corriente de gas atraviese el conducto debe vencer la resistencia originada por la fricción, y por lo tanto requiere de una energía. La magnitud de esta pérdida por fricción tiene que ser calculada antes que el sistema está instalado, con el objeto de elegir el ventilador más adecuado que proporcione dicha energía.

Además, se debe tener en cuenta que en los sistemas de extracción de polvo, la velocidad de transporte del gas a través del conducto debe ser lo bastante alta para evitar que el polvo sedimente y se atasque en la tubería. La velocidad no es constante en un conducto de extracción localizada, el flujo es en la práctica siempre turbulento, y la velocidad oscila alrededor de su valor medio.

Por lo tanto, un diseño de conductos, debe cumplir como mínimo los siguientes requisitos:

Conseguir el mínimo de fuerza motriz (disminuyendo la pérdida de carga)

Mantener la velocidad de transporte necesaria para que el contaminante no se deposite y tapone el conducto.

Mantener el sistema equilibrado en todo momento.

Los factores para determinar las pérdidas de carga por fricción y en accesorios, velocidades de transporte recomendadas así como otros principios del diseño de ductos, serán mostrados mediante tablas y gráficos incluidos en el apéndice de este informe, y otros se mostrarán directamente en el proceso de cálculo (cap. VII).

- **Consideraciones para el diseño de Conductos**

El cálculo de conductos, se basa en los principios de la mecánica de fluidos, con las siguientes premisas: i) Se desprecian los efectos del intercambio térmico entre los ductos y el medio ambiente, ii) Se considera que el aire es incompresible no variando la densidad del aire si la caída de presión en el sistema es menor a 500mmH₂O, iii) Se supone que el aire es seco no existiendo presencia de vapor de agua que reduciría la densidad del aire, iv) Se desprecia el peso y el volumen del contaminante presente en la corriente de aire. Con estas premisas es posible aplicar la ley de continuidad y el principio de conservación de la energía. Al momento de diseñar conductos tener en cuenta:

Se prefiere ductos redondos que cuadrados, ofrecen mayor uniformidad a la velocidad de transporte.

Una adecuada velocidad del gas en el ducto permitirá que el polvo sea transportado junto con el.

Una velocidad menor resultaría en material segregado a lo largo de la ductería y una velocidad mayor resultaría en la abrasión del ducto.

Las velocidades de diseño pueden ser ligeramente mayores que los valores mínimos, pero nunca deben ser significativamente menores.

Recomendable codos con $r/D > 1.5$.

Pendiente de los ductos que evite la acumulación de polvo.

- **Procedimiento de diseño de Conductos**

Aquí se muestra una secuencia preferida en el diseño de conductos, aunque pueden existir cambios en el orden de varias etapas. Este procedimiento será utilizado en 7.6, describiendo allí las fórmulas respectivas para el cálculo de cada paso del procedimiento:

- Elaborar un plano (bosquejo) del área con el equipo que va a llevar la extracción.
- Hacer un listado del equipo, el número y tamaño de los ramales de ductos y la succión mínima esperada, además la velocidad y el flujo en cada campana.
- Seleccionar la velocidad de transporte mínima necesaria para cada sección del sistema, dependiendo de la naturaleza del material que va ser transportado por ellos. Estas velocidades no deben superar los 30m/s, ya que se incrementan las pérdidas de carga, asimismo se incrementa la acción abrasiva de los polvos y el ruido producido por la corriente de gas y polvos.
- Calcular la tasa de flujo en cada campana.
- Estudiar los planos (bosquejos) y las posibles distribuciones de los conductos. A menos que factores de operación o condiciones del lugar

como accesibilidad, estructuras de soporte disponibles o condiciones del lugar, obligue a otro arreglo, localice el extractor en forma que los tramos de ducto sean tan cortos como sea posible y que los ramales de menor diámetro con sus pérdidas de fricción más altas puedan entrar al ducto principal cerca a la entrada al ventilador, con la mínima distancia desde la campana hasta el ducto principal.

- Utilizar los nomogramas de flujo y velocidad para determinar el tamaño aproximado del ramal y del ducto principal. Reflejarlo en los bosquejos.
- Aún no realizar cálculos de fricción, todos los valores hasta ahora son aprox.
- Inspeccionar los bosquejos de los ductos, para ver si los ramales originados a alguna distancia del ducto principal deberían unirse con otros, formando ductos subprincipales, para reducir la fricción; si la distribución debería cambiarse para economizar tamaño de ductos, o si hay interferencia en la Planta que obstruyan el paso de los ductos con diámetros ahora ya conocidos en forma aproximada y así llegar a un distribución final más adecuada.
- Dibujar el esquema de ductos seleccionado finalmente.
- Calcular las pérdidas de presión, flujos, velocidades, diámetros de ductos.
- Chequear todos los cálculos.
- Prepara los dibujos definitivos y un listado de materiales.

4.4.3 Dispositivo de control

También llamado separador o medio filtrante, se encarga de capturar la mayor parte de contaminante posible de la corriente de gas antes que éste sea liberado hacia la atmósfera. La eficacia de un dispositivo de control puede llegar hasta el 99.9%. Mayor detalle acerca de las características y tipos, entre otros, de los dispositivos de control serán tratados a mayor detalle en el Capítulo 5.

4.4.4 Ventiladores

Son los dispositivos que suministran energía al sistema para el movimiento de la corriente de gas en el interior del mismo. Siempre que sea posible, el ventilador se colocará después del dispositivo de control, con objeto de que por él pase gas limpio y así evitar el deterioro del mismo por erosión de partículas o corrosión de las diversas sustancias.

- **TIPOS DE VENTILADORES**

Según la presión desarrollada se clasifican en:

- a) De baja presión**, la presión total desarrollada es inferior a 100 mmH₂O.
- b) De media presión**, la presión total desarrollada es superior a 100 mmH₂O y es inferior a 300 mmH₂O.
- c) De alta presión**, la presión total desarrollada es superior a 300 mmH₂O y es inferior a 1000 mmH₂O.

Según la dirección de flujo en:

a) Ventiladores helicoidales, en los que el aire se desplaza en el sentido del eje de rotación de la hélice. Las características de un ventilador helicoidal son: *Grandes caudales de aire, Presión disponible reducida, Buen rendimiento, Ruidosos, Curva plana, Montaje mural, Impulsión y Extracción*

Al tener los ventiladores helicoidales, poca presión disponible sólo se pueden aplicar, donde la resistencia al flujo de aire es baja, por ejemplo, en instalaciones de pocos metros de conducto.

Un ventilador helicoidal, está compuesto por una virola, una hélice y sistema de accionamiento. El aire se desplaza en el sentido del eje de rotación de la hélice. Su composición simple lo convierte en un aparato barato en comparación con su caudal.

b) Ventiladores centrífugos, en los que el aire entra axialmente y sale en dirección radial. Las características de un ventilador centrífugo son: *Caudales algo menores, Presiones más elevadas, Buen rendimiento, Silenciosos, Impulsión y Extracción.*

Los caudales son algo menores que el helicoidal sin embargo la presión es mucho mayor. El rendimiento es bueno sobre una gran parte de la curva de trabajo.

Un ventilador centrífugo es mucho más caro que un ventilador helicoidal pero tiene una mayor flexibilidad de empleo. Un ventilador centrífugo consta de una voluta, rodete y un sistema de accionamiento. El rodete atrae el aire a su cuerpo lo conduce a su periferia y lo arrastra hacia la impulsión siguiendo el

movimiento en espiral canalizando por la voluta. El eje de impulsión es perpendicular al eje de aspiración.

El ventilador centrífugo es el más comúnmente empleado en los Sistemas Colectores de Polvo, y se construyen básicamente con 3 tipos de rodets:

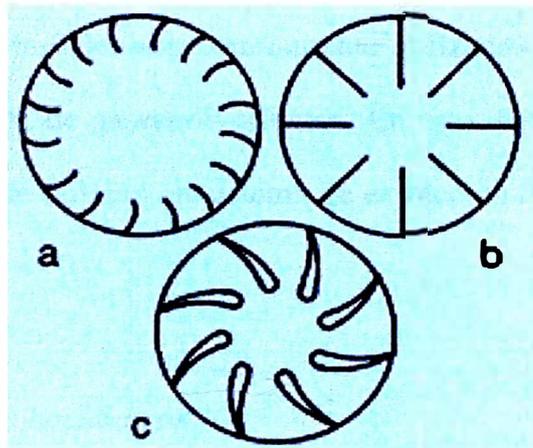


Fig. 4.6 Ventilador Centrífugo, álabes a) adelante, b) radiales, c) atrás.

- *Álabes inclinados hacia adelante*

También llamados de jaula ardilla, tiene un rodete con palas curvadas en el mismo sentido que la dirección de giro. Estos ventiladores poseen una baja velocidad periférica y son silenciosos. Se utilizan habitualmente cuando la presión estática necesaria es baja a media, como por ejemplo en sistemas de aire acondicionado, no se recomienda su uso para mover aire polvoriento, ya que las partículas se adhieren a los álabes y puede desbalancear severamente el rodete.

- *Álabes radiales*

Tienen el rodete dispuesto con los álabes radialmente. La voluta está diseñada de forma que a la entrada y a la salida se alcanzan velocidades de transporte de materiales. La disposición radial de los álabes evita la acumulación de materiales sobre ellas, por estos motivos, es que los ventiladores de álabes radiales son comúnmente utilizados en instalaciones de extracción localizada de gasespolvorientos. En este diseño la velocidad periférica es media, y se utilizan en sistema de extracción de gases sucios o limpios.

- *Álabes inclinados hacia atrás*

Tienen un rodete con álabes inclinados en sentido contrario al de la rotación. Este tipo de ventiladores poseen la mayor velocidad periférica, y tienen el mejor rendimiento con un nivel sonoro relativamente bajo y una curva característica de potencia absorbida del tipo autolimitante, además la forma de los álabes dificulta la acumulación de material sobre ellas ya que un comportamiento autolimpiante.

- **CURVAS CARACTERÍSTICAS DE VENTILADORES**

El conjunto de curvas que se muestran en 4.11 representa las curvas características de un ventilador. La presión, así como la potencia y eficiencia del ventilador son graficadas con respecto al caudal de trabajo, a una velocidad de rotación del rodete y un diámetro de rodete, si uno de los 2

últimos cambia se modifica la curva aplicando para las leyes que corresponden a los ventiladores.

El punto ideal de funcionamiento del ventilador es aquél para el que ha sido diseñado, es el correspondiente al máximo rendimiento. Cuanto más cerca de este punto trabaje el ventilador más económico será su funcionamiento.

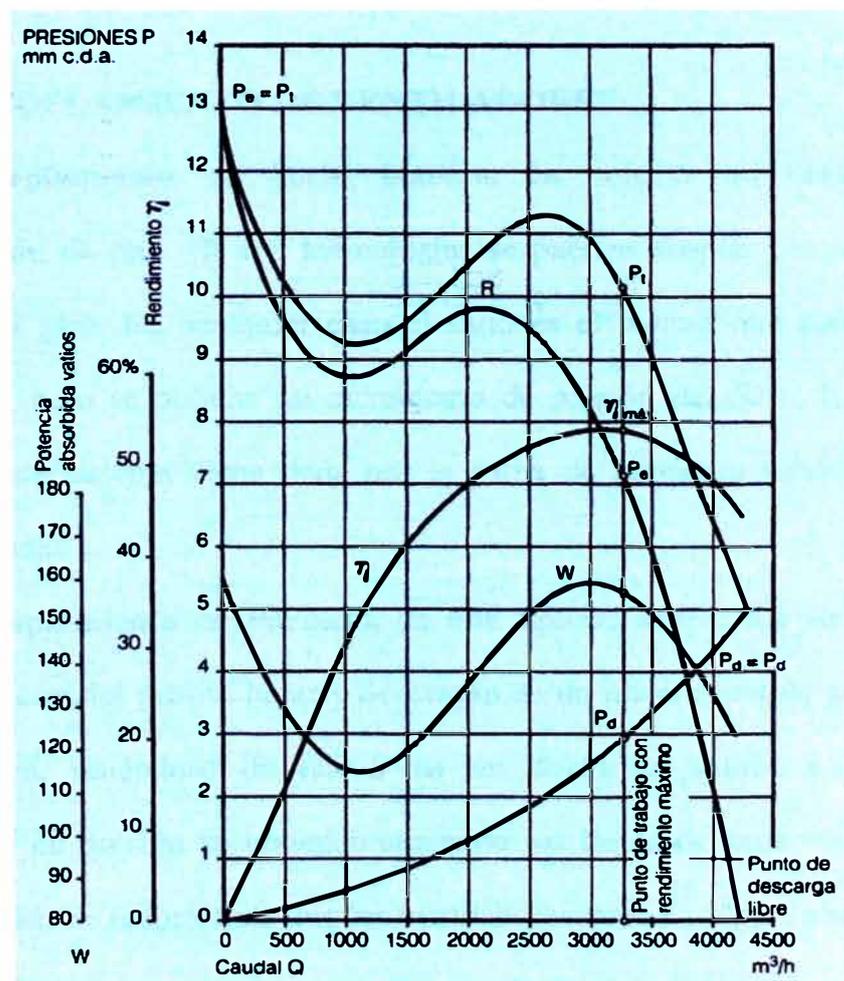


Fig. 4.7 Curvas Características de un Ventilador

En principio, la curva característica es totalmente independiente del sistema de conductos al que se acople. Luego, para saber exactamente en qué

condiciones funcionará el ventilador debemos conocer la curva resistente de la instalación, es decir la curva que relaciona la pérdida de carga de la instalación con el caudal que pasa por ella. Al superponer dichas curvas: característica del ventilador y resistente del conducto (presión-caudal), se puede obtener el punto de trabajo. En el apéndice se puede encontrar las curvas que mencionamos.

- **ACOPLAMIENTO DE VENTILADORES**

a) Acoplamiento en Serie, consiste en colocar un ventilador a continuación de otro. Si son helicoidales se pueden acoplar con el mismo sentido del giro. En cualquier caso el flujo es el mismo que con un solo ventilador, pero se obtiene un incremento de presión del 50%. La presión total de este sistema viene dada por la suma de presiones totales para el mismo caudal.

b) Acoplamiento en Paralelo, en este tipo de acople los ventiladores succionan aire del mismo lugar y descargan en un mismo sentido por ductos individuales, uniéndose de nuevo en un ducto de salida. Las curvas resultantes de presión se obtienen sumando los flujos de cada ventilador a cada presión. Se recomienda que los ventiladores que se acoplen sean iguales ya que es posible hacer trabajar a ambos en la zona de máximo rendimiento. Ver apéndice para curvas de ventiladores en acople en serie y en paralelo.

4.4.5 Chimenea

Es un conducto vertical que finaliza el proceso de Captación y Filtración de los gases contaminantes conduciéndolos hacia la atmósfera para su dispersión. En la definición de una chimenea intervienen fundamentalmente lo siguiente:

Sección interior, o de paso de los gases.

Altura, ya sea para:

Dispersión de gases en la atmósfera libre, o

Obtención de una depresión mínima determinada en su base.

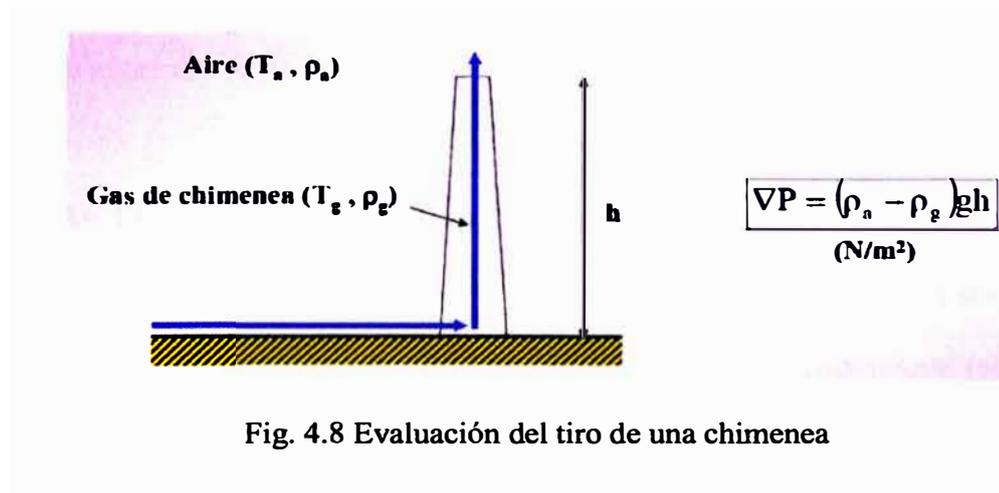
Tipo de material estructural: resistencia al viento, sismo y su cimentación.

Tipo de material de revestimiento interior: resistencia a temperatura y ataque físico-químico de los gases.

Para la estabilidad estructural, el diámetro del fondo de la chimenea es ligeramente más grande que el diámetro de la parte superior, incluso dependiendo del caso hay chimeneas totalmente cónicas. Del material, una chimenea puede ser fabricada de acero, ladrillo o plástico reforzado con fibra de vidrio FRP. Puede estar forrada o no forrada. La selección del material depende de las propiedades físicas y químicas de la corriente de gas, tales como corrosividad y acidez, así como la temperatura de trabajo.

Pero el parámetro más importante a considerar en una chimenea es el conocido como “tiro”, de éste dependerá una correcta dispersión de los gases contaminantes en la atmósfera y que no constituyan estos un perjuicio o un peligro para la salud de la población en general.

- **Tiro de la chimenea (ΔP)**, es un diferencial de presión creado por la diferencia de densidades entre el gas de chimenea y el aire exterior. Al calentar un gas, este aumenta su volumen y disminuye su densidad pudiendo ser desalojado por un gas más denso. La diferencia de pesos entre pesos de columnas iguales de aire y gas contaminante producen el tiro. El tiro debe ser suficiente para compensar las pérdidas totales en el sistema (Σf) y retener energía cinética (E_c) para descargar los gases a la velocidad de salida requerida: $\Delta P \geq E_c + \Sigma f$



Existen 2 tipos de tiros:

Tiro natural, la chimenea puede producir la diferencia de presiones que permitirá descargar los gases a suficiente altura en la atmósfera.

Tiro mecánico, originado por la acción de inyectores de aire o vapor, o mediante ventiladores. Se opta por tiro mecánico cuando el tiro natural proporcionado por la chimenea resulta insuficiente para una adecuada dispersión. También cuando las especificaciones técnicas exigen que deba mantenerse un determinado tiro. Las plantas equipadas con tiro mecánico no necesitan chimeneas muy altas como las exigidas con tiro natural.

CAPITULO V

TEORÍA DE PARTÍCULAS Y MEDIOS FILTRANTES

Estableceremos el comportamiento de las partículas que son llevadas por el fluido gaseoso antes del filtrado y durante el proceso de filtración.

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS El término material particulado incluye todos los sistemas de partículas sólidas esparcidas por un medio gaseoso. Constan de la fase dispersa (las partículas) y el medio dispersante (el aire o un gas). A continuación, daremos algunas definiciones que caracterizan a las partículas en su medio dispersante como son:

- **Tamaño de la partícula (d_p)**, se acostumbra a utilizar el micrómetro ($10^{-6}m$) que se abrevia por μm para medir las partículas. El tamaño de la partícula queda definido por su diámetro, siempre y cuando la partícula sea esférica. Sin embargo en los procesos industriales las partículas no son esféricas, por lo cual para facilidad de cálculo necesitamos apoyarnos en un diámetro equivalente. Dicho diámetro se puede basar en características geométricas y

físicas (área superficial, volumen, masa, etc.), como también por el comportamiento de las partículas en el gas como el diámetro aerodinámico.

- **Diámetro aerodinámico**, se define como *el diámetro de una esfera con la densidad de 1gr/cm² que cae libremente en un flujo laminar a la misma velocidad terminal* (ver 3.3) de la partícula no esférica.*

Es de importancia para el diseño del mecanismo de colección de partículas conocer el tamaño de partícula, para lo cual se cuenta con varios métodos de análisis para medición del tamaño, los cuales se detallan brevemente en 3.

- **Diámetro de retardo (d_d)**, es el diámetro de una esfera con la misma resistencia al movimiento que una partícula en un fluido de la misma viscosidad, y a la misma velocidad. Para Reynolds menores a 0.2, d_d se aproxima a d_s .
- **Diámetro de caída libre (d_f)**, es el diámetro de una esfera con la misma densidad y la misma velocidad de caída libre que la partícula, en un fluido con la misma densidad y viscosidad.
- **Diámetro de Stokes (d_{st})**, es el diámetro de caída libre de una partícula que se encuentre en la región de flujo laminar ($Re < 0.2$), de tal forma que:

$$d_{st}^2 = \frac{d_v^3}{d_d}$$

d_v : diámetro de una esfera equivalente a partir de su volumen. $d_v^3 = \frac{6xVol}{\pi}$

- **Concentración ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)**, la masa de contaminante por unidad de volumen de aire; sus unidades son $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ ó ppm (partes por millón). Las concentraciones máximas de contaminante emitidos hacia la atmósfera son definidos por una

entidad gubernamental de control de emisiones, correspondiente a cada región.

- **Factor de emisión**, es la emisión de un contaminante expresada en términos de masa de contaminante por masa de materia prima usada en el proceso; sus unidades son Kg/Ton de materia prima ó Kg/Kwh consumido.
- **Tasa de emisión**, es la emisión de una partícula contaminante expresada en términos de masa de contaminante por unidad de tiempo; sus unidades son Kg/s, Kg/h ó Kg/año.

La importancia del tamaño de partícula se muestra en el Anexo 3.B, se observa las características de las partículas llevadas por el aire en función del tamaño de las partículas. Muchos de los términos que aparecen en el cuadro tales como métodos de análisis de tamaño de partícula, equipos para limpiar gases, etc., serán definidos en el transcurso de este capítulo y el siguiente. Así como el tamaño de las partículas es de especial importancia, también lo es su forma, densidad y carga eléctrica, ya que afectan el procedimiento para recogerlos en su fuente y a la forma de eliminarlos del aire, así como también el grado de contaminación y perjuicios al aparato respiratorio del hombre.

El tamaño de las partículas en una nube de polvo puede cubrir una amplia gama de tamaños que va desde fracciones de una micra (μm) hasta 100 micras o más. Se considera que el tamaño de las partículas consideradas más peligrosas porque pueden entrar en los pulmones es inferior a $5\mu\text{m}$ en la mayor parte de los casos, siendo el tamaño máximo de $10\mu\text{m}$. Las partículas de mayor tamaño se asientan sobre las membranas mucosas de los conductos respiratorios superiores (nariz y garganta). Las

investigaciones en distintos locales industriales, demuestran que hay predominio de partículas inferiores a $10\mu\text{m}$, siendo inferiores a $2\mu\text{m}$, entre un 40 y 90%. Este porcentaje de partículas inferiores a $2\mu\text{m}$ es mayor en los minerales inorgánicos y polvos metálicos que en los polvos orgánicos vegetales o animales. Como se vio en el Capítulo II ésta constituye la variable a controlar, siendo las máximas concentraciones de polvo permisibles las indicadas por los organismos pertinentes.

Algunos rangos típicos de tamaños de partículas en la industria son: negro de humos $0.04-0.2\mu\text{m}$, carbón mineral pulverizado $10-400\mu\text{m}$, polvos de fundición 1 a $200\mu\text{m}$, cemento $10-150\mu\text{m}$, vapores metalúrgicos $0.1-100\mu\text{m}$, polvo de zinc rociado (condensado) $2-15\mu\text{m}$, impurezas normales en el aire exterior tranquilo menos de $1\mu\text{m}$, partículas de polvo que causan silicosis menos de $10\mu\text{m}$. Gibbs, clasifica a las partículas de acuerdo a su tamaño, a las partículas de más de $10\mu\text{m}$ como polvos, entre 0.1 y $10\mu\text{m}$ como nubes, entre $0.001\mu\text{m}$ y $0.1\mu\text{m}$ como humos, y por debajo de $0.001\mu\text{m}$ como dimensiones moleculares.

Una de las propiedades de las partículas finas, es cuando entran en contacto físico, se atraen entre sí por acción de las fuerzas de enlace, electrostáticas y de Van der Waals. La mayor parte de las partículas que se usan son lo bastante grandes como para que la gravedad o la inercia venzan las fuerzas de electrostáticas o de Van der Waals, por lo que a menos que las partículas estén húmedas, éstas no se pegarán entre sí. La estrategia básica para el control de los contaminantes en partículas consiste en aglomerarlos para formar partículas más grandes que puedan capturarse con facilidad. Esto se puede lograr forzando que las partículas separadas entren en contacto entre sí, como sucede en los medios filtrantes (como cámaras de

sedimentación, ciclones, precipitadores electrostáticos o filtros, que se detallan más adelante), o bien poniéndolas en contacto con gotas de agua.

5.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

La descripción más completa del material particulado, es su distribución de tamaño de partículas. Existen diferentes métodos que permiten realizar mediciones precisas de las partículas, o bien hacer estimaciones prácticas de su tamaño. Métodos que van de los más sencillos como la utilización de microscopios hasta los más sofisticados que pueden resultar muy costosos. Algunos de los métodos más utilizados se presentan a continuación.

- a) **Tamices:** es la técnica empleada más antigua de mayor uso para partículas grandes, es muy barata y práctica. se hace pasar una muestra de peso conocido a través de una serie de tamices de diferentes aperturas colocados uno sobre otro siendo el primero el de orificios mayores. después de un determinado tiempo de agitación que permite que las partículas caigan a través de los tamices de diferentes apertura se pesa el contenido de cada nivel y como es conocido con exactitud la apertura de cada malla, se puede finalmente establecer la frecuencia de las partículas que recurren en cada intervalo de tamaño obteniendo la distribución de tamaño de partícula. Este método tiene limitaciones, entre las que destaca la complicidad de medir polvo seco por debajo de malla #400 (38 micras).

- b) Sedimentación:** es aplicable para partículas entre 2 y 50 micras, se basa en la velocidad de sedimentación de la partícula aplicado en la región donde se cumple la Ley de Stokes* ver 3.3, al emplear la sedimentación como método de análisis es obvio que este no sería aplicable para materiales muy densos que sedimentan rápidamente o en emulsiones en los que el material no sedimenta, asimismo es necesario controlar la temperatura para que no haya cambios en la viscosidad del fluido que afectaría también a la sedimentación. El resultado final de este método es un *diámetro de Stokes*. Las limitaciones para este método son para partículas menores de 2 micras ya que a ese tamaño el movimiento browniano se hace presente y dificulta la sedimentación gravitacional, otra es que los tiempos de medición son prolongados.
- c) Instrumento Colector en Cascada,** constituye un método usado ampliamente para determinar el tamaño de las partículas. Los colectores de muestras recolectan partículas por repercusión inercial y utilizan una serie de placas (discos) o plataformas con perforaciones de diversos tamaños (chorros) que alteran la velocidad del gas que pasa hacia la siguiente plataforma.

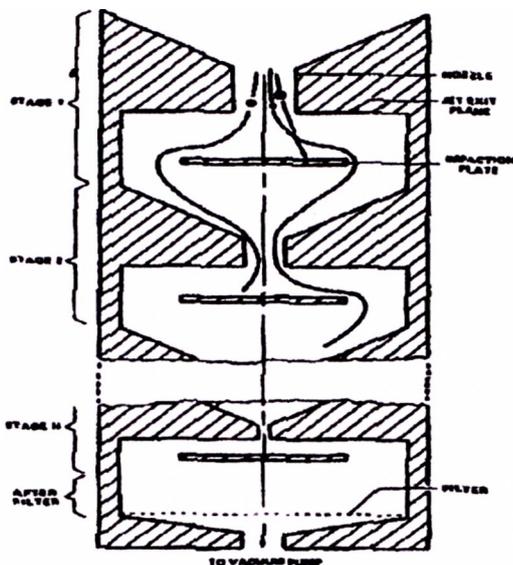


Fig. 5.1 Impactador de Cascada.

Las partículas de un tamaño específico o mayores impactarán cada placa, mientras que las partículas más pequeñas pasarán a través de la siguiente placa. Las placas están recubiertas de un material pegajoso (sustrato) que causa que la MP que impacta las placas sea recolectada irreversiblemente. La selección de los sustratos para los colectores de muestras en cascada es una parte importante en el uso de los colectores de muestras.

Los colectores de muestras en cascada pueden determinar por lo general los tamaños de las partículas entre 0.3 y 16 μm , con colectores de muestras a baja presión disponibles comercialmente. La limitación principal de los colectores de muestras en cascada es que sólo una cantidad pequeña de MP (generalmente menor de 10 mg) puede ser recolectada sobre cada plataforma; por lo tanto, el volumen/tiempo de gases debe ser ajustado para

dar cabida a este límite superior. También, pueden estar sujetos a una tendencia a favor de las partículas debido a la elasticidad y re encauzamiento de las partículas, y debido a la fractura de las partículas mayores durante la impactación.

Existen varios otros métodos de medición de partículas como el uso de pipetas que se basan en los cambios de concentración dentro de la suspensión, método del hidrómetro, métodos centrífugos, entre otros que se pueden encontrar con mayor detalle en la referencia [6] y [14]. También están los métodos más sofisticados como el empleo de rayos X y difracción láser, etc., que no se detallaran en este informe.

5.3 COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN LOS FLUIDOS

5.3.1 Fuerza de arrastre y sustentación

Un cuerpo en movimiento inmerso en un fluido experimenta fuerzas ocasionadas por la acción del fluido. El efecto total de estas fuerzas es muy complejo. Sin embargo, para propósitos de diseño o estudio del comportamiento de un cuerpo en un fluido, son dos las fuerzas resultantes de mayor importancia: el **arrastre** y la **sustentación**. El arrastre actúa en dirección paralela a la corriente libre de fluido, y la sustentación es normal a la dirección de corriente libre.

Como ejemplo ilustrativo para el cálculo de ambas fuerzas, consideremos el ala de la fig. 5.2. Los esfuerzos debidos a la presión como los viscosos actúan sobre un cuerpo sumergido y uno o los dos contribuyen a las fuerzas resultantes. La formulación matemática en su forma general, para la

sustentación y el arrastre en términos de la presión (p) y esfuerzo cortante (τ), se obtienen por equilibrio de fuerzas, obteniéndose:

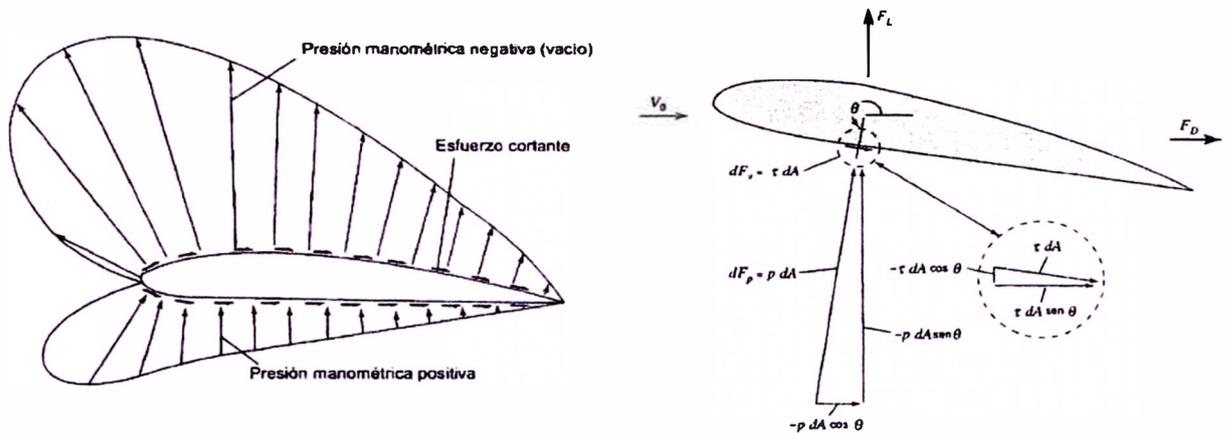


Fig. 5.2 Presión y fuerzas viscosas sobre un elemento diferencial de área de un ala.

$$F_D = \int (-p \cos \theta + \tau \sin \theta) dA \text{ (Fuerza de Arrastre)...} \quad (5.1)$$

$$F_L = \int (-p \sin \theta - \tau \cos \theta) dA \text{ (Fuerza de Sustentación)...} \quad (5.2)$$

- **FUERZA DE ARRASTRE**

Es la fuerza sobre un cuerpo ocasionada por el fluido que opone resistencia en la dirección del movimiento del cuerpo. Debido a la dificultad de predecir los resultados de la relaciones (5.1) y (5.2) sin recurrir a resultados experimentales, el arrastre se puede evaluar por la siguiente relación:

$$F_D = C_D A \rho \frac{v^2}{2} \dots \quad (5.3)$$

C_D : coeficiente de arrastre, es un número adimensional y es función del número de Reynolds: $C_D = f(Re)$, y adicionalmente del número de Mach para fluidos compresibles.

ρ : densidad del fluido, que es constante para fluidos incompresibles.

v : velocidad relativa entre el cuerpo y el fluido.

A : área característica del cuerpo.

El arrastre total de un cuerpo se debe a dos componentes: arrastre de presión y arrastre de fricción. *El Arrastre de Presión*, se fundamenta en la diferencia de presiones ocasionada por los disturbios de la corriente de flujo conforme pasa el cuerpo, lo que crea una estela turbulenta donde las líneas de corriente se separan de la superficie del cuerpo, que resulta finalmente en una fuerza neta que actúa en dirección opuesta a la del movimiento. *El Arrastre de Fricción*, se debe a las fuerzas cortantes en la capa delgada de fluido que se encuentra cerca de la superficie del cuerpo, que se conoce como capa límite.

La dificultad de evaluar por separado ambos tipos de arrastre, ha llevado a que se obtengan de manera empírica los valores de coeficientes de arrastre globales. Dichos coeficientes han sido evaluados experimentalmente para una serie de formas, ver fig. 5.3.

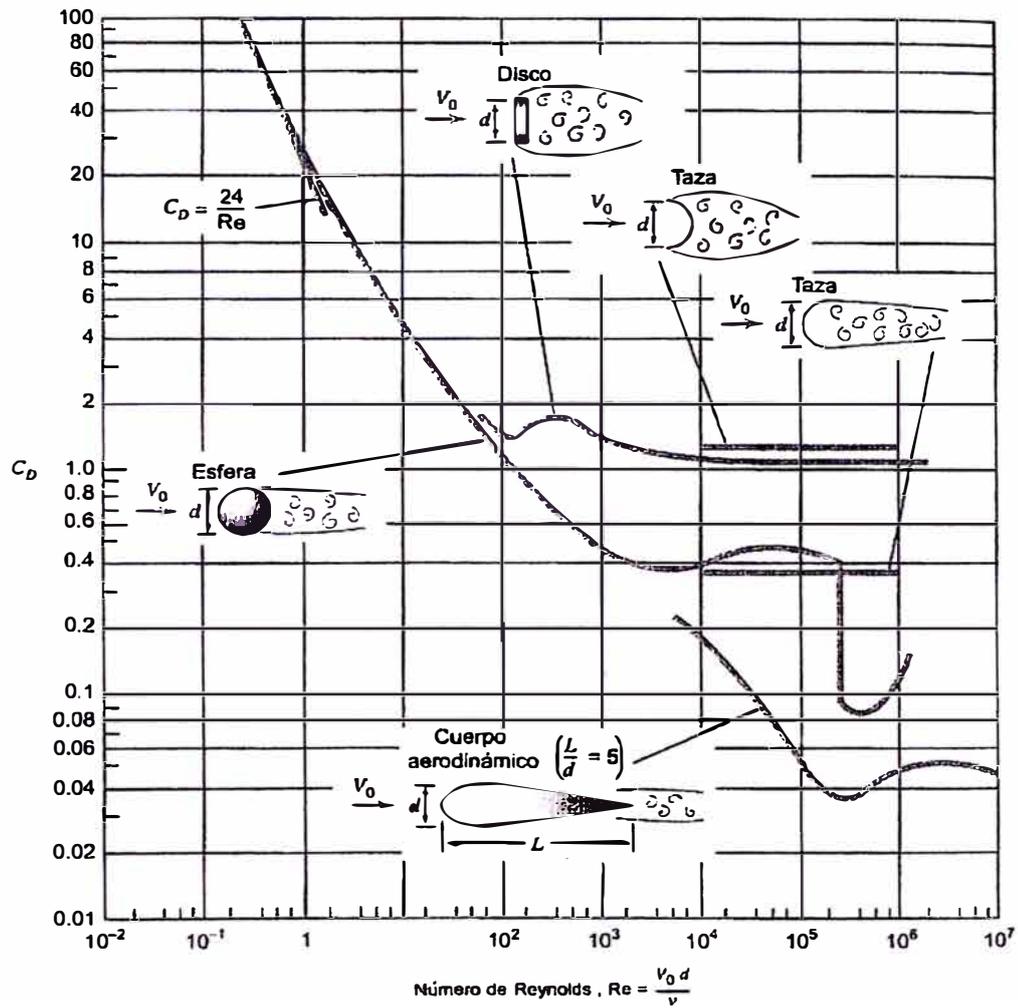


Fig. 5.3 Coeficiente de arrastre vs. Número de Reynolds para cuerpos axisimétricos.

Una de estas correlaciones muy empleada en la práctica, ha sido propuesta por Cliff y Gauvin:

$$C_D = 24/Re (1 + 0.15Re^{0.687}) + 0.42 / (1 + 4.25 \times 10^4 Re^{-1.16}) \dots \quad (5.4)$$

Esta correlación se desvía de la curva de arrastre estándar de -4% a 6% para Reynolds de hasta 3×10^5 .

Para Re comprendidos entre 0 y 800, es aplicable la relación siguiente:

$$C_D = 24/Re (1 + 0.15Re^{0.687}) \dots \quad (5.5)$$

Para Re hasta 2000, tenemos la fórmula propuesta por L.S. Klyachko:

$$C_D = 24/Re + 4/\sqrt{Re} \dots \quad (5.6)$$

Para $Re < 1$, A partir de las ecuaciones de Navier-Stokes, sobre el movimiento de un cuerpo en un fluido viscoso, se deriva la siguiente ecuación teórica, conocida como **Ley de Stokes**.

Arrastre = Arrastre de forma + Arrastre de fricción = $\pi D \mu v + 2 \pi D \mu$,
de la que:

$$F_D = 3 \pi D \mu v \dots \quad (5.7)$$

A partir de la cual se deriva que para $Re < 1$: $C_D = 24/Re$ ($Re = \rho v D / \mu$)

- **PARTÍCULAS DEMASIADO PEQUEÑAS PARA LA LEY DE STOKES**

La ley de Stokes se ha verificado bien para el rango de condiciones de: fluido continuo, fluido laminar y cumplimiento de las leyes de Newton. Sin embargo, tanto para las partículas muy grandes como para las partículas muy pequeñas, estas hipótesis ya no funcionan. Es de nuestro interés en este informe el análisis de partículas muy pequeñas: diámetro menor o igual a $3\mu\text{m}$.

La ley de Stokes supone que el fluido en el que se está moviendo la partícula es un medio continuo, en realidad los gases, líquidos y sólidos no son continuos sino que están formado por átomos y moléculas; la partícula que se estaba considerando es más grande que los espacios entre las diversas moléculas y átomos, pero cuando una partícula se vuelve tan pequeña como la distancia entre las moléculas o menor que esta entonces cambia su interacción con estas. El número de colisiones entre las moléculas del gas y la partícula de polvo disminuye, provocando así que parte de las moléculas sean adsorbidas sobre la superficie de la partícula un tiempo suficiente como para olvidar la “dirección” de la que venían, teniendo así una dirección de salida difusa y aleatoria. Este efecto provoca una disminución de la fuerza de arrastre, haciendo por tanto que la partícula se mueva más rápido.

Para corregir el valor de la fuerza de arrastre se emplea el **factor de corrección de Cunningham**, que se define en la siguiente relación:

$$C_D = \frac{24}{Re C_f} \dots \quad (5.8)$$

Dónde: C_f = factor de corrección de Cunningham, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$C_f = 1 + \frac{(6.21 \times 10^{-4} T)}{D_p} \dots \quad (5.9)$$

Dónde: T = temperatura del fluido (°K)

D_p = diámetro de partículas

- **FUERZA DE SUSTENTACIÓN**

Es una fuerza ocasionada por el fluido en dirección perpendicular a la dirección del movimiento del cuerpo. Cabe indicar, que sólo existe la fuerza de sustentación cuando existe la circulación. Debido a la dificultad de predecir los resultados de las relaciones (5.1) y (5.2) sin recurrir a resultados experimentales, la fuerza de sustentación se expresa como función del coeficiente de sustentación, y se define en forma similar a la de arrastre.

$$F_L = C_L A \rho \frac{v^2}{2} \dots \quad (5.10)$$

C_L : coeficiente de sustentación, depende de la forma, ángulo de ataque y Re.

ρ : densidad del fluido

v: velocidad relativa entre el cuerpo y el fluido

A: área característica del cuerpo, para un ala es el producto de la longitud de extensión del ala y la longitud de la cuerda característica del ala.

- **VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN**

Cualquier partícula que queda bajo la acción de la gravedad se acelerará hasta que la fuerza de arrastre se equilibre -con la gravitacional, después de lo cual seguirá cayendo a una velocidad constante conocida como velocidad terminal o simplemente de sedimentación o v_f , expresada por:

$$v_f = \sqrt{\frac{2 m_p g (\rho_p - \rho)}{\rho \rho_p A_p C_D}} \dots \quad (5.11)$$

Dónde: g = aceleración local debida a la gravedad

m_p = masa de la partícula

ρ_p = densidad de la partícula

ρ = densidad del fluido

A_p = área proyectada de la partícula en dirección del movimiento

C_D = coeficiente de arrastre

La cual se deriva del equilibrio dinámico de fuerzas: fuerza de gravedad, fuerza de arrastre y fuerza de flotación. Para partículas esféricas en la región donde se cumple la Ley de Stokes, la relación 5.11 adquiere la siguiente forma:

$$v_f = \frac{g D_p^2 (\rho_p - \rho)}{18\mu} \dots \quad (5.12)$$

5.3.2 Flujos en medios porosos

Se ha descrito el comportamiento de las partículas en los fluidos, que constituye la base principal para el estudio de todos los dispositivos de control, que se describirán en 5.4. Pero cada tipo específico de dispositivo, conlleva a establecer teorías de comportamiento de fluidos específicas. Para nuestro caso, en que se tendrá como dispositivo de control a un Filtro de Mangas, se establecerá el comportamiento del fluido cuando pasa a través de

las mangas que constituyen el medio poroso, que se encargará de capturar las partículas contaminantes.

- **MEDIOS POROSOS**

Un medio poroso es un sólido o arreglo de ellos con suficiente espacio abierto dentro o alrededor de las partículas que lo conforman para permitir el paso de un fluido. La filtración emplea un medio poroso para realizar la separación de sólidos en suspensión, siendo retenidos por el medio poroso y sólo permitiendo el pasaje del fluido. Las propiedades más importantes de un medio poroso son su porosidad y su permeabilidad. El comportamiento de un fluido en un medio poroso se define al relacionar su porosidad con su permeabilidad. A continuación definiremos ambos términos.

La porosidad (ε) es la relación entre el área hueca y el área total del medio poroso.

$$\varepsilon = \frac{\text{Área hueca}}{\text{Área total}} = \frac{\text{Área flujo}}{\text{Área total}}$$

La permeabilidad se define con la ley de Darcy que relaciona la caída de presión de un fluido incompresible en régimen laminar a través de un medio poroso.

- **LEY DE DARCY PARA FLUJOS EN MEDIOS POROSOS.**

Darcy encontró que el caudal de fluido que atravesaba un permeámetro (ver fig. 5.4), era linealmente proporcional a la sección y al gradiente hidráulico.

Dicho enunciado se establece en la siguiente relación.

$$Q = -K \left(\frac{dh}{dl} \right)$$

$q = Q/\text{sección}$ (caudal que circula por m^2 de sección): velocidad.

K : permeabilidad (conductividad hidráulica)

dh/dl : gradiente hidráulico expresado en incrementos infinitesimales.

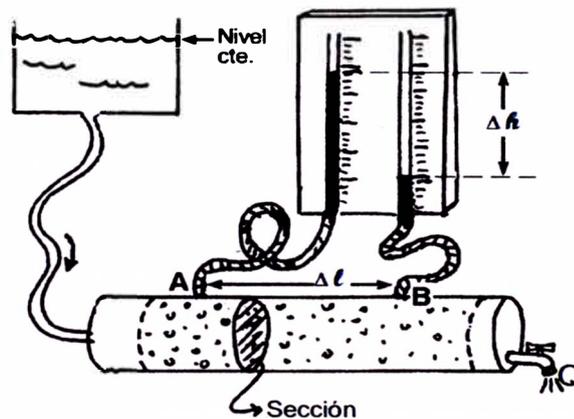


Fig. 5.4 Permeámetro utilizado en la experiencia de Darcy

La ley de Darcy tiene las siguientes limitaciones: la constante “ K ” no es propia y característica del medio poroso, sino que también depende del fluido. Este factor puede descomponerse así:

$$K = k \frac{\gamma}{\mu}$$

K : permeabilidad de Darcy o conductividad hidráulica.

k : permeabilidad intrínseca (depende sólo del medio poroso).

γ : peso específico del fluido.

μ : viscosidad dinámica del fluido.

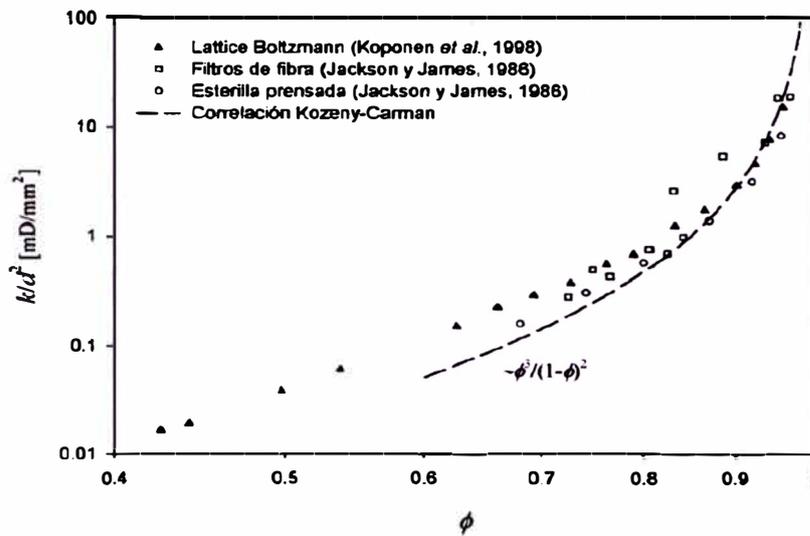


Fig. 5.5 Relación permeabilidad (k)-Porosidad (ϕ) para material fibroso, en un rango muy estrecho de porosidad.

Otra limitación de la ley de Darcy, es que sólo es aplicable para régimen de flujo laminar. La relación entre la porosidad y la permeabilidad de materiales porosos es el objeto de interés, estudios realizados para una gran variedad de materiales porosos revelan un comportamiento de ley de potencia entre ambas propiedades, aunque sólo son satisfactorias en rangos estrechos de porosidad de un mismo material. Una completa investigación acerca de este tema se puede encontrar en la ref. [28].

5.4 MEDIOS FILTRANTES

El medio filtrante o dispositivo de control se encarga de realizar la limpieza del aire contaminado. De acuerdo con el principio físico en que se basan, los sistemas extractores del material particulado, los podemos clasificar en:

Separadores por gravedad, como cámaras de sedimentación

Colectores centrífugos, como ciclones (sencillos o múltiples)

Separadores de polvo inerciales, como cámaras con placas y colectores con persianas.

Equipos de filtración, como filtros de tela y filtros de cartucho.

Precipitadores electrostáticos

Colectores húmedos o lavadores, usados también para gases y vapores.

En las líneas anteriores hemos descrito el comportamiento físico de las partículas en el gas y hemos planteado fórmulas básicas que describen dicho compartimiento. Esta teoría es la base para el cálculo de cada uno de estos dispositivos; los modelos matemáticos que gobiernan el accionar de estos dispositivos, son mucho más complejos de la teoría que se ha descrito hasta el momento e incluyen también una serie análisis experimentales como complemento de la teoría desarrollada a lo largo de las investigaciones que se han hecho hasta el momento.

Ahora, existen muchos factores que influyen al seleccionar un equipo de filtración. Es importante cuando se vaya realizar este tipo de selección que se tengan en cuenta a consultores, fabricantes y distribuidores de los equipos, así como también a las entidades que ya los hayan utilizado y tengan experiencia sobre ellos. Para realizar esta selección se debe tener en cuenta varias consideraciones como son: costo inicial,

costo de mantenimiento, costo de operación, efectividad de retención de contaminantes, espacio necesario para su instalación, materiales de construcción, disponibilidad en el mercado local, facilidad de consecución de repuestos, etc.

Los principales factores que influyen en la selección del medio filtrante son:

Características físico-químicas del contaminante, como tamaño de partículas, corrosión, contenido de humedad, viscosidad, combustibilidad y explosividad.

Concentración del contaminante en la corriente de aire que lo transporta.

Temperatura de la corriente de aire.

Grado de colección requerido.

Energía requerida, considerando la disponibilidad de ella en la región y su costo.

Facilidad de disposición de los desechos líquidos o sólidos obtenidos.

Las demás características que la legislación existente requiere.

La selección del equipo debe tener en cuenta los objetivos que se persiguen con la instalación, como el control de la contaminación del aire para alcanzar las normas de calidad del mismo, la recuperación de materiales valiosos, la recirculación del aire, la conservación de la salud de los trabajadores o el control de las molestias de la comunidad.

A continuación se describirá las características principales y principio de funcionamiento de los medios filtrantes mencionados:

5.4.1 Cámara de sedimentación

Constituyen los aparatos más sencillos para extraer las partículas sólidas suspendidas en una corriente de gas. Se usan principalmente para extraer partículas relativamente gruesas, o para completar una extracción previa que debe completarse posteriormente con otros separadores de polvo.

Generalmente tienen la forma de un paralelepípedo alargado en el que las partículas son asentadas por gravedad. La cámara debe ser lo suficientemente amplia para que la velocidad del gas que entra a ella se disminuya y dé lugar a que las partículas transportadas por el gas tengan tiempo de depositarse por gravedad.

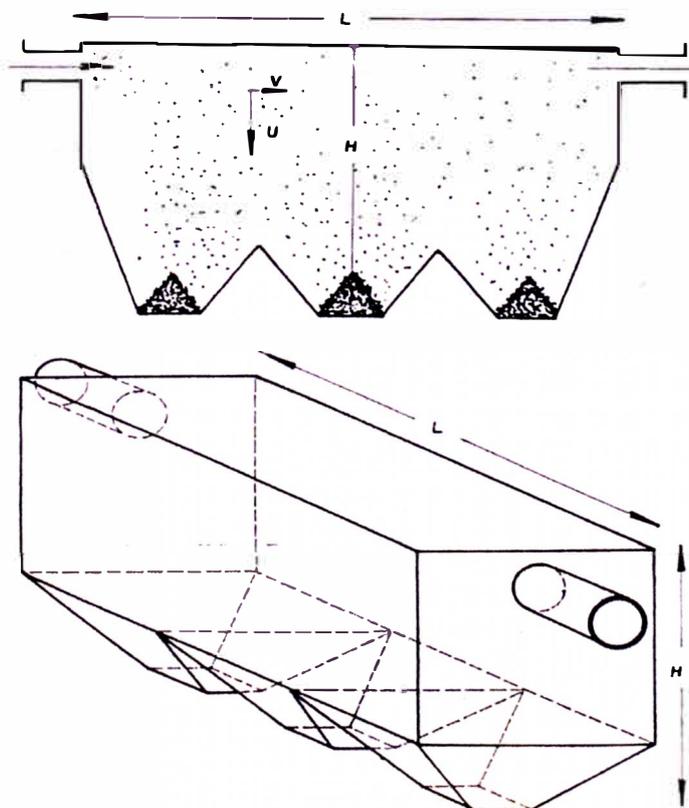


Fig. 5.6 Cámara de Asentamiento (Sedimentación) para coleccionar partículas.

Son usados con poca frecuencia debidos principalmente al espacio que requieren y a que su eficiencia sólo es aceptable para partículas muy grandes con alta concentración de polvo. Algunas cámaras mejoradas tienen en su interior placas horizontales con el fin de reducir la distancia vertical que tienen que recorrer las partículas antes de su deposición.

La caída de presión sufrida por la corriente de gas al pasar por la cámara de sedimentación es pequeña y varía entre 0.2 y 0.5 plgH₂O. La velocidad del fluido dentro de la cámara no debe exceder de 600 fpm. Se recomienda sólo sedimentar partículas con diámetros mayores de 50µm.

5.4.2 Ciclones (sencillos o múltiples),

También son aparatos sencillos para extraer las partículas suspendidas del aire. A diferencia de los sedimentadores los ciclones son efectivos para partículas más pequeñas. Los ciclones más simples, son un compartimiento de forma cilíndrica en la parte superior y de forma cónica en la parte inferior, y un ingreso lateral por una sección transversal cuadrada.

El flujo de gas ingresa siguiendo una trayectoria en espiral primero dirigiéndose al fondo del cono y después asciende por el eje de simetría, moviéndose aún en espiral, abandonando el ciclón por un tubo situado en la parte superior. Luego de este movimiento, ya ha precipitado el material particulado, el cual es descargado por un tubo en la parte inferior del ciclón. Conforme va ingresando la corriente de gas, las velocidades máximas se

obtienen en la pared del ciclón. Las partículas suspendidas por tanto, son transferidas gradualmente hacia las paredes externas, y después caen al fondo del cono por gravedad, y en parte también porque son arrastradas por la corriente. Un aumento excesivo de velocidad, provoca en la parte inferior del cono una considerable caída de presión, que puede ser hasta menor que la presión del exterior, permitiendo que ingrese aire exterior que impida la descarga de las partículas hacia la atmósfera, y pudiendo ser estas arrastradas hacia la salida de aire limpio.

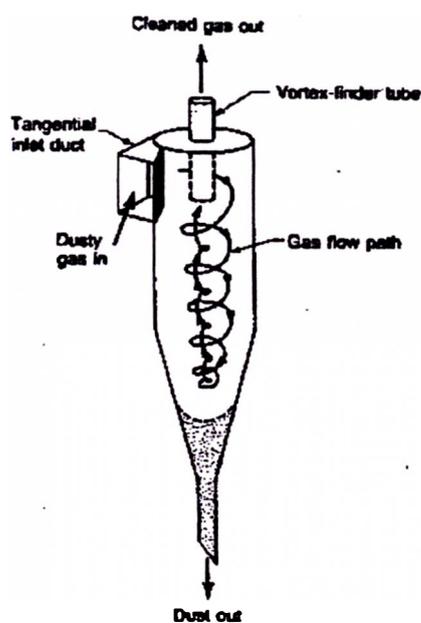


Fig. 5.7 Trayectoria del flujo de gas en un Ciclón.

Experimentalmente se ha demostrado que la velocidad con la que el aire entra al ciclón deberá estar comprendida entre 10 y 25m/s. El límite inferior se fija por necesidad de mantener el polvo en suspensión sin que se deposite en el conducto de entrada, y el límite superior por el hecho de que la resistencia

aumenta con el cuadrado de la velocidad pero no de igual manera la eficacia de extracción, que aumenta ligeramente.

Los ciclones de gran diámetro presentan buenas eficiencias de eliminación para partículas entre 40 y 50 μ m. Los ciclones alta eficiencia poseen diámetros menores (23cm o menos) con eficiencias del 90% para partículas entre 5-10 μ m, aunque presentan problemas de operación asociados a una pobre homogenización del flujo dentro del ciclón, abrasión debido a altas velocidades y taponamiento en corrientes con alta concentración de partículas.

5.4.3 Filtros (de tela, perforados o fibrosos),

En los cuales el aire cargado de polvo pasa siguiendo caminos tortuosos a través del material filtrante, que pueden ser telas, hojas de papel, cartón, fibra de vidrio, mallas metálicas, anillos de metal o porcelana, etc. El material particulado es interceptado y adherido al material, gracias a las fuerzas de inercia debidas a los cambios de dirección que experimenta la corriente a través del filtro y también por gravedad y difusión.

Aunque los aparatos se denominen filtros, las aberturas por las que pasa el aire son mucho mayores que las dimensiones de las partículas de polvo que se sedimentan en sus superficies. En el capítulo 6, se tratará con el mayor detalle específicamente el funcionamiento de los filtros de tela, llamados también filtro de mangas.

5.4.4 Electrofiltros (Precipitadores electrostáticos)

En los cuales las partículas se cargan eléctricamente por medio de un campo eléctrico de alto voltaje, para después ser atraídos por un electrodo, obligándolas a salir de la corriente de gas hacia las paredes. Luego de ello, deben ser removidas sin que estas tengan la opción de re-encausarse en la corriente de gas, para lo cual se las desprende de las placas permitiendo que se deslicen a una tolva de descarga, algunos precipitadores emplean lavados con agua, intermitentes o continuos.

Los parámetros a tener en cuenta para el diseño de los precipitadores electrostáticos, la cantidad de material particulado en la corriente de gas, el nivel de turbulencia del gas, así como las propiedades de las partículas.

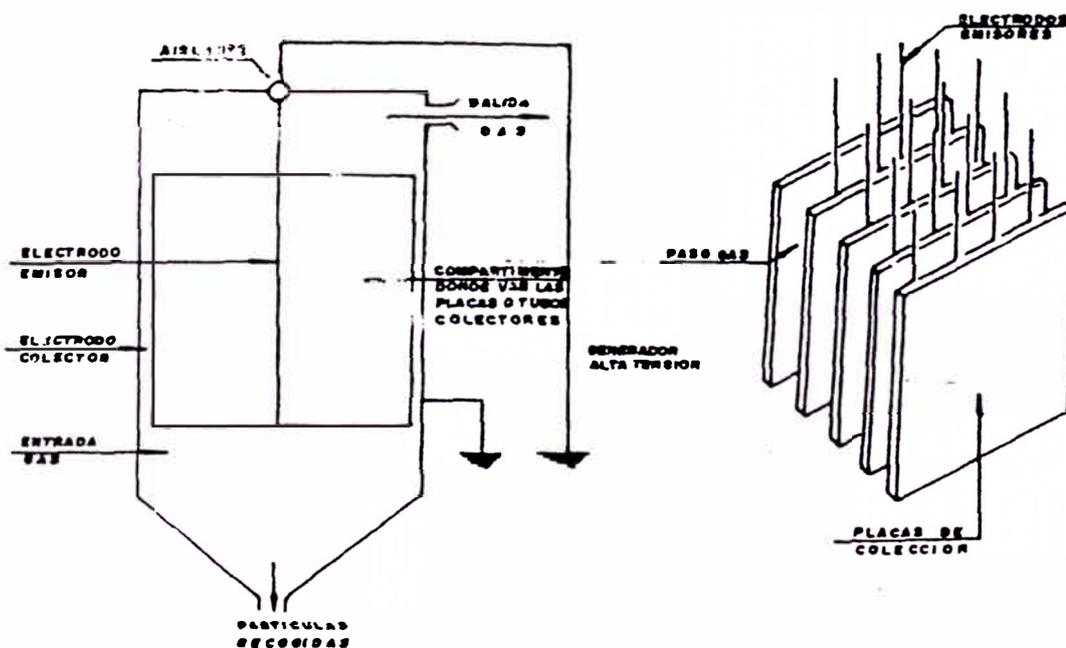


Fig. 5.8 Ejemplo simplificado de un Precipitador Electrostático.

Son equipos de alta eficiencia de filtración, del orden del 99% para partículas pequeñas (inferiores a $5\mu\text{m}$). Si tenemos una corriente de gas con partículas relativamente grandes, es preferible que pase antes por un colector mecánico, tales como ciclones, para reducir la carga, especialmente con concentraciones altas de entrada.

La caída de presión es muy baja y generalmente menor a $1\text{ plg H}_2\text{O}$.

5.4.5 Collectores húmedos (Scrubbers),

Utilizan un líquido, generalmente agua para capturar las partículas de polvo o para diluir los gases, vapores y neblinas que son transportadas por el aire. Las partículas chocan contra el líquido y son retenidas por éste. Por esta razón es más usual entrar el gas contaminado por la parte inferior del equipo para que suba en contracorriente con el líquido, con el fin de que suceda el impacto necesario para su colección. A mayor contacto entre ambas corrientes, mayor eficiencia de colección.

Existe una variedad de colectores húmedos, siendo los de mayor uso a nivel industrial: las torres rociadoras, las torres lavadoras de lecho flotante y las torres lavadoras centrífugas.

CAPITULO VI

FILTRO DE MANGAS

La corriente de gas sucia es traída por medio del sistema de captación desde su origen en el Horno de Fundición, hasta los Filtros de Mangas, que se encargarán del proceso principal de Filtración.

6.1 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Los filtros de mangas consisten de uno más compartimientos aislados que contienen hileras de bolsas de tela en forma de tubos redondos (manga). El gas sucio pasa a lo largo del área de las bolsas y luego radialmente a través de la tela. La colección de partículas en la corriente de gas se da través de la tela haciendo el resultado de la operación de varios mecanismos. Ver fig. 6.1.

Existen 3 posibilidades de colección:

- *Impacto*, la fibra intercepta directamente las partículas cuando la trayectoria del flujo que contiene la partícula pasa la mitad de la partícula del diámetro del filtro.

- *Intercepción*, las partículas sufren un impacto cuando la partícula tiene fuerza suficiente para permanecer en curso cuando la trayectoria del flujo se desvía en derredor de la partícula.
- *Difusión atracción electrostática*, las partículas de tamaños más pequeños hacen contacto con la fibra del filtro como resultado de su propio movimiento al azar (movimiento browniano) en la corriente de gas y otras se ponen en contacto como resultado de la atracción electrostática.

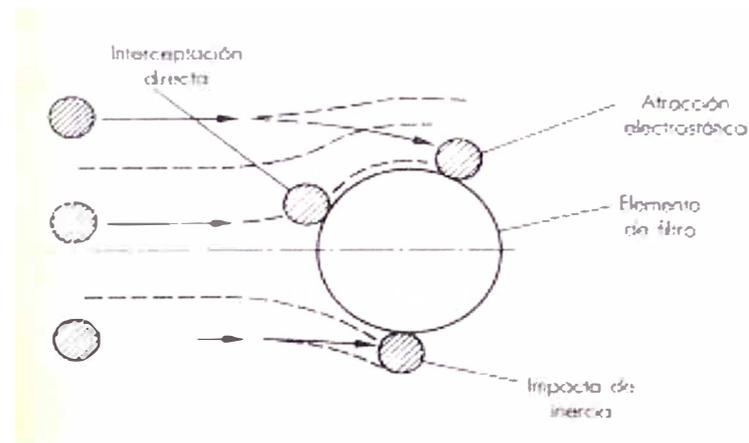


Fig. 6.1 Mecanismos de colección de partículas

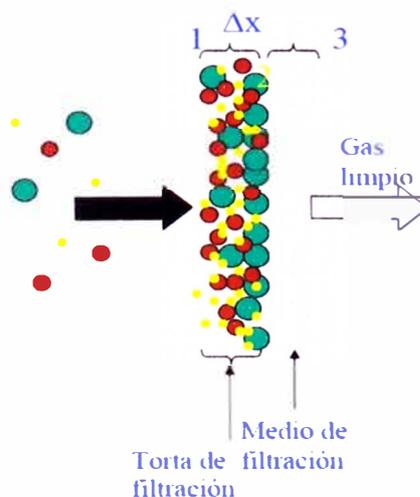


Fig. 6.2 Torta de filtración.

La capacidad de captación es mayor cuando más compacto es el material de la tela. Pero, cuando el filtro es puesto en funcionamiento, a medida que transcurre el tiempo, la tela limpia se obstruye cada vez más con el material particulado captado formándose lo que se denomina *torta* (ver fig. 6.2), la cual es aprovechada para incrementar la eficiencia del proceso de filtración, eficiencia que puede superar hasta el 99-99.9% de filtración, sin embargo, la formación de la torta también aumenta la resistencia al paso del aire, con lo cual disminuye el caudal tratado. También el incremento de la resistencia, a medida que la capa capturada va aumentando de espesor, provoca que la corriente de aire tienda a perforar la tela en los sitios de menor resistencia.

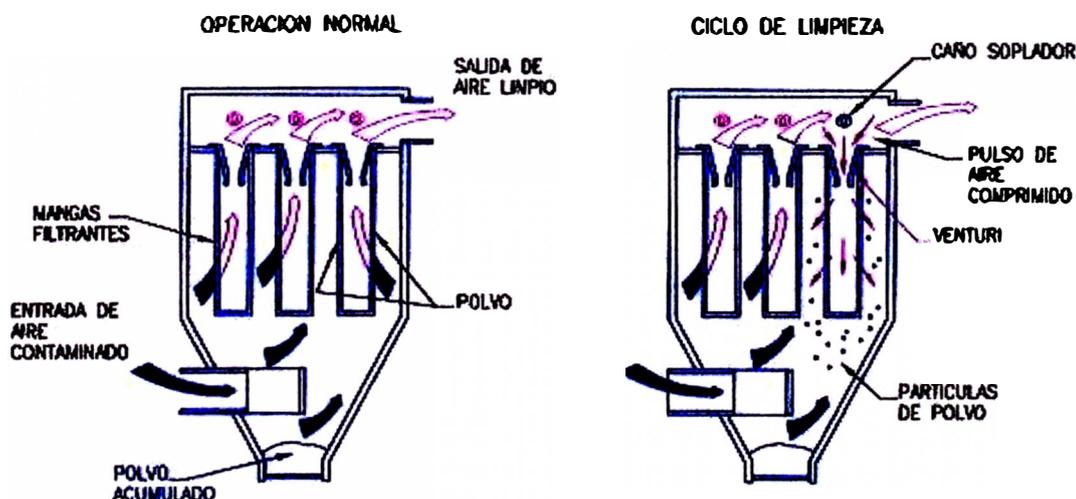


Fig. 6.3 Ciclos de Operación y Limpieza de un Filtro de Mangas.

No se debe permitir que la tela alcance este estado, por tanto, la torta que se forma en el filtro debe ser removida del área de la tela y depositada en una tolva para su disposición posterior. Ello se realiza cada cierto intervalo de tiempo de manera

cíclica: hablamos de períodos de filtrados relativamente largos y períodos cortos de limpieza. Los métodos empleados de limpieza son por agitación de la tela, inversión del flujo de gas o con chorros de aire comprimido, ver 6.4.

6.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS MANGAS

La elección del material de las mangas filtrantes depende del tipo de polvo a retener y el nivel de emisión deseado. Para ello, existe una gama de tipos y calidades específicas para cada caso. La mayoría de aplicaciones industriales utilizan telas tejidas de algodón o de materiales sintéticos. Las características que se buscan en una tela son:

- Resistencia química y térmica al polvo y al gas.
- Que la torta se desprenda fácilmente.
- Que la manga recoja el polvo de manera eficiente.
- Resistencia a la abrasión ocasionada por el polvo, el caudal y la velocidad del gas.

La capacidad de captación de una tela es mayor cuando más compacto es el tejido. Las telas gruesas no tejidas en forma de filtro, especialmente las de lana, son mucho más efectivas que las telas delgadas tejidas como las de algodón ya que los poros de la tela no tejida son más pequeños. Sin embargo, a medida que se hace más eficiente la tela por el medio anterior, va disminuyendo su permeabilidad y facilidad de limpieza. La selección de una tela de alta permeabilidad y una gran facilidad de limpieza y por tanto de una baja eficacia no es una mala elección, como uno pensaría

a primera vista. Una tela altamente eficiente que no pueda limpiarse bien presenta una resistencia excesiva al flujo del aire y no ofrece una solución económica. Generalmente las telas que utilizan los fabricantes de este tipo de filtros son seleccionadas como un término medio entre eficiencia, permeabilidad y facilidad de limpieza. Se prefiere tener una mayor permeabilidad y limpieza sacrificando un poco la eficiencia, ya que esta última se mejora con la torta filtrante. Luego, la eficacia de filtración no depende exclusivamente de la permeabilidad del medio filtrante sino también depende de la naturaleza del polvo filtrado, ya que según sus características es que se formará una torta de polvo con una eficacia de filtración asociada.

La temperatura de trabajo constituye otra de las variables importantes a tener en cuenta en la elección de la manga. Para fibras naturales, la temperatura máxima aplicada es alrededor de 90°C. Mientras que materiales hechos a base de fibra de vidrio y fibras sintéticas, soportan una temperatura máximas en rangos de 230 a 260°C. Vale decir también, que los filtros de tela no deben ser empleados si exista la posibilidad de que la temperatura del aire descienda por debajo del punto de rocío, ya que provocaría condensación de agua sobre el tejido, y las partículas estando húmedas taparían los poros del tejido.

El tamaño de las partículas a separar por las mangas normalmente son entre 2 y 30 μm . No obstante, no es usual disponer de mangas con poros tan pequeños como para retener las partículas que transporta el gas, debido a que los diámetros de estas son extraordinariamente pequeños, por lo que la filtración efectiva no comienza a efectuarse sino hasta que se forme la torta filtrante.

6.3 PARTES CONSTITUYENTES

- **Cámara de aire sucio**

Es el compartimiento inferior del colector de mangas, aquí se encuentran ubicadas las mangas y los deflectores si los hubiere.

- **Ductos de entrada, Deflectores y Malla Atrapamangas**

El ducto de entrada de gases se ubica normalmente en la tolva. El diseño de entrada de gases considera deflectores cuya principal función es distribuir uniformemente el gas al interior de la cámara de aire sucio y que el material particulado pesado caiga hacia la tolva, evitando que éste erosione las mangas, aumentando así la vida útil de los elementos filtrantes y mejorando la distribución de carga de polvo sobre las mangas. Además normalmente se coloca una malla atrapa mangas, para contenerlas en caso una se desprendiera. De esta manera se evita eventuales bloqueos de la válvula de descarga o algún equipo de proceso.

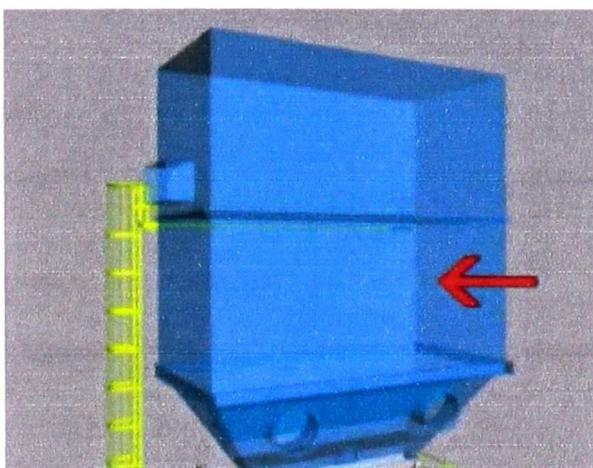


Fig. 6.4 Cámara de aire sucio y Ductos de entrada de gases (inferior), Cámara de aire limpio y Ductos de salida de gases (superior).

- **Tolva de Descarga de Polvo**

Generalmente los colectores poseen una tolva de descarga para eliminar el polvo del sistema. Las tolvas son tipo piramidal, y es común que en ellas se ubiquen los ductos de entrada de gases. Normalmente se proyectan con una pendiente mínima de 70° para evitar acumulación de producto en las paredes del mismo.



Fig. 6.5 Deflectores, Malla Atrapa mangas y Tolva de descarga de polvo

- **Mangas Filtrantes**

ver 6.2.

- **Placa Porta Mangas**

La placa porta mangas posee perforaciones en las cuales se introducen las mangas filtrantes junto con sus respectivos canastillos.

- **Canastillos de soporte**

En los sistemas tipo chorro pulsado (pulse jet), el flujo atraviesa la mangas desde fuera hacia dentro es necesario proveer a la manga de un sistema de soporte

que aporte la resistencia mecánica necesaria a la manga para evitar una deformación excesiva que termine colapsando la manga.

- **Cámara de aire limpio**

Se llama así al compartimiento de salida de aire limpio del colector, este compartimiento actúa además como plenum, igualando la presión interior de las mangas.

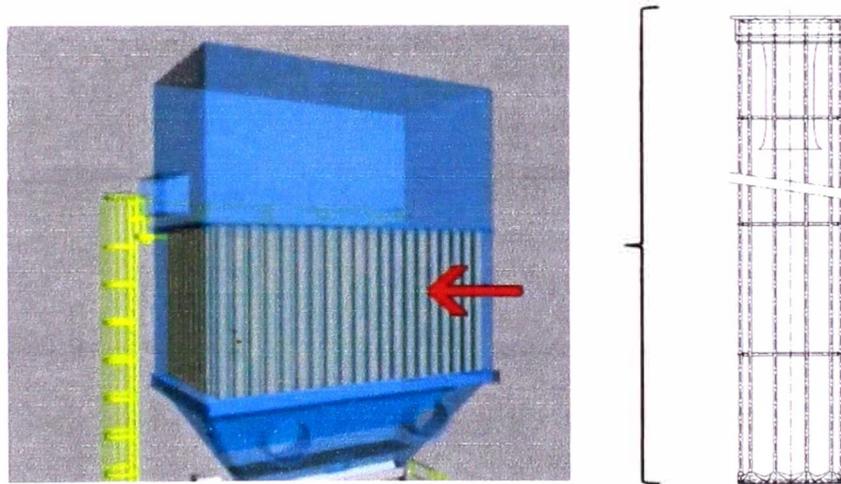


Fig. 6.6 Mangas Filtrantes y Canastillo de Soporte

6.4 CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS DE MANGAS

Los filtros de mangas son clasificados por varios medios que incluyen: el tipo de limpieza (por agitación, aire a la inversa, propulsión a chorro), la dirección del flujo (desde el interior de la bolsa hacia el exterior o viceversa), la localización del ventilador del sistema (de succión o de presión), o tamaño (cantidad baja, mediana o alta de flujo de gas). De las cuatro clases, el método de limpieza es probablemente la

característica más distintiva, por lo que a continuación desarrollaremos este tipo de clasificación.

6.4.1 Limpieza por Agitación

La energía necesaria para desprender la adhesión del polvo a la bolsa se logra con la acción de un motor, que hace oscilar la estructura o el gancho donde va suspendida la bolsa. Conforme se mueve la tela fuera de su línea central, se mueve el polvo acumulado junto con ella. Cuando la tela alcance su límite de extensión, la torta de polvo posee ya la suficiente inercia para desprenderse de la tela y descender hacia la tolva. Consecuentemente, se necesitan telas más pesadas y durables, con respecto a otros mecanismos de limpieza.

En casas de bolsas pequeñas y de un solo compartimiento, generalmente operadas de manera intermitente, la agitación puede ser manual a intervalos apropiados por lo general al término de la jornada de trabajo, por medio de una palanca conectada al mecanismo de agitación. En cambio, en casas de bolsas con compartimientos múltiples, generalmente operadas continuamente, un cronómetro o un sensor de presión que responda a la caída de presión del sistema, inicia la agitación automáticamente.

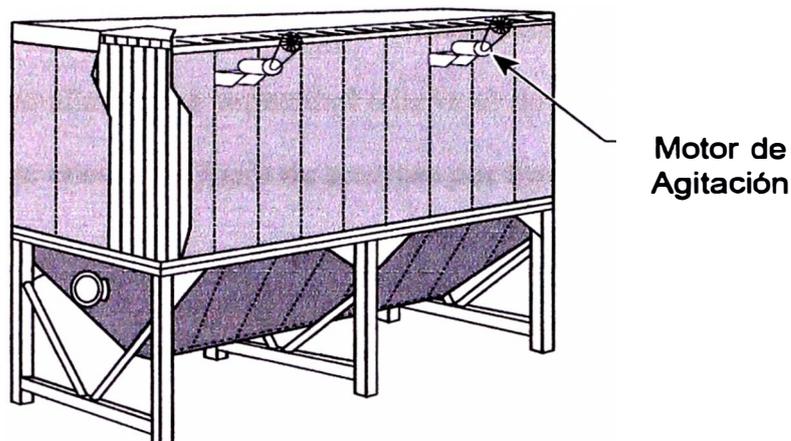


Fig. 6.7 Casa de Bolsas con Agitación Típica

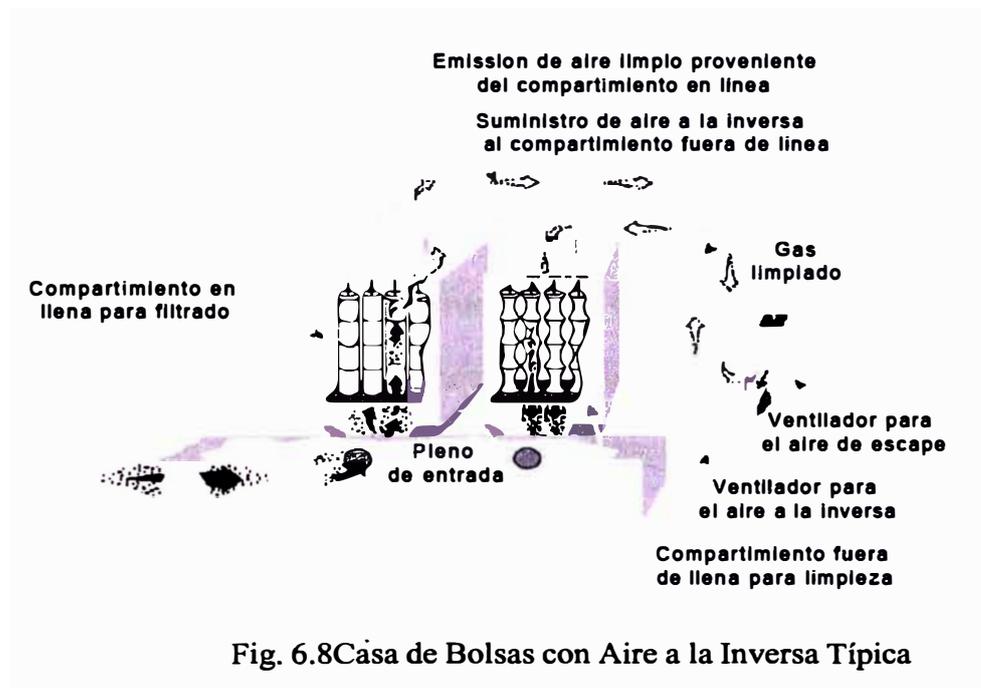
Los compartimientos son limpiados en secuencia, y el flujo de gas es interrumpido mientras se realiza la agitación mecánica. Por tanto, la superficie recolectora necesaria en la casa de bolsas debe ser incrementada para compensar la desproporción producida.

Los parámetros que afectan a la limpieza por este tipo mecanismo, son la frecuencia del movimiento de agitación, usualmente de 4 Hz, y la tensión de la bolsa montada, por lo general entre 2 a 3 plgH₂O.

6.4.2 Limpieza con Aire a la Inversa

Este tipo de limpieza apareció como una manera de impartir menos energía a las bolsas en su ciclo de limpieza. Similar a las casas de bolsas por agitación con compartimientos múltiples, se interrumpe el flujo de gas hacia las bolsas en el compartimiento donde se va a realizar la limpieza, para dar paso a un flujo a la inversa (de fuera hacia dentro) a través de las bolsas, plegándolas suavemente hacia sus líneas centrales y desprendiendo así la torta

de polvo del área de la tela. Como consecuencia de la interrupción del ciclo de gas se debe añadir una capacidad adicional de filtración para compensar la porción que se encuentre fuera de servicio por limpieza en cualquier tiempo.



Las bolsas son sostenidas por tapas metálicas en la parte superior y además poseen varios anillos cocidos a lo largo de la bolsa, que impiden su colapso completo durante la limpieza. Sin dichos anillos, el polvo que cae y se acumula tendería a obstruir las bolsas a medida que la tela se pliega sobre sí misma mientras es limpiada.

La energía para el flujo de gas a la inversa es realizada por medio de dampers aprovechando el propio flujo del sistema ya limpio, o proporcionada independientemente por un ventilador el cual suministra aire limpio y seco con una relación de gas-a-tela tan alta o más alta que la del flujo de gas hacia

adelante. Algunas casas de bolsas de aire a la inversa emplean como mecanismo suplementario el de agitación, de esta manera aumentan la cantidad de energía suministrada a la bolsa para su limpieza.

6.4.3 Limpieza por Chorro Pulsante (Pulse Jet)

A diferencia de las dos anteriores agitación mecánica y aire inverso, la filtración de gases se realiza de afuera hacia adentro y el proceso de limpieza de mangas no necesita interrumpir su ciclo de filtración para realizar la limpieza de mangas, ello constituye una ventaja dado que permite la reducción del tamaño de las casas de bolsas, al tener una relación más alta de gas-a-tela.

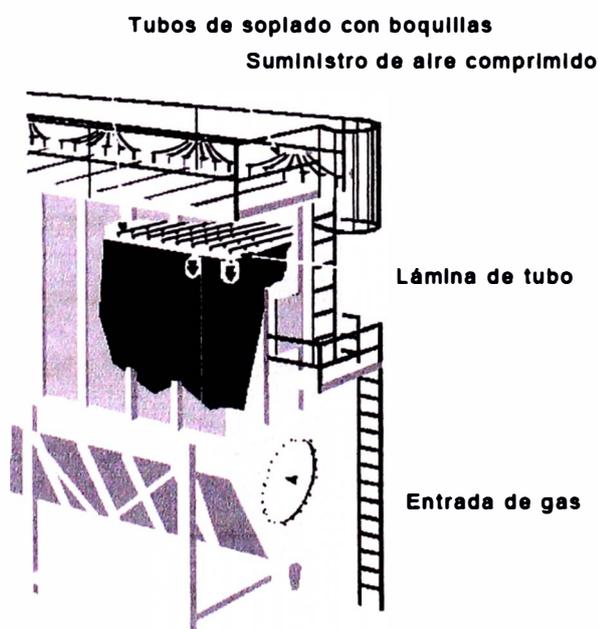


Fig. 6.9 Casa de Bolsas con Chorro a Pulso

Sin embargo, estas relaciones más altas de gas-a-tela, ocasionan mayor caída de presión. Es decir por una parte una parte disminuyen los costos de construcción pero por otra parte aumentan los costos de operación.

La limpieza se realiza con aire comprimido forzando que la bolsa se expanda violentamente con golpes de aire, hasta que la tela alcanza su límite de extensión y el polvo se separa de la bolsa. Luego, el aire escapa a través de la bolsa llevando el polvo separado del área de la bolsa. En el capítulo VIII se explicará a mayor detalle el proceso de limpieza de las mangas para este tipo de filtro.

Las ventajas de usar filtros de mangas con chorro pulsado en comparación con los 2 tipos anteriores radica en:

Aumento de la vida de las mangas filtrantes.

Mayor flujo de gas.

Menores costos de mantenimiento.

Limpieza en línea, que elimina las variaciones en la ventilación provocadas por la limpieza sin conexión de filtros de aire reverso y sacudido.

Sistema de limpieza bajo demanda, que limpian las mangas filtrantes sólo cuando es necesario, lo que aumenta su vida y reduce el uso de aire comprimido.

En los filtros de mangas por chorro pulsante convencionales las mangas son fijadas a la estructura sólo en la parte superior; la parte inferior tiende a moverse en el flujo de gas turbulento durante la filtración y puede frotar otras mangas, lo cual acelera el desgaste.

6.5 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Los dos parámetros fundamentales a considerar en el diseño de un filtro de mangas son la velocidad del gas (relación gas-a-tela) y la pérdida de carga. El costo de operación aumenta a medida que la caída de presión aumenta, y el costo capital aumenta cuando aumenta el tamaño de las bolsas, el cual se reduce a medida que la velocidad superficial aumenta. La relación gas-a-tela es afectada por las características de las partículas y telas, así como la temperatura del gas.

Las velocidades del gas son bastantes reducidas, por lo que se considera flujo laminar. La velocidad a la que los gases pasan por la tela debe ser baja, normalmente entre 0,005 y 0,03 m/s, para evitar una excesiva compactación de la torta de sólidos con la consiguiente elevación de la pérdida de carga, o para impedir la rotura local del lecho filtrante que permitiría el paso de partículas grandes a través del filtro.

Para mantener una velocidad aproximadamente constante es evidente que se debe aumentar la presión a medida que aumenta el espesor de la torta. Para realizar esta función de aumento de la presión se dispone de un ventilador que se encargará de impulsar el gas.

La caída de presión a través de las bolsas puede ser tan alta como de 10 plg H₂O o más, ésta depende de las propiedades físicas del polvo y de la tela y de la manera en que la casa de bolsas es diseñada y operada. La caída de presión a través del compartimiento de bolsas depende de gran manera del diseño de la casa de bolsas y varía entre 1 a 2 plg H₂O en diseños convencionales y hasta 3 plg H₂O en diseños que tienen trayectorias complicadas.

Normalmente la resistencia del material filtrante es despreciable en comparación con la de la torta de modo que el volumen del gas procesado resulta proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de filtración. Las eficiencias de recolección en una casa de bolsas diseñada apropiadamente y bien operada por lo general tendrán una eficiencia de recolección extremadamente alta (hasta 99.9%).

Otras consideraciones a tomar en cuenta a continuación:

- La entrada al colector realizada con un difusor mejora la distribución del gas y reduce su velocidad. Una mejora de la distribución del gas va de la mano con una mejora en la distribución del polvo.
- No se recomienda el contacto directo con las paredes internas del filtro ni con las mangas. Una mala distribución trae consigo cortos ciclos de limpieza, alto consumo de aire y una vida de mangas corta.
- Evitar que el número de entradas al filtro sea mayor que una. Una sola entrada garantiza una circulación del flujo normal.
- Se acostumbra colocar una plancha deflectora a la entrada del filtro, precipitando así las partículas grandes a la parte inferior de la tolva.
- Las medidas de las mangas estas estandarizadas por los proveedores, la mayoría de los filtros deben coincidir de cierta manera para que una sola medida y tipo de manga sea utilizado.
- Al aumentar la longitud de las mangas es posible que no queden verticales en el montaje, pudiendo tocarse entre si en la parte inferior ocasionando desgaste.

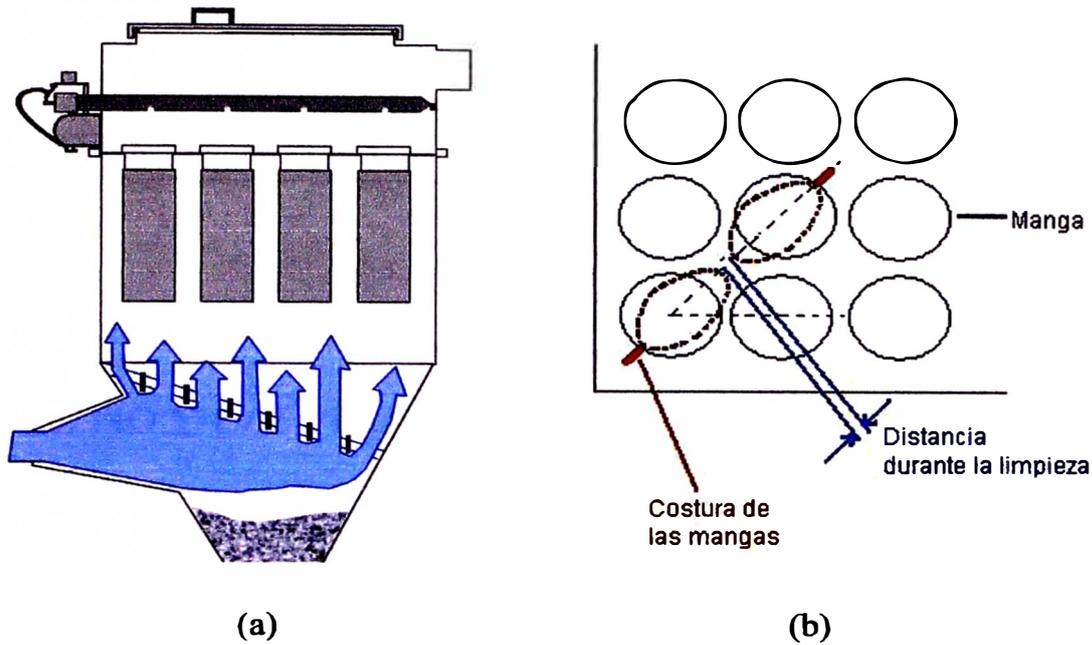


Fig. 6.10 (a) Diseño mejorado de la entrada al filtro (b) Distancia entre mangas

- La distancia entre mangas debe cumplir un mínimo de 50mm y 75mm entre mangas y paredes. Acercar más las mangas provocaría que en el proceso de limpieza entren en contacto además de aumentar la velocidad ascendente.
- El número máximo de mangas por columna 15 o 16, por pérdidas en la flauta de aire comprimido al llegar a las últimas mangas, afectando la limpieza.
- El ángulo de inclinación de la tolva no debe ser menor que 55° .
- El uso de una cámara de aire limpio en lugar de compuertas superiores facilitan el mantenimiento.

Con fines de no extender el informe, los métodos de cálculo de los componentes del filtro de mangas, serán enunciados directamente en capítulo VII en el cual se realiza el dimensionamiento del filtro de mangas.

CAPITULO VII

DISEÑO Y CÁLCULO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE HUMOS

Los componentes a dimensionar son los siguientes: Campana de captación, Conductos de transporte de gases, Dispositivo de Control (Medio Filtrante), Chimenea y Ventilador. No se realizará el cálculo de los Conductos Refrigerados a la salida del Horno ni los componentes estructurales afines tales como Soportes de Ductos, Estructura y Soporte del Dispositivo de Control.

7.1 PARÁMETROS Y CONDICIONES DE DISEÑO

a) Condiciones del Sitio

De acuerdo a los datos tomados de la referencia [24]:

Altitud = 4 m.s.n.m.

Temperatura promedio = 17.5°C

Humedad relativa = 65-85%

Velocidad del viento = 9.98 m/s

b) Condiciones del Proceso

Temperatura Promedio = 130°C

Temperatura de Gases a la salida por el Cuarto Agujero del Horno = 850°C

c) Características de las Emisiones

De acuerdo a datos obtenidos del fabricante del Horno marca Core-Tenova con 30ton de capacidad de colada:

Rango de tamaño de Partículas = <2; 30>µm

Tamaño promedio de Partícula = 20µm

Densidad de las Partículas = 530 kg/m³

Concentración de las Partículas PM₁₀ = 46 µgr/m³

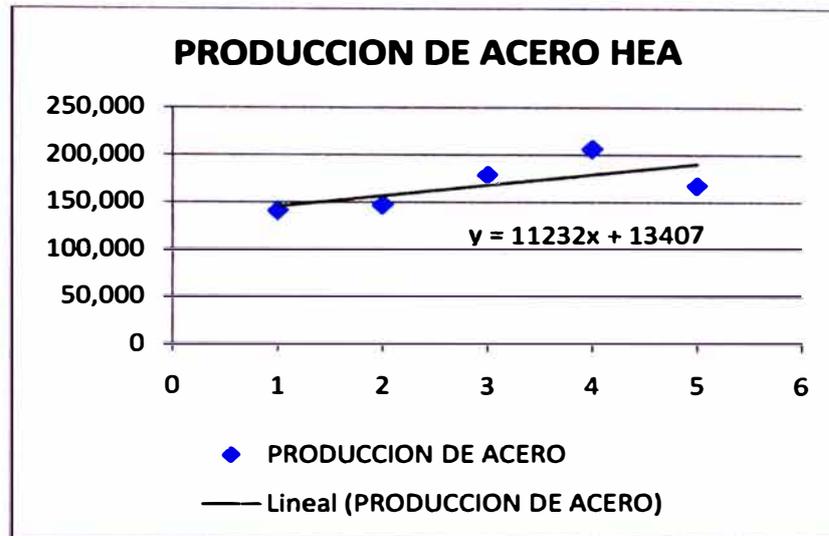
Concentración de las Partículas PM_{2,5} = 56 µgr/m³

7.2 CÁLCULO DE EMISIONES

El nuevo horno de 30ton a instalar funcionará en remplazo de los hornos eléctricos actuales. De la referencia [24], se ha obtenido los siguientes datos de producción de acero en la Planta, en los últimos 5 años.

Tabla 7.1 Producción de Acero en los últimos años en la Planta (valores en Ton).

AÑO N°	AÑO	Planta de Sinterización	Alto Horno	Convertidores LD	Hornos Eléctricos	TOTAL ANUAL
1	2004	84,785	270,758	258,003	140,498	754,044
2	2005	69,309	261,203	241,926	146,650	719,088
3	2006	82,847	304,510	283,881	178,710	849,948
4	2007	109,321	351,878	327,334	206,034	994,567
5	2008	121,074	344,626	315,594	166,964	948,258



$$\begin{aligned} \text{Producción acero horno nuevo} &= 30 \frac{\text{ton}}{\text{colada}} \times \frac{1 \text{ col}}{1.5 \text{ hr}} \times 24 \times 365 \times 0.95 \\ &= 166,440 \text{ ton/año} \end{aligned}$$

$$\text{Producción acero total} = 246,396 + 166,440 = 412,836 \frac{\text{ton}}{\text{año}} = 1,131.06 \frac{\text{ton}}{24 \text{ hr}}$$

La producción de emisiones gaseosas será:

Emisiones gaseosas	1 ton de acero	1,131.06 ton/24 hr.
CO ₂	1.95ton	2,205.56
NO _x	0.003ton	3.39
SO ₂	0.004ton	4.52
CH ₄	0.626kg	708.04
COV	0.234kg	264.67
Polvo	15kg	16,965.86
Metales pesados	0.037kg	41.85

La tasa de emisión de polvo metálico se indicó como dato del fabricante:

$$\begin{aligned} \text{Tasa de emisión polvo} &= 1,000 \frac{m^3}{hr. ton} \times 30 ton \times 24 hr. \\ &= 720,000 \frac{m^3}{24 hr.} \end{aligned}$$

Con lo que obtenemos la concentración del polvo.

$$\begin{aligned} \text{Concentración polvo} &= 16,965.86 \frac{kg}{24 hr.} \times 1000 \div 720,000 \frac{m^3}{hr. ton} \\ &= 23.56 \frac{\mu g}{m^3} \end{aligned}$$

El valor obtenido es un promedio de partículas de polvo con tamaños que fluctúan entre <2; 30> μm . Los datos del fabricante indican que la concentración para $PM_{2.5}$ = 56 $\mu g/m^3$. Este valor debemos controlarlo por medio de un dispositivo de control atendiendo a lo indicado en la Tabla 2.1 y 2.2.

7.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE HUMOS

El diagrama del proceso de captación de humos del horno se muestra en el Plano N°01 del Anexo 6. El Horno es el punto de partida (fuente de emisiones) tanto del sistema de extracción primaria como secundaria, ambos sistemas se podrían llevar por separado hacia dispositivos de control independientes, pero con fines de reducir costos, los dos sistemas se derivan en uno sólo, llamándosele así *sistema combinado*. El sistema está compuesto por los equipos típicos de un sistema de captación de humos, como se indicó en 4.4: campana, ductos, dispositivo de control, ventilador y chimenea. El punto final de todo el sistema es la chimenea dispersora de humos, la cual debe estar en un lugar donde se pueda proporcionar una salida libre de los gases a la atmósfera. Los ventiladores proporcionan la energía necesaria para el

transporte de los gases, y el dispositivo de control empleado es un filtro de mangas tipo chorro pulsado, el cual ha sido seleccionado de acuerdo a 7.6.

Por tratarse de un horno, los ductos deben transportar gases calientes que son emitidos a altas temperaturas alrededor de los 900°C. Por ello a la salida del horno es conveniente enfriar los gases hasta una temperatura que pueda ser: transportable normalmente por los conductos sin necesidad de incrementar su espesor o revestirlo con aislante, soportable además por las mangas de filtración, y que no impacte al medio ambiente.

Para cumplir con dicho objetivo se instala inmediatamente a la salida del horno un tramo de conductos refrigerados por agua, cuyo principal medio de transferencia de calor es por conducción. El costo de operación de este tipo de este sistema de enfriamiento es alto, por lo que la Compañía ha decidido para este proyecto emplear la tecnología Quenching Tower, la cual aumenta en un 70% la eficiencia del proceso de enfriamiento, así como la reducción de 1/3 del consumo de agua. Ésta, utiliza un sistema de atomización (agua impulsada con chorros de aire) que permite el contacto directo del agua con los gases calientes. Sus dimensiones tienen hasta 40m. de alto por 5m. de diámetro y su robustez permite que el proceso tenga más flexibilidad a cambios, es decir, incrementos de producción de acero por ejemplo, al ser fácilmente ajustado al nuevo nivel de generación de gases. De esta manera el proceso de enfriamiento se lleva a cabo en 2 etapas y se disminuye considerablemente los costos de operación.

Los conductos de transporte están provistos de válvulas dámara que regulan el flujo de gas, estas válvulas son controladas por un PLC de acuerdo a una lógica de control.

Los dampers de captación son activados de acuerdo a las fases de operación del horno

(ver Anexo 2.B.) y la presión en los ductos de captación. El dámper de emergencia es empleado para controlar la temperatura del proceso e interrumpe el paso de fluido cuando la temperatura es excedida protegiendo así a las mangas filtrantes. El dámper de salida de gas limpio y entrada de gas sucio permanecen abiertos en operación del sistema, y sirven además para aislar la cámara de gas sucio de la cámara de gas limpio con fines de mantenimiento o cambio de mangas.

Los conductos también tendrán a lo largo de su recorrido juntas de expansión que permitan su libre desplazamiento en caso de dilatación por incrementos de temperatura.

El empleo de 2 ventiladores en paralelo como muestra el diagrama del proceso se explicará en 7.9. Dichos ventiladores serán colocados a la salida del dispositivo de control, comportándose como extractores de gas. Todo el sistema trabajará con presiones negativas (vacío).

El sistema de aire comprimido se muestra en el Plano con líneas punteadas, tiene como función alimentar al sistema de limpieza de mangas (ver Cap. VIII), y válvulas dámper que lo requieran. El sistema de limpieza de mangas será controlado también por un PLC el cual lo activará por un tiempo muy corto, cuando se requiera la limpieza de mangas, luego de realizarse el proceso de filtración.

7.4 CÁLCULO DE LA CAMPANA DE CAPTACIÓN

Contamos con 3 tipos de campanas: Campana tipo Cabina, Campana Suspendida y Campanas de Captura Lateral, descritas en la teoría.

La Campana tipo Cabina no se adapta al proceso ya que no permite los movimientos del Horno durante el proceso de Carga y Descarga.

La Campana de Captura Lateral, son ideales para fuentes de contaminación con un ancho igual o menor a 2 pies y cuando los trabajadores deben laborar directamente sobre la fuente. La primera premisa no se ajusta a las dimensiones de nuestro horno y la segunda no aplica por ser un proceso automatizado.

Las Campanas Suspendidas son ideales para procesos calientes con aire que asciende verticalmente, donde no hay trabajadores laborando directamente sobre la fuente. La distancia vertical desde la salida de la fuente hasta la boca de la campana, se puede ajustar a las condiciones del proceso, aunque se debe procurar que sea la menor posible para minimizar el caudal necesario para la captación. Se elige el tipo de campana suspendida.

a) CAUDAL NECESARIO

El cálculo del caudal necesario para realizar una eficiente captación, en este tipo de campana se obtiene por la siguiente relación (ver Apéndice 5.A.)

$$Q = 1.4 PHV \quad [7.1]$$

Q: Razón de flujo aspirado hacia dentro de la campana (cfm)

P: perímetro de la fuente (pie)

H: distancia desde la campana a la fuente (pie)

V: velocidad de captura de la campana (fpm)

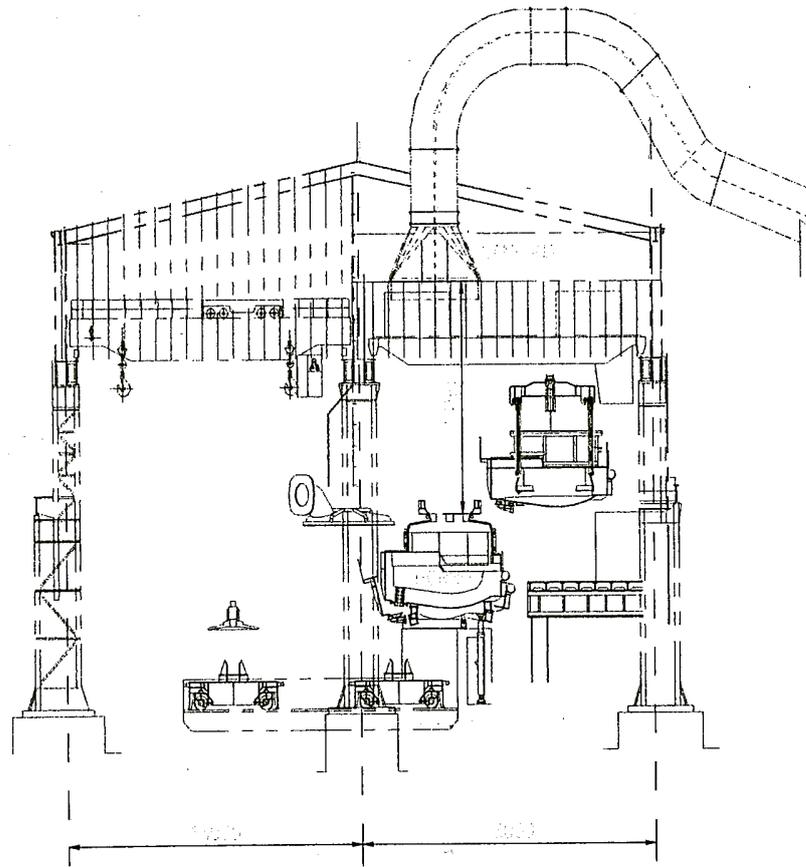


Fig. 7.1 Ubicación de Horno y Campana de Captación.

La distancia H es obtenida a partir de las condiciones en la nave industrial donde va ser instalado el Horno. De la figura (7.1):

Distancia de Ubicación Vertical (H) = 14.5m

Diámetro de la Fuente (D) = 4.2m

Luego:

Perímetro de la Fuente = $\pi D = 13.19\text{m}$

La velocidad de captura, debe ser la mínima conveniente de captura, ya que esta gobierna el valor del flujo. Se han establecido, rangos de velocidades de captura para

los diferentes procesos dependiendo de la forma como se dispersa el contaminante.
Ver Apéndice 5.B.

Al tratarse de una nave industrial prácticamente cerrada se considera mínimas las corrientes de aire a pesar de la altura de ubicación de la campana, el proceso se asemeja a la evaporación de tanques. Concluyéndose que:

Velocidad de captura = 50-100fpm

Límite inferior: 1 y 4 favorables

Límite superior: 2 y 3 favorables

Por lo que: Velocidad de captura = $(50+100)/2 = 75\text{fpm}$

Velocidad de captura = 0.38 m/s

$$\text{Entonces: } Q = 1.4 \times 13.19 \text{ m} \times 14.66 \text{ m} \times 75 \text{ fpm} \times \frac{1\text{pie}^2}{0.3048^2\text{m}^2}$$

$$Q = 215,178.47 \text{ cfm}$$

$$Q = 365,590.59 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

b) DIMENSIONES DE LA CAMPANA

El área de la sección transversal de la cara de la campana debe ser alrededor del 125% del área de la sección transversal de la pluma de aire caliente.

$$L = D + 0.8H$$

$$L = 4.2 + 0.8 \times 14.66 = 15.93\text{m}$$

L: Longitud de la boca de la campana

La inclinación debe ser como mínimo 45°.

La altura de la campana se obtiene luego de evaluar el diámetro del conducto de transporte que se empalma con la campana, por geometría.

El espesor la plancha de acero requerida para la fabricación de la campana depende básicamente de factores tales como abrasión, corrosión y proceso de fabricación, ya que las presiones internas que se manejan son relativamente bajas. Veamos:

La presión dinámica P_v de captura se evalúa por:

$$P_v = \frac{v^2}{16.33}$$

P: presión dinámica de captura (mmH₂O)

v: velocidad de captura (m/s)

Luego:

$$P_v = \frac{0.38}{16.33} = 0.008611 \text{ mmH}_2\text{O}$$

c) PÉRDIDAS DE PRESIÓN

La presión dinámica se obtiene en 7.6:

$$P_v = 25.28 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La pérdida de presión se evalúa mediante la siguiente relación.

$$SP_c = \frac{(1 - Ce^2)}{Ce^2} P_v$$

Coficiente de entrada (Ce) = 0.89

$$SP_c \approx 0.25 P_v$$

Luego: $SP_c = 0.25 \times 25.28 = 6.32 \text{ mmH}_2\text{O}$

7.5 CÁLCULO DE LOS CONDUCTOS DE TRANSPORTE

a) DISPOSICIÓN DE LOS CONDUCTOS

En los Planos 2, 3 y 4 del Anexo 6 se muestra la disposición de los ductos de transporte de los gases, la más adecuada acorde con la instalación actual. Se obtienen así las longitudes los tramos de Conductos. La altura a la cual se encuentran los Conductos debe ser la necesaria para facilitar el movimiento de maquinaria y traslado de materiales, etc., sin interrumpir los espacios disponibles.

Tramo A-A': Ductos refrigerados rectangulares a la salida del horno por el cuarto agujero de la bóveda (la salida por el cuarto agujero es rectangular) hasta la conversión a ductos circulares.

Tramo A'-B: Ductos refrigerados circulares continuación desde los ductos rectangulares hasta la entrada a la Quenching Tower.

Tramo B-C: Quenching Tower

Tramo C-E: Ductos de transporte desde la Quenching Tower hasta la intersección con el Sistema Secundario.

Tramo D-E: Ductos de transporte desde la Campana de captación hasta la intersección con el Sistema Primario.

Tramo E-F: Ductos de transporte del Sistema Combinado, desde el punto de intersección hasta el Dispositivo de Control.

b) LONGITUD DE LOS CONDUCTOS

$$L_{A-A'} = 21,425\text{mm}$$

$$L_{A-B} = 38,427\text{mm}$$

$$L_{B-C} = 16,107\text{mm}$$

$$L_{C-E} = 60,555\text{mm}$$

$$L_{D-E} = 54,959\text{mm}$$

$$L_{E-F} = 109,826\text{mm}$$

c) VELOCIDAD DE TRANSPORTE DE LOS GASES

Debe ser la mínima de transporte, para evitar la sedimentación o la acumulación de los materiales a través de los conductos, y que a su vez reflejen las mínimas pérdidas por fricción.

Las velocidades recomendadas de transporte, se muestran en el Anexo 5.B. Tenemos que el tipo de polvo a tratar proveniente de un proceso de fundición y además se trata de polvo pesado al ser un polvo metálico. Concluimos que:

$$\text{Velocidad de transporte} = 4000\text{fpm}$$

$$\text{Velocidad de transporte} = 20.32\text{m/s}$$

Esta velocidad de transporte debe mantenerse a lo largo de todo el Sistema de Conductos, tanto extracción primaria y secundaria, y en el sistema combinado.

D) DIÁMETRO DE LOS CONDUCTOS

Diámetro de los Conductos en el Sistema Primario (conductos circulares):

De acuerdo a los datos proporcionados por el fabricante del Horno.

$$\text{Producción de gases en el horno} = 1,000.00 \text{ m}^3/\text{hr gases/ton acero producido}$$

$$\text{Producción de acero por colada} = 30 \text{ ton acero producido / colada}$$

$$\text{Tiempo de 1 colada} = 75\text{min} = 1.5\text{hr}$$

Por lo tanto:

$$\text{Caudal } (Q_1) = 1,000 \times 30 \times 1.5 = 45,000.00 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Velocidad de transporte } (v) = 20.32 \text{ m/s}$$

$$\text{Area} = A_1 = \frac{Q_1}{v} = \frac{45,000.00}{20.32 \times 3600} = 0.6152 \text{ m}^2$$

$$\text{Diametro} = D_1 = \sqrt{\frac{4A_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.6152}{\pi}} = 0.89 \text{ m}$$

Diámetro de los Conductos en el Sistema Secundario:

$$\text{Caudal } (Q_2) = 215,178.47 \text{ cfm}$$

$$\text{Caudal } (Q_2) = 365,590.59 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Velocidad de transporte } (v) = 4000 \text{ fpm}$$

$$\text{Area} = A_2 = \frac{Q_2}{v} = \frac{215,178.47}{4000} = 53.79 \text{ pie}^2 = 4.9977 \text{ m}^2$$

$$\text{Diametro} = D_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 4.9977}{\pi}} = 2.52 \text{ m}$$

Diámetro de los Conductos en el Sistema Combinado:

$$\text{Caudal}(Q_{1-2}) = Q_1 + Q_2$$

$$\text{Caudal}(Q_{1-2}) = 45,000.00 + 365,590.59 = 410,590.59$$

$$\text{Velocidad de transporte } (v) = 20.32 \text{ m/s}$$

$$\text{Area} = A_{1-2} = \frac{Q_{1-2}}{v} = \frac{410,590.59}{20.32} = 4.9977 \text{ m}^2$$

$$\text{Diametro} = D_2 = \sqrt{\frac{4A_{1-2}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 4.9977}{\pi}} = 2.67 \text{ m}$$

Diámetro de los Conductos en el Sistema Primario (conductos rectangulares):

Las dimensiones de los conductos rectangulares están acorde con las dimensiones del cuarto agujero del horno. Ver Plano 2 del Anexo 6. Por tanto, de datos del fabricante:

Largo (a) = 2,070.00 mm; Ancho (b) = 1,610.00 mm

El diámetro circular equivalente:

$$Diametro = D_{1-b} = \frac{1.3 (a \cdot b)^{5/8}}{(a + b)^{1/4}} = 1,991.72 = 1.99m$$

Luego:

$$Area = A_{1-b} = 4.43 m^2$$

$$Caudal (Q_{1-b}) = 2.82m/s$$

E) ESPESOR DE LOS CONDUCTOS

El espesor la plancha de acerò requerida para la fabricación de los conductos depende básicamente de factores tales como abrasión, corrosión y proceso de fabricación, ya que las presiones internas que se manejan en el proceso son relativamente bajas. El material a emplear en la fabricación de los conductos es el *Acerò A36*, debido a su alta resistencia mecánica por unidad de peso, y por su gran capacidad para prefabricar los componentes acorde con los requerimientos dimensionales, su facilidad para unir diversos componentes haciendo empleo de soldadura, tornillos o remaches. Las desventajas son su susceptibilidad al pandeo, necesitando una mayor cantidad de soportes para evitarlo, y la reducción de resistencia al estar expuesto al fuego, para ello se deben tomar las medidas preventivas, instalando por ejemplo un sistema de rociadores. Se descarta tuberías estándar A53 por las grandes dimensiones de los conductos y los accesorios

especiales. No es necesario el empleo de aceros inoxidable, al no ser un medio altamente corrosivo. Otra opción es emplear planchas antiabrasivas con menor espesor requerido.

F) PÉRDIDAS DE PRESIÓN

Pérdidas de Presión en tramo D-E:

- **Pérdidas por fricción:** Se obtendrá empleando el método gráfico con factores de corrección debido a que las curvas representadas allí emplean como fluido aire a condiciones normales con una densidad de 1.2 kg/m^3 ó 0.075 lb/pe^3 , a través de conductos circulares de material galvanizado. Las tablas y gráficos mencionados se muestran en el Anexo 5.C.

Pérdidas fricción/m. ducto x longitud = $0.13 \times 54,959 / 1000 = 6.60 \text{ mmH}_2\text{O}$

Factor de corrección por acero comercial y densidad de gases = 0.89; 1.00

$$\Delta P_{\text{fricción}}_{D-E} = 5.87 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas por accesorios:

En este tramo se cuenta con 1 codo de 90° , 2 codos de 25° , 1 Junta de Expansión y 1 Válvula Dámper reguladora del flujo del Sistema Secundario.

$$\text{Presión dinámica} = \frac{v^2}{16.33} = \frac{20.32^2}{16.33} = 25.28 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Factor de pérdida en Codo de 90° , $R=1.5D$, 3 secciones = 0.33

Factor de pérdida en Codo de 25° , $R=1.5D$, 3 secciones = 0.15

Factor de pérdida en Válvula Dámper, $0^\circ = 0.20$

$$\Delta P_{\text{accesorios}}_{D-E} = (1 \times 0.33 + 2 \times 0.15 + 0.20) \times 25.28$$

$$= 20.74 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas de Presión en tramo E-F:

Pérdidas por fricción:

Pérdidas fricción/m. ducto x longitud = $0.13 \times 109,826/1000 = 14.28 \text{ mmH}_2\text{O}$

Factor de corrección por acero comercial y densidad (T=130°C) = 0.89; 0.75

$$\Delta P_{fricción_{E-F}} = \mathbf{9.53 \text{ mmH}_2\text{O}}$$

Pérdidas por accesorios:

En este tramo se cuenta con 2 codos de 15°, 1 codos de 20°, 3 codos de 30°, 1 codo de 60°, 2 Juntas de Expansión y 1 Válvula Dámper de emergencia reguladora entrante al Dispositivo de Control.

Factor de pérdida en Codo de 15°, R=1.5D, 3 secciones = 0.10

Factor de pérdida en Codo de 20°, R=1.5D, 3 secciones = 0.13

Factor de pérdida en Codo de 30°, R=1.5D, 3 secciones = 0.17

Factor de pérdida en Codo de 60°, R=1.5D, 3 secciones = 0.27

Factor de pérdida en Válvula Dámper, 0° = 0.20

$$\Delta P_{accesorios_{E-F}} = \mathbf{32.34 \text{ mmH}_2\text{O}}$$

Pérdidas de Presión en tramo C-E:

Pérdidas por fricción:

Pérdidas fricción/m. ducto x longitud = $0.42 \times 60,555/1000 = 25.43 \text{ mmH}_2\text{O}$

Factor de corrección por acero comercial y densidad (T=130°C) = 0.89; 0.75

$$\Delta P_{fricción_{C-E}} = \mathbf{16.98 \text{ mmH}_2\text{O}}$$

Pérdidas por accesorios:

En este tramo hay 5 codos de 90°, 1 codo de 45°, 1 Ramal de derivación a 45° y 1 Válvula Dámper reguladora del flujo del Sistema Primario.

Factor de pérdida en Codo de 90°, R=1.5D, 3 secciones = 0.33

Factor de pérdida en Codo de 45°, R=1.5D, 3 secciones = 0.22

Factor de pérdida en Ramal de Derivación a 45° = 0.28

Factor de pérdida en Válvula Dámper, 0° = 0.20

$$\Delta P_{\text{accesorios}_{C-E}} = 59.49 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas de Presión en tramo A'-B:

Pérdidas por fricción

Pérdidas fricción/m. ducto x longitud = 0.42 x 38,427/1000 = 16.14 mmH₂O

Factor de corrección por acero comercial y densidad (T=600°C) = 0.89; 0.36

$$\Delta P_{\text{fricción}_{A'-B}} = 5.17 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas por accesorios:

En este tramo se cuenta con 4 codos de 90°.

Factor de pérdida en Codo de 90°, R=1.5D, 3 secciones = 0.33

$$\Delta P_{\text{accesorios}_{A'-B}} = 33.38 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas de Presión en tramo A-A':

Pérdidas por fricción:

Pérdidas fricción/m. ducto x longitud = 0.16 x 21,425 / 1000 = 3.43 mmH₂O

Factor de corrección por acero comercial y densidad (T=600°C) = 0.89; 0.36

$$\Delta P_{\text{fricción}_{A-A'}} = 1.10 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas por accesorios:

En este tramo se cuenta con 1 codo de 80° y 1 codo de 65°.

Factor de pérdida en Codo de 80°, R=1.5D, 3 secciones = 0.31

Factor de pérdida en Codo de 65°, R=1.5D, 3 secciones = 0.28

$$\Delta P_{\text{accesorios}_{A-A'}} = 15.02 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas de Presión en tramo B-C:

Pérdidas por fricción:

Pérdidas fricción/m. ducto x longitud = $0.09 \times 16,107 / 1000 = 1.45 \text{ mmH}_2\text{O}$

Factor de corrección por refractario y densidad (T=300°C) = 1.30; 0.53

$$\Delta P_{\text{fricción}_{B-C}} = 1.00 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas por accesorios

En este tramo se cuenta con 2 reducciones concéntricas.

Factor de pérdida en Reducción concéntrica = 0.75

Pérdidas en Reducción concéntrica = $2 \times 0.75 \times 25.28 = 37.93 \text{ mmH}_2\text{O}$

$$\Delta P_{\text{accesorios}_{B-C}} = 37.93 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas de Presión total:

Pérdidas en Sistema Primario:

$$SP_1 = (SP_{A-A'} + SP_{A'-B} + SP_{B-C} + SP_{C-E})_{(\text{fricción}+\text{accesorios})}$$

$$SP_1 = -170.06 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas en Sistema Secundario:

$$SP_2 = SP_{\text{CAMPANA}} + SP_{D-E} (\text{fricción}+\text{accesorios})$$

$$SP_2 = -32.93 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas en Sistema Combinado:

$$SP_{1-2} = (SP_{E-F})_{(\text{fricción}+\text{accesorios})}$$

$$SP_{1-2} = -41.87 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Presión total: $TP = SP + VP$

$$TP_{DUCTOS} = -170.06 - 32.93 - 41.87 - 25.28$$

$$TP_{DUCTOS} = -270.15 \text{ mmH}_2\text{O}$$

7.6 SELECCIÓN DEL MEDIO FILTRANTE

De acuerdo al tamaño de partícula a recolectar y a la temperatura de operación del sistema, se seleccionan los siguientes dispositivos de control como alternativas a emplear en el proceso de filtración: *Separadores centrífugos, Lavadores líquidos, Colectores de tela y Precipitadores electrostáticos*

Las tablas guías para la selección del dispositivo de control se adjuntan en el Anexo 3. De aquí, se analizarán las ventajas y desventajas de los equipos correspondientes, conjuntamente con sus eficiencias de recolección, visto ello podremos seleccionar el equipo que mejor se adapte a nuestro caso en particular. Empero, no es suficiente lo anterior, también es necesario conocer las políticas de la Compañía en materia de Control Ambiental y la Reglamentación actual, para así llegar a un equilibrio; ello debido a los costos relativamente elevados de los sistemas de control de la contaminación, y por ser la Compañía quien finalmente realizará la inversión en la instalación, operación y mantenimiento del Sistema de Captación de Humos. Se debe recurrir a tablas de valoración cualitativa y cuantitativa para realizar la selección final del equipo de filtración.

Tabla 7.2 Tabla de selección de dispositivo de control

DISPOSITIVO/ CARACTERISTICA	COSTO INSTALACIÓN /OPERACIÓN	FLUJO PERMITIDO	CAÍDA DE PRESIÓN	TEMPERA- TURA PERMITIDA / HUMEDAD	MANTENI- MIENTO	ESPACIO REQUERIDO	EFICIENCIA DE COLECCIÓN <10 μ m
Separador Centrifugo	BAJO		BAJAS 2-6 plgH ₂ O	MATERIAL	POCO	PEQUEÑO	BAJA
Lavadores Líquidos	ALTO			ALTAS / SI			ALTA
Colectores de Tela	BAJO	GRANDE	INTERMEDIO 4-10 plgH ₂ O	MEDIAS / NO	ALTO (Reemplazo de Bolsas)	GRANDE	MUY ALTA (gruesas y finas) NO AFECTADA*
Precipitadores Electrostáticos	ALTO BAJO	GRANDE	MUY BAJA <0.5 plgH ₂ O	ALTAS	MINIMO (Personal Especializado)	GRANDE	MUY ALTA, (gruesas y finas) AFECTADA*

(*) Eficiencia afectada por los cambios de flujo y carga de partículas de la corriente de gas.

Las 2 opciones seleccionadas, teniendo en cuenta la tabla anterior y la teoría antes descrita, son el Filtro de Mangas y los Precipitadores Electrostáticos. Finalmente, la Compañía ha optado por los Filtros de Mangas por su mayor diversificación en la zona y su mayor facilidad para su mantenimiento.

Asimismo se opta por emplear un Filtro de Mangas con limpieza por chorro pulsado de aire comprimido, el cual viene siendo empleado por la mayoría de Compañías en la actualidad. Se ha comprobado que los sistemas de limpieza por aire comprimido tienen grandes ventajas sobre sistemas de limpieza como el de aire reverso donde se requiere aislar el compartimiento que se ha de limpiar, o sobre el sistema de filtración electrostática en el que el mantenimiento y repuestos son costosos y de difícil consecución

7.7 CÁLCULO DEL FILTRO DE MANGAS

a) Relación de Gas-Tela (Velocidad de Filtración):

La relación de Gas-Tela de acuerdo a la referencia [5], puede ser calculada bajo 3 métodos: el método de Aplicaciones Similares, el método del Fabricante y el método de Ecuaciones Teórico/Empíricas. Se elige el método del Fabricante por su mayor exactitud y porque se adecúa mejor a nuestro proceso, para los datos con los que contamos. Los otros 2 métodos se muestran como información en el Apéndice.

La Ecuación del Fabricante viene dada por la siguiente relación:

$$v_f = 2.878 A B T^{-0.2335} C^{-0.06021} (0.7471 + 0.0853 \ln D)$$

v_f : Velocidad de filtración (fpm)

A: factor de material (tabla 7.1)

B: factor de aplicación (tabla 7.2)

T: Temperatura de operación <50-275> (°F)

C: Carga de polvo a la entrada <0.05-100> (gr/pie³)

D: diámetro de partícula (<3-100> (μm))

Tenemos:

A = 9.0 (fig. 7.8 polvo metálico)

B = 0.8 (fig. 7.8 horno)

T = 130°C = 266°F

C = 0.05 gr/pie³

D = 20μm

$$v_f = 2.878 \times 9.0 \times 0.8 \times 266^{-0.2335} 0.05^{-0.06021} (0.7471 + 0.0853 \ln 20)$$

$$v_f = 6.76 \text{ fpm}$$

b) Área Filtrante:

El caudal que ingresa al equipo de filtración se obtuvo en los pasos previos:

$$\text{Caudal} = 410,590.59 \text{ m}^3/\text{hr} = 241,664.50 \text{ cfm}$$

$$\text{Velocidad de filtración} = 6.76 \text{ fpm} = 6.76 \text{ cfm gases / pie}^2 \text{ tela}$$

$$\text{Área neta de filtración} = \frac{\text{Caudal}}{\text{velocidad de filtración}}$$

$$\text{Área neta de filtración} = \frac{241,664.50}{6.76} = 35,770.18 \text{ pie}^2$$

$$\text{Área neta de filtración} = 3,323.16 \text{ m}^2$$

c) Selección de Tela:

Datos de entrada:

Temperatura de operación = 130°C = 266°F

Características del material particulado = ácido, alcalino y abrasivo

Tipo de limpieza = Pulse Jet

Diámetro de partículas = <2-30>µm

Diámetro promedio de partículas = 20µm

En el Anexo 4 se muestran tablas de selección de los diversos materiales que se pueden emplear como material de filtración. De la primera tabla se seleccionan las siguientes tipos de tela: Dacrón (Poliéster), Teflón ó Filtron como posibles telas a emplear. De las tablas siguientes del Anexo 4 se selecciona el Dacrón (Poliéster) como el tipo de tela a emplear en los Filtros de Mangas.

Consultando con proveedores de este tipo de tela, se recomienda el Poliéster x 550 gr/m², asimismo se disponen de dimensiones estándar de las mangas que son comerciales, por lo que estos datos proporcionados se emplearán para evaluar la cantidad de mangas a usar en el proyecto.

d) Cantidad de Mangas:

- Caso 1:

Longitud de la manga = 2700mm, Diámetro de la manga = 160mm

Área neta de filtración = 3,323.16m²

$$\text{Área Superficial de la Manga} = \pi DL = 1.357m^2$$

$$\#Mangas = \frac{\text{Área neta de filtración}}{\text{Área Superficial de la Manga}}$$

$$\#Mangas = \frac{3,323.16}{1.357} = 2448.60$$

$$\#Mangas = 2449 \text{ und}$$

- Caso 2:

Longitud de la manga = 6500mm, Diámetro de la manga = 160mm

Área neta de filtración = 3,323.16m²

$$\text{Área Superficial de la Manga} = \pi DL = 3.267m^2$$

$$\#Mangas = \frac{3,323.16}{3.267} = 1017.11$$

$$\#Mangas = 1018 \text{ und}$$

Se opta por la segunda opción, es factible usar longitudes de 6500mm en la Planta, y aminora el número de mangas y por tanto el número de compartimientos requeridos.

El valor recomendado para la distancia entre centros de las mangas, de acuerdo al fabricante, no debe ser menor a 240mm. Haciendo la respectiva distribución de las mangas empleando un Software de dibujo técnico, y considerando criterios de fabricación y montaje de los compartimientos, así como factores de Operación, se elige la alternativa de emplear 4 compartimientos para alojar las mangas con medidas

interiores de 4400mm x 4400mm, alojando entonces cada compartimiento una cantidad de $1018/4 = 255$ mangas.

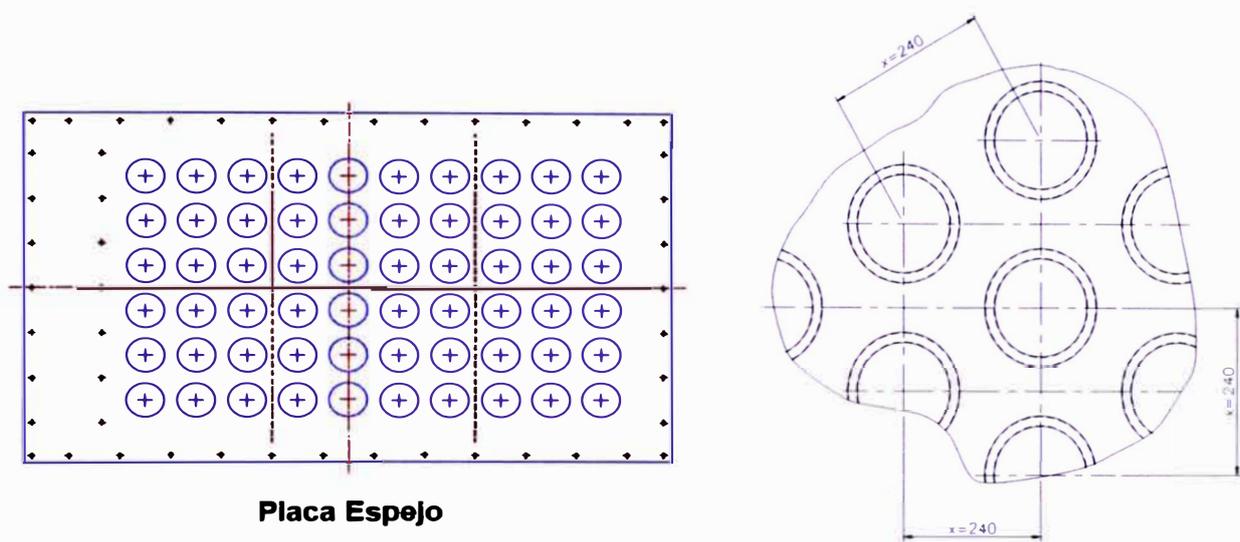


Fig. 7.2 Placa Espejo y distribución de las Mangas

La placa metálica donde se distribuyen y fijan el conjunto de mangas filtrantes y sus canastillos, en su parte superior, es denominada *Espejo*, la cual debe tener la suficiente rigidez como para soportar a las mangas con sus canastillos soporte y el movimiento que ocasiona el paso de los gases a través de las mangas que se refleja en una presión sobre las mangas. Además es muy importante en el proceso de fabricación del Espejo, seguir rigurosamente las dimensiones de diseño, tanto en el taladrado de los agujeros por donde pasarán las mangas ya que por estos intersticios pueden filtrarse los gases contaminados, perdiéndose la eficiencia de recolección, así como en la distancia entre agujeros para que pueda ser posible alinear correctamente las tuberías de soplado de limpieza de las mangas (ver cap.8).

Nota: Todo los resultados obtenidos anteriormente, conforman parte de la Ing. básica del Filtro de Mangas, el dimensionamiento total del Filtro de Mangas serán objeto de una posterior Ing. de detalle.

e) Pérdida de Presión en el Filtro de Mangas:

Con el objetivo de determinar caídas de presión en el Filtro de Mangas tipo Chorro Pulsado, se divide el proceso de filtración en 3 espacios de tiempo, que van acorde con el Sistema de Limpieza de las Mangas con chorros de aire comprimido. También se considera, como se dijo en la teoría, no es necesario interrumpir el ciclo de filtrado poniendo fuera de línea un determinado hilera de mangas para su limpieza, sino que se realiza el proceso en simultáneo.

1^{er} tiempo: Período de Filtración del polvo recién depositado.

2^{do} tiempo: Período de Filtración de un filtro relativamente limpio.

3^{er} tiempo: Período de Filtración del polvo reciclado (polvo de retorno que no cae a la tolva)

El 3^{er} tiempo sólo ocurre cuando se da operación continua.

El modelamiento matemático, empleado para el cálculo de la caída de presión en el Proceso de Filtración, se basa en cálculos experimentales de laboratorio. De la referencia [5] se ha tomado las siguientes relaciones:

$$\Delta P = (PE)_{\Delta w} + K_2 W_0 v_f$$

ΔP : caída de presión total en el filtro de mangas (plg H₂O)

$(PE)_{\Delta w}$: caída de presión en la manga limpia y con el polvo reciclado (plg H₂O)

$K_2 W_0 v_f$: caída de presión con el polvo recién depositado (plg H₂O)

K_2 : Resistencia al flujo por acumulación de polvo en la superficie de la manga (s⁻¹)

W_0 : Densidad superficial del polvo recién depositado.

V_f : Velocidad de Filtración (fpm)

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

$$(PE)_{\Delta w} = 6.08 v_f P_j^{-0.65}$$

P_j : Presión de inyección de los pulsos de aire (psi)

$$W_0 = C_i v_f t$$

W_0 : Densidad superficial del polvo recién depositado (kg/m²)

C_i : Cantidad de polvo por unidad de volumen (kg/m³)

V_f : Velocidad de Filtración (m/s)

t : tiempo entre pulsos de aire comprimido del Sistema de Limpieza de Mangas (s)

Las variables del Sistema de Limpieza de Mangas, que se va instalar se presentan a continuación:

Presión de limpieza (chorros de aire) = 80psi

Tiempo de intervalo entre pulsos de aire = 180 seg

Tiempo de duración de los pulsos de aire = 300-600 mseg

El tiempo entre pulsos de aire para nuestro caso en particular es de $180s$, este tiempo puede ser ajustado, aunque que se debe tener en cuenta que un valor muy bajo puede provocar una disminución de la eficiencia de recolección al no haber el tiempo suficiente para que se den adecuadamente los mecanismos de recolección, y un tiempo muy alto, provocaría mayor caída de presión en otros efectos adversos.

Tenemos entonces:

$$C_i = 0.01 \text{ kg/m}^3$$

$$V_f = 6.76 \text{ fpm} = 0.034 \text{ m/s}$$

$$t = 180 \text{ seg.}$$

$$W_0 = 0.01 \times 0.034 \times 180 = 0.0618 \text{ kg/m}^2$$

Luego hallamos el término $K_2 W_0 v_f$:

$$K_2 = 1.5 \times 10^5 \text{ (este valor se obtiene experimentalmente, ver ref. [5])}$$

$$W_0 = 0.0618 \text{ kg/m}^2$$

$$V_f = 6.76 \text{ fpm}$$

$$K_2 W_0 v_f = \frac{1.5 \times 10^5 \times 0.0618 \times 6.76}{249.1} = 1.277 \text{ plg H}_2\text{O}$$

Este valor obtenido constituye la caída de presión del polvo recién depositado en un filtro.

Hallando el término $6.08 v_f P_j^{(-0.65)}$:

$$P_j = 80 \text{ psi} = 551.18 \text{ KPa}$$

$$V_f = 6.76 \text{ fpm}$$

$$(PE)_{\Delta w} = 6.08 \times 6.76 \times 80^{-0.65} = 2.380 \text{ plg } H_2O$$

Este valor obtenido constituye la caída de presión del polvo recién depositado en un filtro. La caída de presión en el proceso de filtraciones:

$$\Delta P = 2.380 + 1.277 = 3.657 \text{ plg } H_2O$$

Los valores típicos de caída de presión en un filtro de mangas están en un rango de <2-5>plg H₂O, por lo que se acepta este valor como caída de presión. A esta pérdida hay que añadirle las pérdidas en el compartimiento de mangas y plenum. Consideremos como valor aceptable 3plg H₂O como caída de presión. Sumando al valor anterior y realizando la conversión a mm H₂O:

$$\Delta P_{\text{filtro}} = -169.08 \text{ mm } H_2O$$

Nota: Vale decir que la caída de presión obtenida a través del modelo matemático presentado son sólo aproximaciones a los resultados reales. La forma más precisa de evaluar la caída de presión es por medio de ensayos directos en los equipos instalados. Por ello, se dijo, que una de las limitaciones de este informe, es la no posibilidad de realizar análisis experimentales para comprobar las variables de filtración.

7.8 CÁLCULO DE LA CHIMENEA

El diámetro de la sección interior y la altura serán los 2 parámetros a calcular. El revestimiento interior y la cimentación de la chimenea no serán parte del presente informe.

Diámetro de la Chimenea:

El caudal de gases que pasa a través de la chimenea puede ser o no igual al caudal que atraviesa el dispositivo de control, como se explicó en la teoría. En nuestro caso se considera el mismo caudal. Por tanto:

$$Q_{1-2} = 410,590.59 \text{ m}^3/\text{h}$$

La velocidad del flujo de gases en la chimenea, puede ser diferente a la utilizada para los conductos de transporte, al encontrarse el gas limpio. El criterio a tener en este caso en la salida de gases es evitar un arrastre hacia abajo. En sistemas de tiro natural se recomienda valores de 6m/s. Para sistemas de tiro forzado entre 10 y 15m/s dependiendo de la altura de la chimenea. Una recomendación de la EPA [4], que emplearemos en el informe, es:

$$V_g = 1.5 V_{viento}$$

$$V_{viento} = 9.98 \text{ m/s (condiciones del sitio)}$$

$$V_g = 1.5 \times 9.98 = 14.97 \text{ m/s}$$

El diámetro de la chimenea será entonces:

$$Diametro = D_c = \sqrt{\frac{4Q_{1-2}}{\pi v_g}}$$

$$Diametro = \sqrt{\frac{4 \times 410,590.59}{\pi \times 14.97 \times 3600}} = 3.115 \text{ m}$$

Altura de la Chimenea:

Se calcula empleando el criterio del tiro de la chimenea (ΔP).

$$\Delta P \geq E_c + f$$

$$\text{Siendo: } \Delta P = (\rho_a - \rho_g)gH = \rho_a\left(1 - \frac{T_a}{T_g}\right)gH$$

$$E_c = \frac{1}{2}\rho_g v_g^2$$

$$\Sigma f = \frac{2\rho_g f v_g^2 H}{D}$$

Donde:

$T_a = 17.5^\circ\text{C}$, (Condiciones del sitio)

$$\rho_a(T=17.5^\circ\text{C}) = 1.215 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$T_g = 130^\circ\text{C}$, suponiendo que no existen pérdidas de temperatura, al emplear chimeneas con revestimiento interior, caso contrario debe calcularse valor medio.

$$\rho_g(T=130^\circ\text{C}) = 0.868 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_g = 14.97 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$D = 3.115\text{m}$$

$f = 0.035$, asumido.

Con estos valores elaboramos el siguiente cuadro, teniendo en cuenta que como mínimo la altura de la chimenea debe ser 14m que corresponde a la altura de la estructura más cercana.

Esbeltez H/D	H (m)	ΔP (Pa)	$E_c + \Sigma f$ (Pa)	$\Delta P - \{E_c + \Sigma f\}$ (Pa)	Σf (mm H₂O)
10	31.1	103.61	233.29	-129.68	13.88
11	34.3	113.97	246.90	-132.93	15.27
12	37.4	124.33	260.51	-136.18	16.65
13	40.5	134.69	274.12	-139.43	18.04
14	43.6	145.05	287.73	-142.68	19.43
15	46.7	155.41	301.34	-145.92	20.82
16	49.8	165.78	314.95	-149.17	22.20
17	52.9	176.14	328.56	-152.42	23.59
18	56.1	186.50	342.17	-155.67	24.98
19	59.2	196.86	355.77	-158.92	26.37
20	62.3	207.22	369.38	-162.16	27.76

Los valores obtenidos en la quinta columna indican que tenemos tiro mecánico para todos los casos.

Si aplicamos la fórmula de la EPA [4]:

$$H_s = H_b + 1.5L$$

H_s : Altura de la chimenea medida desde el nivel de elevación el suelo en la base de la chimenea.

H_b : Altura de las estructuras cercanas medida desde este nivel de elevación del suelo.

L : La dimensión menor: altura o ancho de las estructuras cercanas.

Evaluamos de acuerdo a nuestro caso:

$$H_s = 15 + 1.5 \times 14 = 36m$$

Las relaciones de esbeltez adecuadas deben estar entre 15 y 20. De estas 2 premisas y de la tabla anterior resulta:

$$H_{chimenea} = 46.7m \approx 47m$$

Caída de Presión de la Chimenea:

Fricción y pérdidas por accesorios en la entrada a 90° a la chimenea por el cambio de dirección en la descarga del ventilador.

- Pérdidas por fricción:

$$\text{Pérdida por fricción} = 20.82 \text{ mmH}_2\text{O}$$

- Pérdidas por accesorios:

Evaluamos la presión dinámica de los gases en la Chimenea.

$$\text{Presión dinámica} = \frac{v^2}{16.33} = \frac{14.97^2}{16.33} = 13.72 \text{ mmH}_2\text{O}$$

En este tramo se cuenta con 1 codo de 90°.

Factor de pérdida en Codo de 90°, R=1.5D, 3 secciones = 0.33

Pérdidas en Codos de 90° = 1 x 0.33 x 13.72 = 4.53 mmH₂O

$$\text{Pérdida por accesorios} = 15.02 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Finalmente la caída de presión total en la Chimenea:

$$TP = SP + VP$$

$$TP_{CHIMENEA} = -20.82 - 15.02 - 13.72$$

$$TP_{CHIMENEA} = -49.56 \text{ mmH}_2\text{O}$$

7.9 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para la selección del Ventilador necesitamos conocer los requerimientos del sistema, en este caso el caudal de trabajo, el cabezal de presión total y la temperatura

de trabajo. Además también es necesario conocer las características de la corriente de gas, ya que puede afectar a los componentes internos del ventilador. Luego de tener todas estas variables bien definidas se recurre a la selección de ventiladores mediante catálogos técnicos de fabricantes, o al pedido de diseños específicos acorde con los requerimientos.

Tenemos entonces:

$$\text{Caudal} = Q_{1-2} = 410,590.59 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Presión:

$$TP_{\text{Ventilador}} = TP_{\text{CAMP}} + TP_{\text{CONDUCTOS}} + TP_{\text{FILTRO MANGAS}} + TP_{\text{CHIMENEA}}$$

$$TP_{\text{Ventilador}} = 6.32 + 270.15 + 169.08 + 49.56$$

$$TP_{\text{Ventilador}} = -495.11 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\text{Temperatura del Sistema} = 130^\circ\text{C}$$

El ventilador a seleccionar puede ser del tipo axial (helicoidal) o centrífugo, siendo empleado el axial empleado para un alto caudal y baja presión, y el centrífugo para un caudal menor y una presión alta. Los rangos típicos de operación fueron mostrados en la teoría. Ver Capítulo 4. La gráfica 7.3 es ilustrativa sobre lo comentado en este párrafo.

El hecho de que nuestro sistema requiera de un caudal y presión relativamente altos nos lleva a la idea de pensar que sea poco probable de encontrar el ventilador en el mercado, y se tenga que recurrir tal vez a diseños especiales, y también de que un solo ventilador no pueda cumplir con los requerimientos deseados. Por tanto, se recurre a la alternativa de instalar sistemas combinados, ya sea en serie o en paralelo.

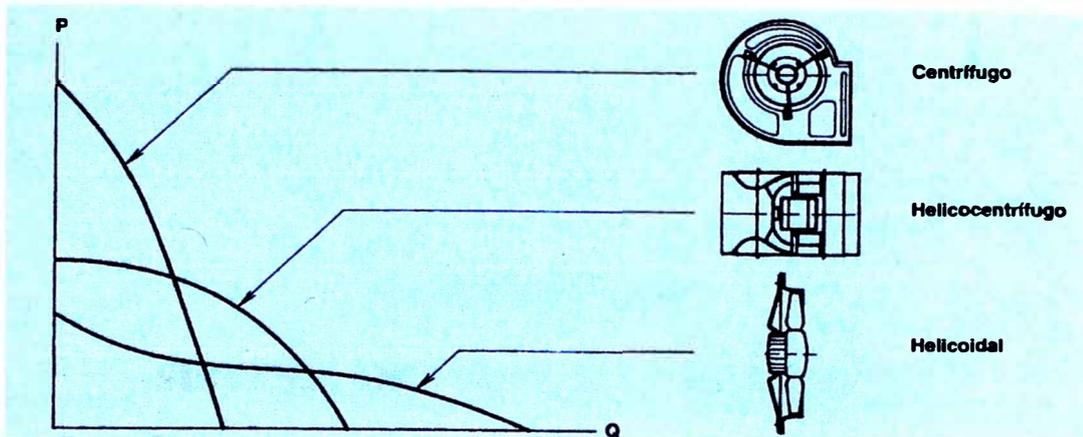


Fig. 7.3 Comparativo de Curvas características por tipo de Ventiladores

Revisando información técnica sobre ventiladores en la ref. [8], se concluye la instalación de 2 ventiladores centrífugos idénticos acoplados en paralelo:

VENTILADOR CENTRÍFUGO	
CAUDAL	330,000 m ³ /hr
PRESION TOTAL	680 mmH ₂ O
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	100/150 °C
ROTACION	1190 RPM
POTENCIA	1200/900 CV/KW
EFICIENCIA	83.8%

Los ventiladores centrífugos pueden de álabes inclinados hacia adelante, álabes radiales y álabes inclinados hacia atrás. Se selecciona el tipo de álabes inclinados hacia atrás (sentido de los álabes contrarios al de rotación), ya que tiene una capacidad autolimpiante, ya que impide la acumulación de material sobre los álabes y su posterior deterioro por esta causa.

CAPITULO VIII

SISTEMA DE LIMPIEZA DE MANGAS

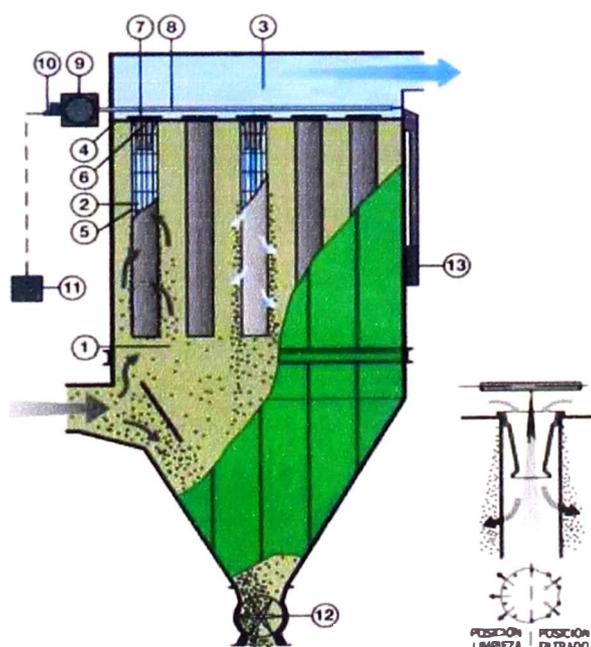
Se vio en 6.4 que los mecanismos de limpieza son por agitación mecánica, aire a la inversa y chorro pulsado, En vista de que el tipo de limpieza por Chorro Pulsado, es el empleado para nuestro proyecto, sólo nos enfocaremos en dicho sistema. El sistema de limpieza de mangas por chorro pulsado, está constituido básicamente por un Sistema de Aire Comprimido que provee la energía necesaria al Sistema de Soplado Pulse Jet (Chorro Pulsado).

8.1 SISTEMA PULSE JET Y EL PROCESO DE LIMPIEZA DE MANGAS

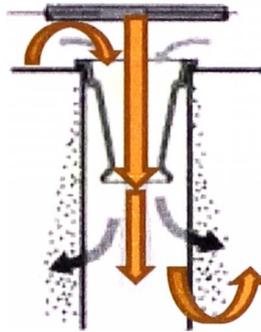
El sistema Pulse Jet utiliza un poderoso chorro de aire comprimido en sentido contrario al flujo de aire, limpiando las bolsas continuamente, automáticamente y secuencialmente mientras la filtración se realiza sin interrupción.

La capa de polvo a su paso por las mangas comienza a crecer, aumenta la resistencia al paso del flujo de gas, aumentado así la presión diferencial entre la cámara de aire limpio y la cámara de aire sucio. Una vez alcanzado cierto valor de presión diferencial, un controlador activa un ciclo de limpieza, enviando un pulso de

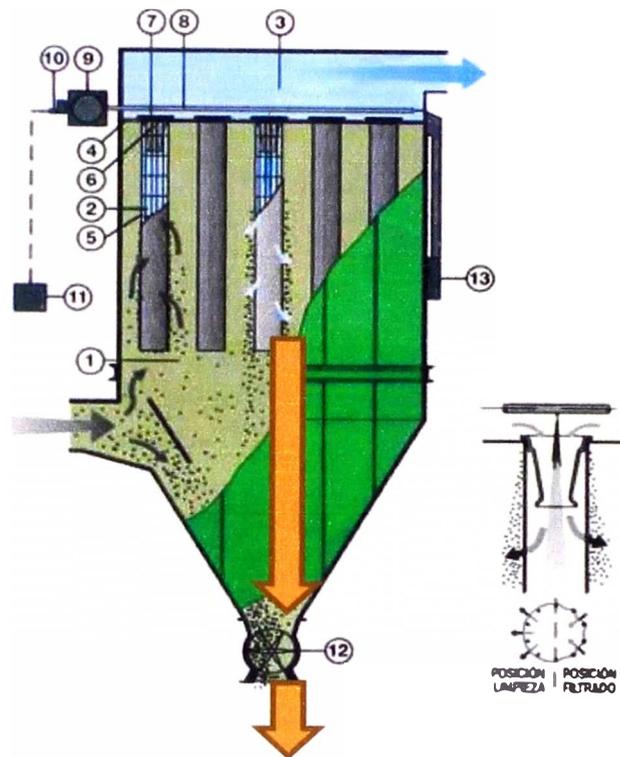
electricidad 24 VDC con una duración usual de 75 mseg a una válvula solenoide. La válvula solenoide entonces envía una señal neumática a una válvula de diafragma permitiendo que ésta permanezca abierta por un determinado tiempo, para que así el aire acumulado en un manifold acumulador, fluya hacia los tubos de soplado y proyectado hacia los Venturis, para de allí soplar las mangas para limpiarlas. El particulado cae a la tolva donde un sensor de nivel de polvo detecta si este se acumula. Para evitar su acumulación, una válvula de descarga de polvo, actúa constantemente, manteniendo la tolva prácticamente vacía. La importancia de que no se acumule el polvo en la tolva es que si lo hace, los gases que entran al colector, arrastrarían al polvo depositado, ensuciando las mangas mucho antes de lo necesario. Esto produce un mayor gasto de aire comprimido, y un desgaste acelerado de los elementos filtrantes.



- a) *El ciclo de limpieza es iniciado por un controlador de tiempo (11) el cual reduce y controla la presión diferencial entre la cámara de aire limpio y la cámara de aire sucio, actuando sobre las electroválvulas (10), las cuales, a través de válvulas de diafragma (9) liberan una pequeña cantidad de aire a alta presión. Opcionalmente un presóstato diferencial electrónico (13), indica también la diferencia de presión controlando el ciclo de limpieza, con el consiguiente ahorro de aire comprimido.*



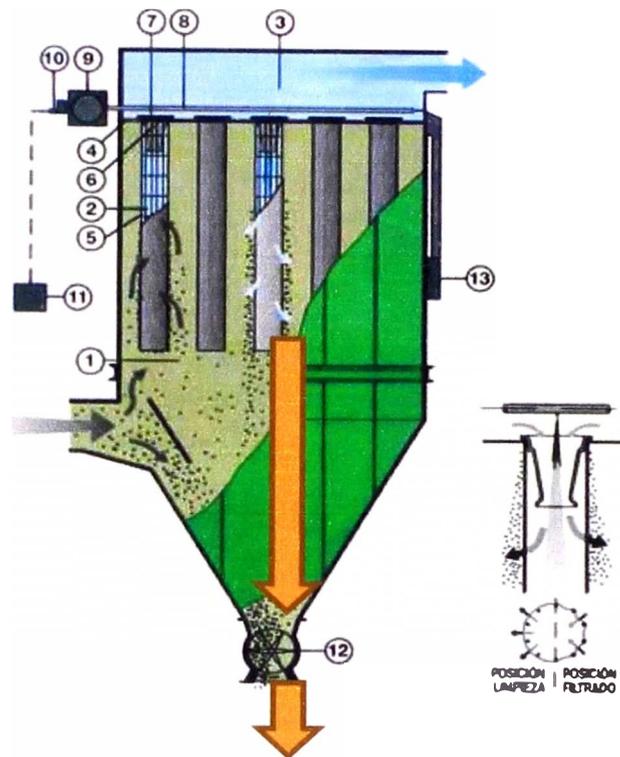
- b) *El aire es introducido a través de los Venturis produciendo una corriente de aire secundario de varias veces su volumen. El efecto combinado del aire secundario inducido, crea un aumento instantáneo de presión en el lado interior y limpio de la manga, efectuando una contracorriente de aire de dentro hacia afuera, así como también un efecto de sacudida, suficiente para limpiar las mangas. Solamente una fracción del área total filtrante se limpia al mismo tiempo, con lo cual el caudal total a filtrar es prácticamente continuo, así como la capacidad filtrante del equipo.*



- c) El soplado de las mangas produce la limpieza de las mismas, desprendiendo el producto acumulado, recogido por el sistema de descarga: válvula rotatoria (12).

Fig 8.1 Procedimiento de Operación de Limpieza de Mangas

El ciclo de limpieza se realiza secuencialmente de una hilera por vez, y la secuencia se realiza fila por medio, disminuyendo así la reentrada de polvo. La ventaja de realizar la limpieza de una hilera por vez, radica en que las demás hileras pueden seguir operando normalmente, al ser el ciclo de limpieza muy corto.



- c) El soplado de las mangas produce la limpieza de las mismas, desprendiendo el producto acumulado, recogido por el sistema de descarga: válvula rotatoria (12).

Fig 8.1 Procedimiento de Operación de Limpieza de Mangas

El ciclo de limpieza se realiza secuencialmente de una hilera por vez, y la secuencia se realiza fila por medio, disminuyendo así la reentrada de polvo. La ventaja de realizar la limpieza de una hilera por vez, radica en que las demás hileras pueden seguir operando normalmente, al ser el ciclo de limpieza muy corto.

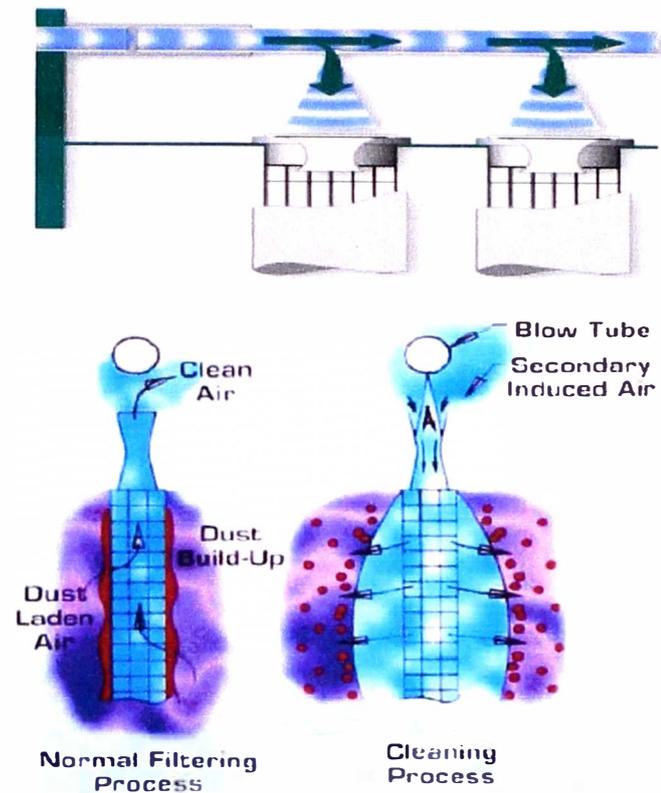


Fig 8.2 Inyección de Chorro de Aire y desprendimiento de partículas filtradas.

8.2 COMPONENTES DEL SISTEMA PULSE JET

El Sistema Pulse Jet está compuesto de varios accesorios que en conjunto realizan la limpieza de las Mangas Filtrantes bajo una lógica de funcionamiento.

Los principales componentes son:

- Manifold acumulador de aire.
- Válvula de diafragma.
- Válvulas de Solenoide.
- Manómetro diferencial.
- Controlador secuencial.
- Tubos de Soplado y Coplas WAPC.

Venturi.

Válvula rotativa de descarga.

Sistema de alimentación de aire comprimido.

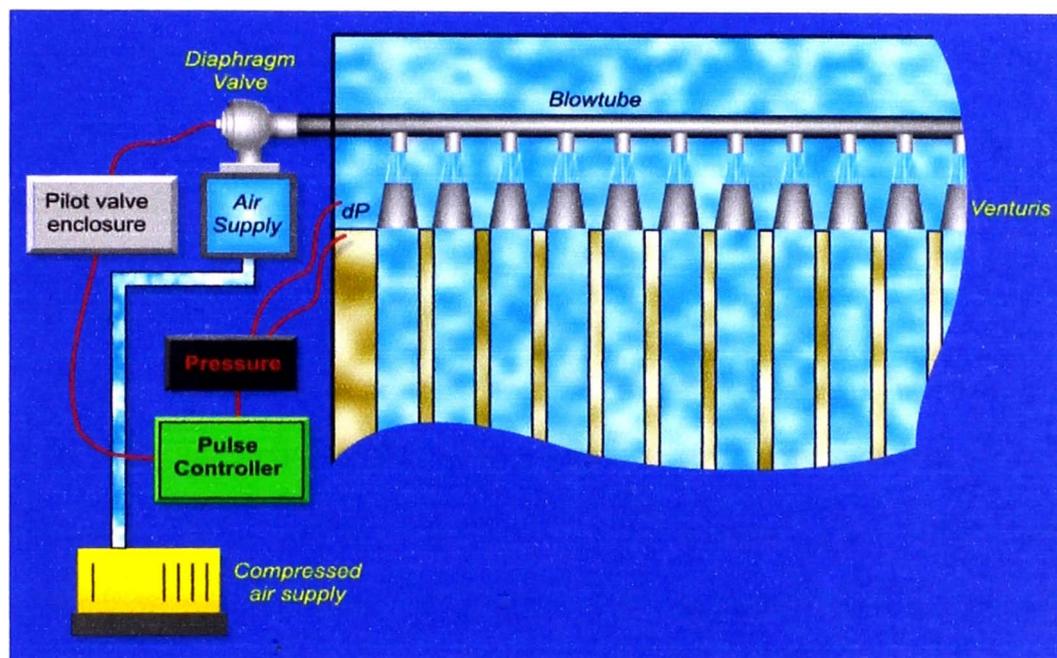


Fig. 8.3 Representación Esquemática de los Componentes del Sistema Pulse Jet.

- **Manifold Acumulador de Aire**

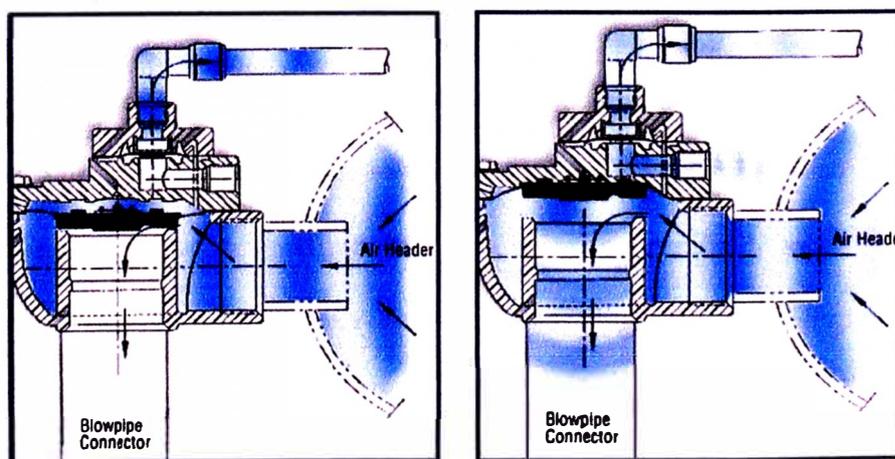
Se trata de un depósito de aire comprimido que permite disponer de la cantidad de aire necesaria para realizar la limpieza de las mangas y que no haya caídas de presión importantes durante la realización del ciclo de limpieza, manteniendo un chorro de aire prácticamente constante.

- **Válvulas de Diafragma**

Las válvulas de diafragma permiten el paso de un pulso de aire a alta presión hacia el tubo de soplado para la limpieza de las mangas. Estas válvulas se abren por medio de los pulsos neumáticos producidos por las válvulas solenoides. Una válvula sub dimensionada puede producir una limpieza insuficiente. Por otro lado, una válvula sobre dimensionada resulta ser demasiado cara.

- **Válvulas de Solenoide**

Las válvulas de solenoide se utilizan para generar la señal neumática que accionan a las válvulas de diafragma. Los pulsos eléctricos generados por el programador de control secuencial temporizado electrónico son transformados en impulsos neumáticos. Se comunica con la Válvula Diafragma vía un tubing lo que hace hermético el circuito de aire comprimido.



Válvula de Diafragma CERRADA

Válvula de Diafragma ABIERTA

Fig. 8.4 Apertura y Cierre de las Válvulas Diafragma

- **Manómetro diferencial**

Es una columna manométrica en forma de “U”, o del tipo mostrador analógico, que permite la lectura de la diferencia de presión entre el cuerpo del filtro (área de filtración) y la cámara de aire limpio. Esto permite saber si es necesario o no limpiar las mangas. Normalmente está ajustado a los siguientes parámetros: Mínimo: $-100\text{mmH}_2\text{O}$ / Máximo: $-150\text{mmH}_2\text{O}$. Cuando la lectura alcanza el rango mayor, se activa el Controlador Secuencial.

- **Controlador secuencial**

Es una placa de circuito impreso que es responsable por el control del sistema de limpieza de las mangas. Actúa cuando la presión del proceso controlado alcance el punto predeterminado, proveyendo de la energía necesaria a las Válvulas Piloto Solenoides, que normalmente operan cerradas para que éstas se aperturen. El controlador posee tantas salidas como Válvulas tenga el equipo, cada salida se conecta a un solenoide.

Por medio del control digital se ajustan los siguientes parámetros: On Time, Off Time y n° Válvulas conectadas. Luego de lanzado el primer pulso de aire, el controlador vuelve a verificar la diferencia de presión y si aún está por encima del valor mínimo continúa emitiendo luego de unos segundos otro pulso de aire y así hasta que se alcance el valor deseado.



Fig. 8.5 Controlador Secuencial

- **Tubos de Soplado y Coplas WAPC**

Son tuberías conectadas al depósito de aire comprimido, a través de las válvulas diafragma cuya finalidad es distribuir y dirigir el chorro de aire comprimido hacia el interior de las mangas situadas en una misma hilera, para ello cuenta con una serie de perforaciones distribuidas linealmente sobre el centro de cada manga, el pulso de aire debe de pasar justo en el centro del Venturi. Los tubos de soplado poseen un diseño especial que contrarresta la tendencia al desalineamiento que se produce por efecto de la alta velocidad del flujo en el tubo y la variación de la presión total a lo largo del tubo, estas características son muy importantes, ya que de estas dependen una gran duración de las mangas y una correcta limpieza de éstas. Los tubos de soplado se ajustan al housing mediante coplas WAPC.

- **Venturi**

Consisten en tubos metálicos cuya función es dirigir el pulso de aire hacia el centro de la manga y también aumentar la presión de soplado, al transformar la energía de velocidad del aire comprimido inyectado en energía de presión.

El pulso de aire viaja a velocidad supersónica, alcanzando en algunos diseños velocidades que podrían superar los 1800km/hr. Si el pulso no es controlado la onda de choque destruirá la manga produciendo una falla importante del sistema. La presión del aire comprimido se determina en función de la geometría del Venturi.



- **Válvula Rotativa de descarga**

Consisten en un rotor con cavidades que gira dentro de una carcasa cilíndrica, la cual permite el flujo de producto a través de ella conservando las condiciones de los equipos presentes aguas arriba y aguas debajo de la válvula rotativa.

Según sea la aplicación y el producto manejado se pueden emplear rotores con diferentes tipos de cavidades y velocidades de giro. Disponibles en varios tamaños y pueden suministrarse en acero carbono o acero inoxidable, según las necesidades del proceso.

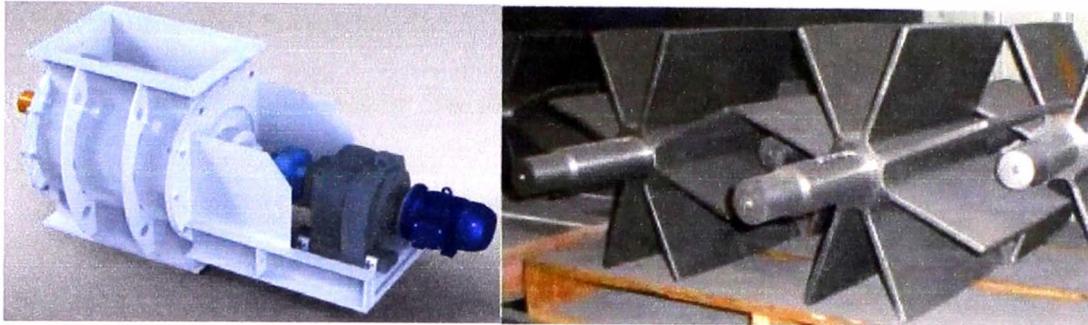


Fig. 8.7 Conjunto Válvula Rotativa de descarga y su Rotor

8.3 CRITERIOS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

- **GENERALIDADES DE AIRE COMPRIMIDO**

El aire se comprime para aumentar su energía interna y aprovechar dicha energía almacenada, para convertirla en trabajo. La máquina usada para este propósito es el Compresor, pudiendo ser estos divididos en 2 grandes grupos: los compresores de desplazamiento positivo (siendo el más común el tipo pistón de una o dos etapas) y los rotativos. Los compresores dentro de la Planta, son ubicado en una central de compresores, desde donde el aire comprimido es transportado por medio de tuberías, las cuales distribuyen la presión de trabajo uniformemente hacia los puestos de consumo.

Entre el compresor y la red de distribución de tuberías, se debe disponer de un depósito de aire a presión, a una distancia no muy lejana del compresor, la finalidad de este depósito es la siguiente:

Equilibrar las pulsaciones de aire procedentes del compresor.

Acumular aire comprimido.

Actuar de distanciador de los períodos de regulación: carga-vacío o carga-parada.

Refrigerar el aire; recoger el aceite y el agua condensada.

Un problema importante que presenta la utilización del aire comprimido, es la humedad que contiene el aire. El aire aspirado por el compresor entra a presión atmosférica con una humedad relativa determinada; al comprimirse el aire a una El flujo de gas ingresa siguiendo una trayectoria en espiral primero dirigiéndose al fondo del cono y después asciende por el eje de simetría, moviéndose aún en espiral, abandonando el ciclón por un tubo situado en la parte superior. Luego de este movimiento, ya ha precipitado el material particulado, el cual es descargado por un tubo en la parte inferior del ciclón. Conforme va ingresando la corriente de gas, las velocidades máximas se obtienen en la pared del ciclón. Las partículas suspendidas por tanto, son transferidas gradualmente hacia las paredes externas, y después caen al fondo del cono por gravedad, y en parte también porque son arrastradas por la corriente. Un aumento excesivo de velocidad, provoca en la parte inferior del cono una considerable caída de presión, que puede ser hasta menor que la presión del exterior, permitiendo que ingrese aire exterior que impida la descarga de las partículas hacia la atmósfera, y pudiendo ser estas arrastradas hacia la salida de aire limpio.

A presión más alta que la presión atmosférica se incrementa su temperatura, luego, al salir del compresor, se enfría al ser afectado por los procesos de radiación y

convección en el depósito de aire y las tuberías de distribución, así desciende su temperatura hasta alcanzar la temperatura de saturación (punto de rocío), producto de este efecto el vapor contenido en el aire condensará formando gotas de agua, las cuales serán arrastradas por el mismo flujo del aire hacia los lugares de utilización produciendo consecuencias desfavorables como: corrosión de tuberías metálicas, entorpecimiento en los accionamientos neumáticos, errores de medición en equipos de control, bajo rendimiento de la instalación, etc.

Para evitar ello el aire debe secarse hasta un punto de rocío que sea inferior a la temperatura del aire ambiente en donde se utiliza. El secado del aire se puede realizar a la salida del compresor, en las redes de distribución o en los puntos de utilización. Se emplean para ello refrigeradores, secadores, filtros, etc.

- **REDES DE AIRE COMPRIMIDO**

Al proyectar una red de aire comprimido, y resulte ésta industrialmente económica, se debe tener presente cumplir con 3 condiciones importantes:

mínima pérdida de presión, las pérdidas de presión originan una disminución considerable de la potencia entregada por el compresor.

mínima pérdida por fugas, llámense fuga de aire a la cantidad de aire comprimido incontrolado que se pierde por agujeros o mal ajuste de tuberías. Igual a las pérdidas de presión, estas pérdidas significan una pérdida económica importante.

mínima cantidad de agua en la red, ya se explicó antes este fenómeno.

La red de tuberías se puede clasificar de la siguiente forma:

- ***Tubería principal***, es la línea que sale del conjunto de compresores y conduce todo el aire que consume la planta. Debe tener la mayor sección posible para evitar pérdidas de presión y prever futuras ampliaciones de la red con su consecuente aumento de caudal. La velocidad máxima recomendada es de 8m/s.
- ***Tubería secundaria***, derivan de la tubería principal y conectan con las tuberías de servicio. El caudal que transportan es la suma de los caudales parciales que de ella se deriven. En su diseño se debe prever posibles ampliaciones en el futuro.
- ***Tubería de servicio***, surten en sí a los equipos neumáticos. Debe procurarse no sobrepasar de 3 el número de equipos alimentados por una tubería de servicio. Para evitar obstrucciones, se recomienda diámetros mayores de 1/4" en la tubería. La velocidad máxima del aire recomendada es de 15m/s, pudiendo ser más alta que las troncales debido a sus tramos cortos que producen poca caída de presión.

La configuración de la red puede ser de manera abierta (ver fig. 8.6) o cerrada, siendo la red abierta de menor inversión inicial pero de mayor gastos al momento de realizar el mantenimiento de la red.

Existen diversos materiales empleados para las tuberías de transporte del aire comprimido, pudiendo ser los siguientes: acero al carbono sin costura o roscados,

aceros inoxidables, cobre, aluminio o material sintético, teniendo cada material propiedades características que pueden ser útiles atendiendo a un caso específico.

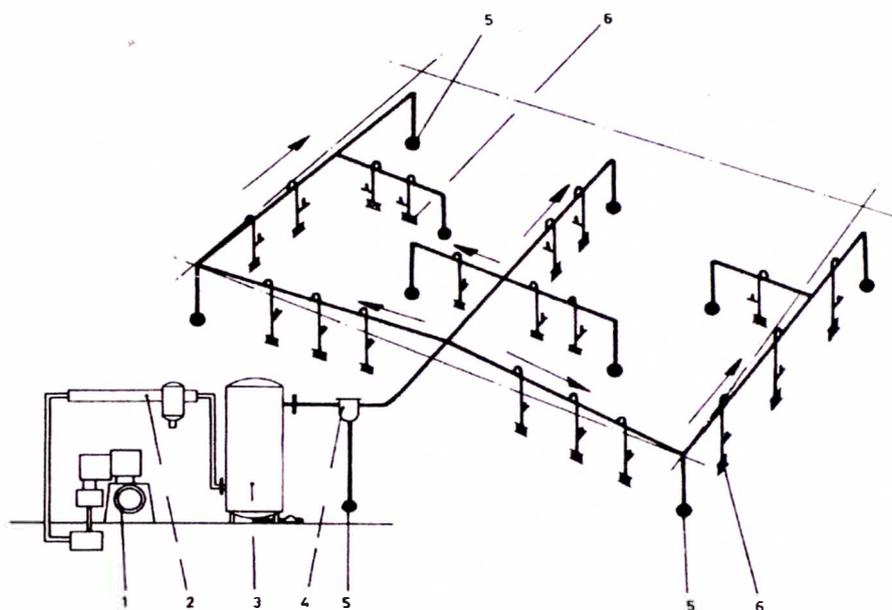


FIG. 12.5. Diseño de la red en circuito abierto.

1. Compresor.
 2. Refrigerador posterior.
 3. Calderín con purga automática.
 4. Separador (centrífugo o cerámico).
 5. Purgas en finales de ramal con válvula automática o manual.
 6. Tubería de servicio (hajantes) con purga manual y enchufes.
- Pendiente en la dirección del flujo de aire, al objeto de llevar el agua a los puntos de drenaje establecidos de antemano.

Fig. 8.8 Instalación típica de una red de aire comprimido en circuito abierto.

• CÁLCULO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO

Cálculo de la red de tuberías

El diámetro único de las tuberías se determina teniendo como datos de entrada:

La forma y dimensión de la red, quedando determinada por la configuración disponible dentro de la Planta. Se debe procurar distancias cortas procurando y rectas. Además es aconsejable realizar el montaje

aéreo de las tuberías para facilitar su inspección, mantenimiento y el purgado correcto.

La presión máxima de régimen, determinada por la mayor presión de trabajo de una las unidades consumidoras.

El caudal máximo a utilizar, se detalla en 8.3.3.2.

La pérdida de carga que está dispuesta a soportar la instalación, incluye la pérdida de carga por fricción usualmente entre 0.1-0.2 bar y las pérdidas por accesorios y válvulas traducidas en longitudes equivalentes de tubería que se añade a las longitudes de las tuberías.

Finalmente para calcular el diámetro de las tuberías se puede recurrir tanto al método gráfico como al método analítico. El *método gráfico* se apoya en el uso de nomogramas (ver Apéndice X), en el que se puede determinar cualquiera de las 4 incógnitas (flujo, diámetro, presión, pérdida de presión) conociendo las 3 restantes.

Por otra parte, el *método analítico* se basa en la expresión matemática:

$$d = \sqrt[5]{76.35x \left[\frac{L_t x Q_n^{1.875}}{p_i^2 - p_f^2} \right]}$$

p_i = Presión inicial absoluta (bar)

p_f = Presión final absoluta (bar)

L_t = Largo total (incluyendo longitudes equivalentes) en metros.

Q_n = Caudal normal en m³/h.

d = Diámetro interior del tubo en milímetros.

Cálculo de los Compresores

El caudal de aire que debe suministrar el Compresor, está determinado por:

Cantidad de unidades consumidoras y consumo específico de aire de cada una.

Coefficiente de utilización de cada una de las unidades consumidoras (Factor de servicio).

Coefficiente de simultaneidad global de uso de las unidades consumidoras, depende del tipo de industria.

Pérdidas por desgaste en las unidades consumidoras y por fugas en la red.

Porcentaje de incremento en el consumo de aire para prever posibles ampliaciones en la red de aire comprimido por necesidades futuras de la Planta, normalmente entre 20-30%.

Resumiendo en una expresión matemática lo dicho:

$$Q_{COMP} = C_{MF} C_{MA} \sum_{I=1}^n Q_{esp_i} C_{U_i}$$

Q_{COMP} : Caudal suministrado por el Compresor ($N\ m^3/hr$)

Q_{ESP} : Consumo específico de cada unidad consumidora ($N\ m^3/hr$)

C_U : Coeficiente de Utilización de cada unidad consumidora (%)

C_{MF} : Coeficiente de mayoración por fugas de aire (1+%).

C_{MA} : Coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones (1+%).

CAPITULO IX

PROCEDIMIENTO DE MONTAJE DEL FILTRO DE MANGAS

El objetivo de este capítulo es establecer un procedimiento de montaje de los componentes del filtro de mangas, que garanticen un posterior buen funcionamiento, así como el menor daño posible a los elementos del conjunto, minimizando los costos de operación y mantenimiento. Ver procedimiento en conjunto con el esquema x del Apéndice X.

A) MONTAJE DE ESTRUCTURA SOPORTE DEL FILTRO DE MANGAS

- **Verificaciones Previas**

La estructura soporte del Filtro de Mangas será montada después de la verificación dimensional de las Obras Civiles.

Medir elevaciones en base de columna. Estas deben estar en cota nominal, con tolerancia de $\pm 10\text{mm}$ al Tope de Concreto Bruto (TCB). Ver fig. 9.1.

Garantizar escuadra y paralelismo de los pernos de anclaje.

Verificar las coordenadas “N” y “E” de cada base.

Verificar también las distancias entre zapatas, las tolerancias serán de $\pm 3\text{mm}$.

Nivelar las lanas con una falla de $\pm 1\text{mm}$ en elevación. Las lanas son elementos niveladores que se colocan en la zona del grout para que asienten allí las placas base de las columnas al momento de instalarlas (el grout se coloca luego de finalizar el montaje de toda la estructura y verificar las tolerancias indicadas). Las lanas deberán ser material acero SAE1020 o similar.

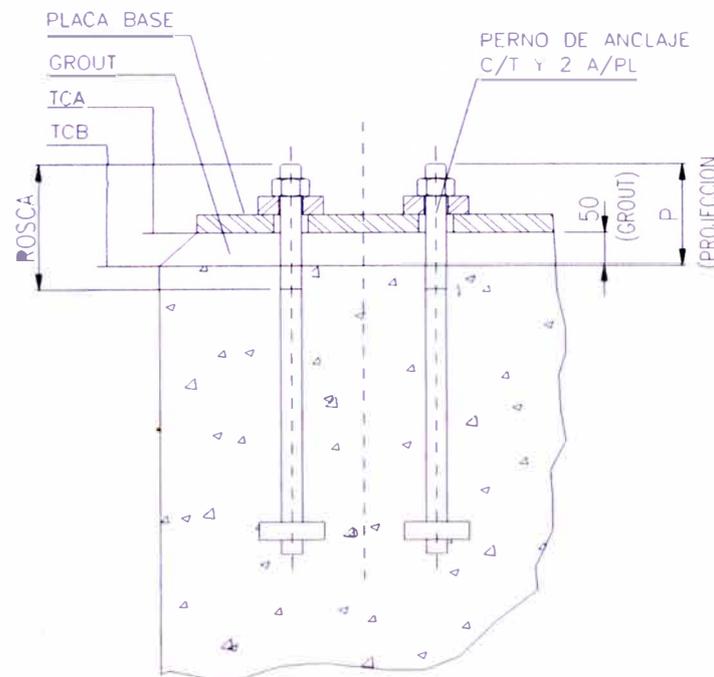


Fig. 9.1 Detalle típico de Pernos de Anclaje en una Fundación

Verificar las siguiente dimensiones y tolerancias para la base civil (Tabla 9.1)

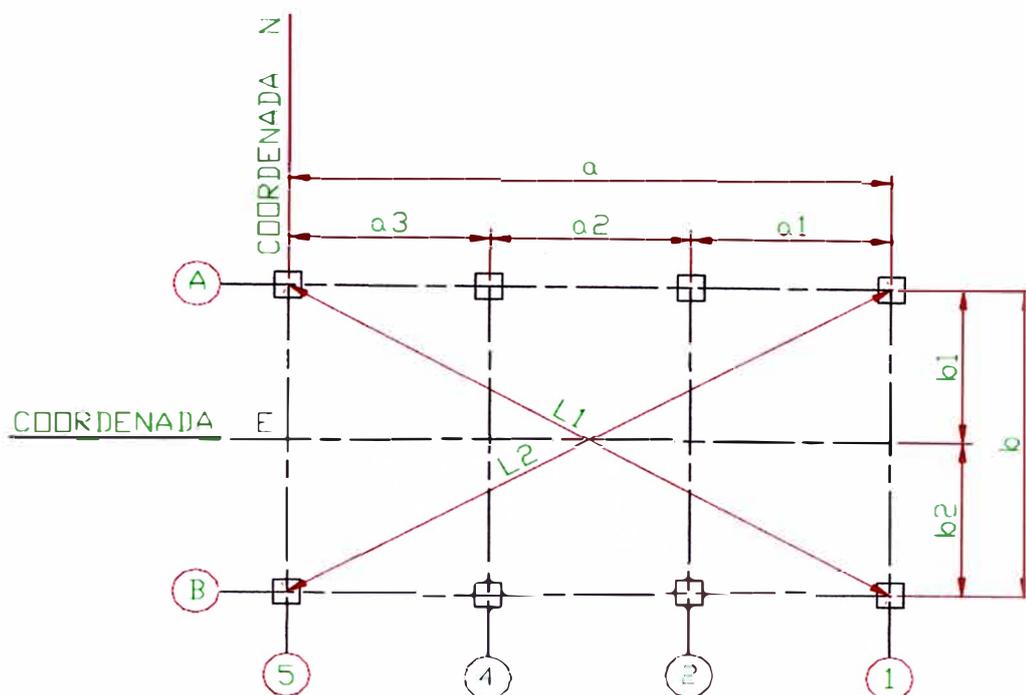


Fig. 9.2 Distribución de Bases Civiles de Estructura Soporte

- Observar las siguientes tolerancias para los pernos de anclaje cimentados en la base. Ver Tabla 9.2.

Tabla 9.1 Tolerancias de obras civiles 1

Cotas	Tolerancia	Cotas	Tolerancia
a	$\pm 3\text{mm}$	b_1, b_2	$\pm 3\text{mm}$
a_1, a_2, a_3	$\pm 3\text{mm}$	l_1, l_2	$\pm 5\text{mm}$
b	$\pm 3\text{mm}$	EL. TCB	$\pm 10\text{mm}$

Tabla 9.2 Tolerancias de obras civiles 2

Dimensión	Tolerancia
Variación de elevación nominal	+15mm, -0mm
Variación de localización en planta	$\pm 3\text{mm}$

Realizadas las verificaciones previas, se procede con el montaje, siguiendo la secuencia siguiente:

- **Columnas**

Verificar el trazado de las bases de apoyo.

Verificar correcto sentido de las cartelas donde se ensamblarán los arriostres.

Orientar también los agujeros que van a sostener a las vigas soportes.

Colocar calzos de regulación (lainas) de forma provisional previendo un grout de 50mm aproximadamente.

Proceder al izaje de las columnas en el sitio.

Fijar con arandela lisa, arandela de presión y dos tuercas, apretar en forma manual con llaves, dejando holgura para la colocación de vigas y arriostres.

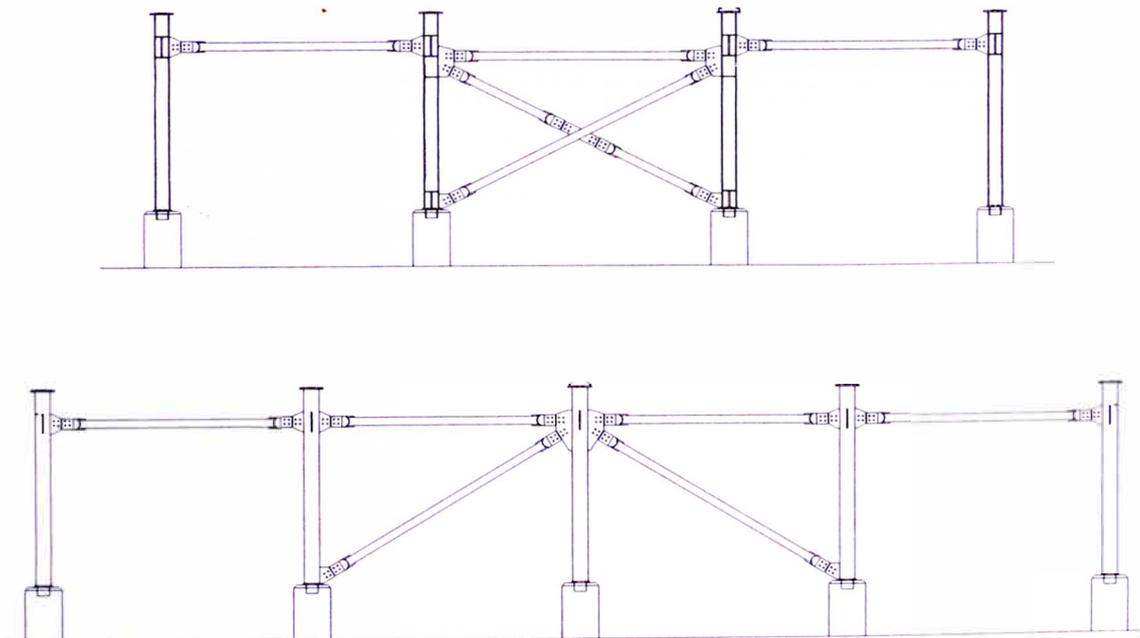


Fig. 9.3 Estructura Soporte del Filtro de Mangas

- **Vigas**

Usar el mismo procedimiento anterior respecto a la identificación, orientación de cartelas y agujeros para la fijación de los paneles del filtro y tolva.

Izar y atornillar manualmente con llave.

Dejar holgura para el montaje de los arriostres.

- **Arriostres**

Identificar las diagonales.

Colocar, atornillar e iniciar un apriete uniforme de este conjunto.

Verificar la distancia entre las columnas.

Verificar las alteraciones de las columnas.

Emplear tolerancias dimensionales: la flecha $L/1000$ menor o igual a 10mm.

Proceder al apriete final con llave de torque, después de haber comprobado estas tolerancias.

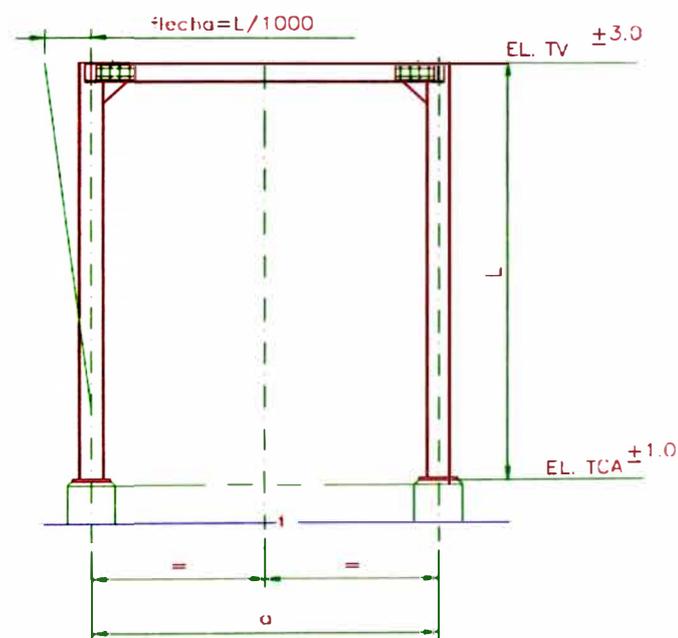


Fig. 9.4 Tolerancias de Montaje de la Estructura Soporte

B) MONTAJE DE LAS PLACAS DE LOS PANELES

Montar las placas deslizantes con los tarugos de grafito para arriba.

Apuntalar las placas a columnas de los paneles frontal, intermediario y trasero.

Tomar cuidado con la orientación de ancho y longitud en la placa de base.

Mantener escuadra y paralelismo dentro de 0.5mm.

Colocar los paneles en los lugares indicados en el diseño y unirlos.

Apuntalar las placas bases para el proceso de pre-montaje. Los paneles frontales, intermediarios y traseros poseen agujero/rosca, permitiendo un pre-montaje local y unión con los demás paneles.

Verificar las tolerancias.

Soldadura final estanque.

C) MONTAJE DE LA CARCASA DE LOS PANELES

Las carcasas de los paneles del filtro de mangas son componentes estructurales modulares compuestos de placas de acero sostenidas sobre una estructura de perfiles.

Seguir una secuencia de montaje conforme a lo indicado en (*).

Los paneles modulares poseen la resistencia para su fijación entre ellos, pudiendo realizar un pre-montaje.

Después de comprobar y verificar la tolerancia, será necesario el empleo de soldadura de campo para corregir los paneles, siendo ensayada para verificar estanqueidad.(**) Ya que el sistema de captación de humos trabaja con

presión interna negativa significa que cualquier rendija permitirá el ingreso de aire ara dentro del filtro y el sistema no funcionará satisfactoriamente.

Es necesario que la inspección visual de las soldaduras de campo sea hecha al 100% y ensayado con líquidos penetrantes en locaciones específicas.

(*). Izar el panel frontal, usando un dispositivo para mantener la pieza en posición de montaje.

Izar el panel intermediario

Izar paneles laterales.

Atornillar, Alinear, Apuntalar.

Verificar escuadra y paralelismo.

Repetir la misma secuencia con los demás paneles.

Verificar tolerancias.

Elaborar secuencia de soldadura final, para evitar deformaciones de los paneles.

Montar Espejo, ajustar y apuntalar (ver Montaje de Espejos), alinear y soldar.

Izar techo, alinear y soldar.

D) MONTAJE DE TOLVAS

Las tolvas ya deberán estar pre-montadas en piso dentro del área del filtro de mangas.

Izar una tolva, posicionar y atornillar.

Observar la posición de la brida de entrada, así como la puerta de inspección.

Proceder a la soldadura final.

Izar y montar el ducto de entrada a la tolva.

Mantener a escuadra, alineamiento y paralelismo de la línea de centro del filtro de mangas.

E) MONTAJE DE PLENUMS DE ENTRADA

Los paneles de los Plenums del filtro de mangas son componentes estructurales modulares compuestos de placas de acero sostenidas sobre una estructura de perfiles. Tienen resistencia para su fijación entre ellos y realizar un pre-montaje.

Izar el panel del fondo, usando un dispositivo para mantener la pieza en posición de montaje y luego el panel de cierre del ducto.

Alinear y apuntalar.

Izar el ducto de entrada de la tolva.

Atornillar, alinear y apuntalar.

Verificar las tolerancias de escuadra y paralelismo.

Soldar un cordón para evitar deformaciones de los paneles.

Izar panel intermediario, usando dispositivo para mantener la pieza en posición de montaje.

Alinear y apuntalar todos los paneles.

Montar las placas deflectoras internas en los plenums.

Ajustar y verificar a escuadra las elevaciones.

Soldar para unir los paneles. Esta soldadura deberá ser ensayada en cuanto a su estanqueidad, debido a lo indicado en 9.3 (**).

Inspeccionar las soldaduras 100% visualmente.

F) MONTAJE DE PLENUMS DE SALIDA

Izar el panel central del plenum de salida, usando un dispositivo para mantener la pieza en posición de montaje.

Atornillar.

Pre-montar los conjuntos de dampers tipo poppet a nivel de piso.

Izar panel de compartimiento de válvula poppet.

Izar panel intermediario, panel frontal delantero y panel trasero superior.

Izar panel de techo y apuntalar.

Verificar escuadra y paralelismo.

Verificar curso de damper.

Verificar 100% de las soldaduras visualmente. En caso de dudas, realizar ensayo de líquidos penetrantes.

G) MONTAJE DE DAMPER ENTRADA DE GAS SUCIO

Verificar el sentido del flujo.

Ajustar y fijar los Dampers, colocando un cordón de estanqueidad en cada junta.

Montar sistema de palanca de cierre y ensayar. El accionamiento debe ser suave con esfuerzo manual.

Verificar tolerancias.

Iniciar el apriete final de los tornillos. Estas uniones deberán ser rigurosamente estanques por lo indicado en 9.3 (**).

H) MONTAJE DE DAMPER SALIDA DE GAS LIMPIO

Posicionar en pedestal y apuntalar.

Verificar alineamiento y perpendicularidad del eje entre el tope del pedestal y el tope de la boquilla.

Ajustar y posicionar la guía del eje.

Después de ajustado, el damper deberá moverse libremente.

Cuando cierre, el damper deberá estar concéntrico en relación a la boquilla con una falla de 1.5mm y el disco deberá tener una deflexión de 10mm en el centro de la boquilla.

I) MONTAJE DE ESPEJOS

Izar un espejo hasta el tope del filtro con un embalaje para evitar deformaciones.

Utilizar un balancín para izamiento. Este balancín deberá ser amarrado a un espejo en varias partes, a cada 500mm aproximadamente, con cuerdas de nylon o defibra.

Tipografiar los aleros antes de montar el espejo, la horizontalidad deberá ser de $\pm 3.0\text{mm}$.

Seguir rigurosamente las líneas de referencia Y-Y, indicadas en los diseños, como base para el alineamiento del conjunto.

Apuntalar los espejos. Solamente iniciar el soldeo después de la aprobación de dimensiones por el Supervisor.

Observar que la flecha máxima del espejo no deberá sobrepasar 6.4mm.

J) MONTAJE DEL SISTEMA DE LIMPIEZA

El sistema de limpieza de mangas tiene por finalidad mantener las mangas siempre limpias y en filtración. Contar con los componentes del sistema indicados en 8.2.

Verificar si el filtro de mangas y los componentes externos están montados y liberados.

Asegurarse de que las placas/espejo están correctamente alineadas y limpias, exento de impurezas.

Asegurarse de que no exista ninguna brecha en los contornos de placa/espejo a modo de prevenir el paso de infiltraciones de aire.

Retirar los protectores de roscas de los tubos, verificando el estado de las roscas.

Asegurarse de que no existan cuerpos extraños dentro de los tubos.

Asegurarse que los tubos que serán montados no tengan ningún tipo de fugas.

Por tanto, antes de instalar, verificar cada componente.

Colocar los tubos de distribución con los agujeros direccionados para abajo y ajustar el tubo de forma que los agujeros queden directamente sobre las gargantas de los venturis.

Alinear los tubos distribuidores utilizando las plantillas para alineamiento, conforme a lo mostrado en el diseño del conjunto.

Asegurar que el desalineamiento entre un agujero del tubo y el centro del venturi no sobrepase a 9.5mm.

Alinear todos los tubos de unión con el acumulador (lado de conexión) con nylon. Todos los tubos distribuidores deben quedar alineados

Repetir el procedimiento en todas las hileras del compartimiento montando las hileras cerca de una de las paredes en sentido del panel opuesto.

Asegurar que todas las conexiones roscadas tengan material sellante de roscas, para evitar fugas.

Repetir el montaje de los componentes de unión externa del filtro.

Izar y posicionar soportes de los reservorios.

Izar acumulador, apoyar y fijar suavemente con grampas tipo "U" en el soporte del acumulador.

Probar el conjunto conectando el aire comprimido y verificar posibles fugas.

Asegurarse de no haber dejado ninguna herramienta y/u otro componente en el interior del filtro de mangas, retirar todos los dispositivos usados en el montaje.

K) MONTAJE DE LAS MANGAS Y CANASTILLOS

Las mangas pueden ser montadas después de concluir todos los trabajos de soldadura de tubos distribuidores y terminado el montaje de la cobertura.

Durante el montaje no se podrá por ningún motivo, dejar las mangas expuestas a la intemperie, la humedad o lluvia.

Las cajas de embalaje que contienen las mangas deberán estar cerca de su área de montaje debidamente protegidas.

Abrir una caja de mangas por vez, inspeccionar diámetro y longitud de mangas.

Verificar si no existen daños aparentes en los canastillos.

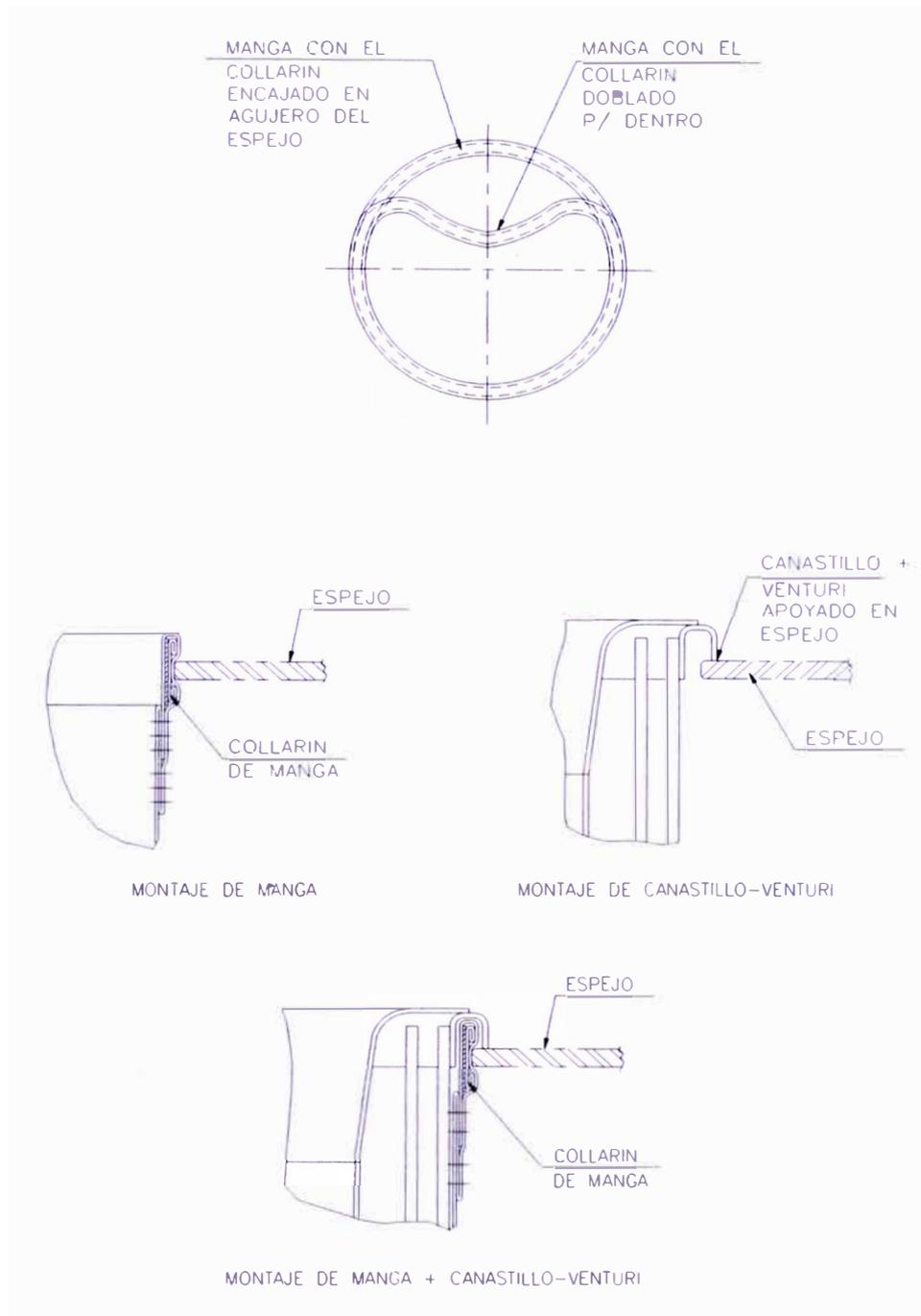


Fig. 9.5 Procedimiento para el Montaje de las Mangas

Verificar en los canastillos si hay alambres quebrados, rotos o con rebabas, que puedan dañar las mangas. En caso afirmativo, reparar o substituir canastillo

(***) Colocar una manga a través del agujero del espejo. Para fijarla proceder como sigue: *i)* Presionar con las dos manos el collarín c/ lámina interna de acero inoxidable, ver fig. 9.5. *ii)* Manteniendo el collarín presionado posicónelo de forma que esté aproximadamente 12mm para arriba del espejo. *iii)* Después de posicionado arriba, ir soltando el collarín de lámina de acero inoxidable presionando el collarín contra el agujero del espejo, garantizando así la estanqueidad del conjunto.

Al instalar el conjunto de filtrado, tener máximo cuidado para no dañar la manga cuando se la pase a través del espejo o al introducir el canastillo sobre la misma.

Introducir cuidadosamente el canastillo en la manga hasta que el collarín del canastillo se apoye en el espejo. El venturi viene de fábrica soldado en la manga. El conjunto canastillo-venturi debe apoyar en el espejo.

Colocar los dispositivos de fijación. El apriete de tuercas deberán en esta fases apenas con apriete manual y posteriormente, apretar con una herramienta, dándose media vuelta a una tuerca. Verificar el apriete y ajustar si es necesario.

Al inspeccionar el lado interno de las cámaras, asegurar que la que la distancia mínima entre las mangas sea de 35mm.

En caso las mangas estén a una distancia menor, estas deberán ser giradas hasta alcanzar la distancia recomendada.

Apretar tuercas de fijación con una herramienta apropiada, dando una vuelta de apriete. Esta instrucción es teórica, el montador ajustará más de ser necesario.

L) DESMONTAJE DE LAS MANGAS

- **Desmontaje**, cuando se requiere realizar el desmontaje de las mangas con fines de mantenimiento, seguir los siguientes pasos:

Retirar la tapa del plenum soltando los cierres rápidos.

Remover el tubo de soplado a través de la unión, y el tornillo.

Empuje para arriba el conjunto canastillo-venturi hasta que salga completamente para fuera del espejo.

Retirar la manga filtrante, siguiendo los pasos del montaje:

- **Montaje**

Ver 9.11 (***)).

M) MONTAJE DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

Los componentes a instalar son: Compresores, Secador de Aire, Tanque de Aire, Tanque de Aire Comprimido, Accesorios, Conductos, Curvas, Soportes.

- **Compresores**

Inicia el montaje después de finalizado el montaje completo del Filtro de Mangas.

Al momento de desembalar, comprobar cuidadosamente las piezas recibidas, para asegurarse de que están acorde con el manual de instrucción y operación de del compresor.

Al descargar, evitar suspender el compresor por el rotor, ejes o boquillas.

Procurar perfiles de refuerzos en los agujeros, soldados en la carcasa por donde se puede izar el compresor.

No permitir que ocurra cualquier golpe o daño proveniente de un mal transporte, pues podrán ocasionar daños irreparables.

Instalar los compresores en la posición indicada en el diseño del montaje sobre las fundaciones de la sala de compresores, alineando los centros de los mismos con las coordenadas definidas en el diseño.

Verificar si los compresores están alineados antes de entrar en funcionamiento, debido a choque que el equipo sufre durante el transporte.

Verificar el sentido de rotación del conjunto antes de la instalación de la unidad. El compresor opera en apenas un sentido de rotación, que está indicado en la placa fijada en la carcasa.

Si los compresores y/o accesorios no fuesen montados o si los mismos quedaran parados por un largo periodo, efectuar inspecciones y verificar si los niveles de protección son satisfactorios. Si el equipo estuviera montado, girar media vuelta el rotor, para garantizar que todas parte del cojinete permanezcan envueltas con grasa y para que se evite deformación del eje. Asegurarse de que el rotor no está trabado.

- **Secadores de Aire**

Proceder de la misma forma que con los compresores.

- **Reservorios de Aire Comprimido**

Proceder de la misma forma que con los compresores.

- **Conductos**

Dar prioridad a la trayectoria de los conductos mostrada en el diseño del montaje. Cualquier alteración, como por ejemplo, alteración del radio de

curvatura, o cambio de ruta de los ductos, deberá ser comunicada al Supervisor de montaje.

Seguir rigurosamente las coordenadas “N”, “E”, así como las elevaciones de cada punto de trabajo de la trayectoria de los conductos, conforme indica en los diseño de montaje.

Verificar el sentido de flujo de cada pieza.

Inspeccionar visualmente 100% las soldaduras.

Ajustar los soportes y recortar en el montaje de haber necesidad. Moverlos si hay interferencias.

Apuntalar hasta definir la longitud final de montaje. Los conductos poseen una longitud mayor para ajustar el sistema.

Probar la estanqueidad del sistema, presurizando la red de tuberías durante una hora, aproximadamente. Hacer flushing en el sistema, desconectando inicialmente todos los filtros, el conjunto tipo Lubrifil y los equipos de las líneas.

Conectar los filtros con los equipos desconectados y proseguir la limpieza.

Regular la presión de trabajo a 5.5 bar en el sistema de limpieza de las mangas y 6.0 bar para las demás partes.

Verificar el grado de unidad del sistema de aire comprimido, verificando si el indicador del punto de rocío del secador está en color azul.

CONCLUSIONES

1. Es factible la instalación del Horno Eléctrico de 30ton de colada cumpliendo los Reglamentos Nacionales de Calidad del Aire, realizando el control de sus emisiones primarias y secundarias con un sistema de captación de humos combinado con las siguientes características.

Diámetro ducto sistema primario	0.89m.
Diámetro ducto sistema secundario	2.52m.
Diámetro ducto sistema combinado	2.67m.
Medio Filtrante	Filtro de Mangas.
Dimensiones de las Mangas	φ 160mm x 6500mm
Tipo de Mangas	Poliéster
Cantidad de Mangas	1018 und.
Mecanismo de Limpieza de Mangas	Pulse Jet
Presión del Sistema de Limpieza de Mangas	80 psi
Diámetro de la Chimenea	3.12m.
Tipo de Ventilador	Centrífugo álabes hacia atrás
Potencia del Ventilador	1200/900 CV/KW

2. La determinación de las características de las emisiones del horno, ha sido obtenido por el método de cálculo y estimación, basado en datos del fabricante del horno y en datos obtenido de plantas siderúrgicas similares. El método de medición no es aplicable, ya que tanto la instalación del horno como el sistema de captación de humos forma parte de un proyecto conjunto de aumento de producción de la empresa siderúrgica.
3. La distancia más próxima a la que se puede colocar la boca de la campana de captación de la salida del horno fue 14mt. aprox., debido a que las instalaciones actuales no permiten una distancia menor por ser de constante tránsito de puentes grúa para abastecer a los convertidores LD actuales.
4. El caudal requerido por la campana de captación del sistema secundario resulta mucho mayor que la del sistema primario, y al ser la velocidad de transporte constante en todos los conductos hasta la entrada al dispositivo de control, la relación de diámetros secundario/primario resulta ser de $\approx 3:1$. Por tanto, será factible emplear un sistema combinado que sistemas independientes; con diámetros menores la pérdida de carga se incrementa aumentando los costos de operación del sistema, tomando en consideración que la ubicación de la chimenea por condiciones de la Planta, está alejada de la nave. A su vez, el diámetro del sistema combinado no se incrementa mucho en comparación con el sistema secundario, así que tampoco incrementan en demasía los costos de la instalación de los conductos con sistema combinado.
5. Al evaluar el tiro de la chimenea se obtiene tiro forzado, no favoreciendo la diferencia de temperatura entre los gases y el medio, a la evacuación de los gases por la chimenea.

6. Los altos valores de caudal de gases y pérdida de carga obtenidos para el sistema de captación de humos, conllevaron a que se empleen 2 ventiladores centrífugos (alta presión) iguales instalados en paralelo, para suplir el caudal que se necesita.
7. Las condiciones del sitio nos permiten emplear mangas de 6mt aprox. de longitud, con fines de disminuir la cantidad de compartimiento de mangas y por tanto los costos de la instalación, y reducir el espacio ocupado por el filtro de mangas. Sin embargo, ello conlleva a un incremento de la presión efectuada por el sistema de limpieza de mangas para realizar el barrido del material capturado por las mangas.
8. Los filtros de mangas y los precipitadores electrostáticos son los medios filtrantes que más se adaptan a nuestro proceso. Finalmente la empresa Siderúrgica, se decide por emplear filtros de mangas al ser sus repuestos muchos más sencillos de conseguir y requiere de menor personal especializado tanto para su operación como para su mantenimiento, además que tiene experiencias anteriores en otras sedes de la Compañía satisfactorias con el uso de esta tecnología.
9. Se deben inspeccionar minuciosamente y ensayar los cordones de soldadura en la Estructura del Filtro de Mangas que garanticen una completa estanqueidad de los cordones; ya que de no ser así y al tener el sistema de captación una presión negativa podría ingresar aire del medio hacia el Filtro de Mangas provocando una falsa lectura del manómetro diferencial del sistema Pulse Jet entre la cámara de aire sucio y la cámara de aire limpio.

10. La instalación de las mangas debe ser realizada sólo por personal debidamente capacitado en ello, una incorrecta instalación de las mangas: mangas-canastillos que no sellan completamente con la placa espejo, desalineamiento entre el venturi y el agujero de los tubos de soplado, mangas dañadas por cortes así sean muy pequeños, etc.; pueden traer problemas perjudiciales en el tiempo de vida de las mangas y un mal funcionamiento del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- 1. JULIO ASTIGARRAGA URQUIZA, Hornos de Arco para Fusión de Acero Teoría Cálculo y Aplicaciones, Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España S.A, Primera Edición, 1995.**
- 2. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, Monografías sobre Tecnología del Acero Parte I, Acería Eléctrica, 2009.**
- 3. DEPARTAMENTO DEL MEDIO Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO DEL PAÍS VASCO, Real Decreto 508/2007, Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire Sector Acero.**
- 4. UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECCION AGENCY OFFICE, EPA Air Pollution Control Cost Manual, Sección 2, Equipo Genérico y Dispositivos, Sexta Edición, 2002.**
- 5. UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECCION AGENCY OFFICE, EPA Air Pollution Control Cost Manual, Sección 6, Controles de Materia Particulada, Sexta Edición, 2002.**
- 6. UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECCION AGENCY OFFICE, Mr. Kenneth Woodard, Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias, 1998.**

7. **CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO SUSTENTABLE**, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil - Ecuador, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Asesoría de los Ing. Peralta Castillo Germán Petronius e Ing. Chiquito Guamanquispe Leonardo Ernesto.
8. **ENFIL CONTROLE AMBIENTAL ENVIROMENTAL CONTROL**, Sao Paulo-Brasil, Projeto do Sistema de Despoeiramento Forno Elétrico EAF.
9. **ENFIL CONTROLE AMBIENTAL ENVIROMENTAL CONTROL**, Sao Paulo-Brasil, Manual de Montagem Básico de Filtro de Mangas.
10. **ROBERT L. MOTT**, Mecánica de Fluidos, Sexta Edición, 2006.
11. **CLAYON T. CROWE, DONALD F. ELGER, JOHN A. ROBERSON**, Mecánica de Fluidos, Octava Edición.
12. **UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**, Departamento de Geología, Flujo en Medios Porosos: Ley de Darcy, 2008.
13. **PASCAL M. RAPIER, KENNETH A. ROE**, Marks, Manual del Ingeniero Mecánico, Sección 18 - Control Ambiental, Editorial McGraw-Hill, Novena Edición.
14. **PERRY**, Manual del Ingeniero Químico, Editorial McGraw-Hill, Sexta Edición.
15. **V. V. BATURIN**, Fundamentos de Ventilación Industrial, Primera Edición.
16. **SALVADOR ESCODA**, Manual Práctico de Ventilación Catálogo Técnico, Segunda Edición.
17. **AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNAMENTAL INDUSTRIAL HYGIENIST**, Ventilación Industrial Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Primera Edición, 1992.

18. **RIGOBERTO QUINCHÍA H., JORGE PUERTA S.A.**, Ventilación Industrial, Segunda Edición, 1995.
19. **NOEL DE NEVERS**, Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire, Editorial McGraw-Hill, Primera Edición, 1998.
20. **E. CARNICER ROYO**, Aire Comprimido Teoría y Cálculo de las instalaciones, Barcelona, 1977.
21. <http://www.ingenieriaambiental.cl>, Manual de Operación y Mantenimiento DustCollector.
22. <http://www.ingenieriaambiental.cl>, Manual del Sistema Pulse Jet.
23. <http://www.minam.gob.pe>, Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM.
24. <http://www.minam.gob.pe>, Plan de Acción para la Mejora de la Calidad del Aire en la Cuenca Atmosférica en la Ciudad de Chimbote.
25. <http://www.engineeringfundamentals.net/FiltrosFaseGas/>
26. <http://www.emison.com> Filtros de Mangas.
27. <http://www.rincondelvago.com>, Sedimentación de partículas esféricas a través del aire.
28. **ROZAS CÁRDENAS ROBERTO EDUARDO**, Tesis sobre Permeabilidad de Medios Porosos: Experimentos Numéricos y Teoría, Univ. de Concepción, Chile, 2002

ANEXOS

ANEXO 1: ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AIRE



DECRETO SUPREMO N° 003 - 2008 - MINAM

APRUEBAN ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AIRE

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611- Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, estableciendo el literal d) de su artículo 7° como función específica elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), debiéndose aprobar mediante Decreto Supremo;

Que, los ECA se refieren a valores que no representen riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente, siendo que el concepto de valor guía de la calidad del aire, desarrollado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se refiere al valor de la concentración de los contaminantes en el aire por debajo del cual la exposición no representa un riesgo significativo para la salud;

Que, el numeral 33.2 del Artículo 33° de la Ley N° 28611, establece que la Autoridad Ambiental Nacional, en el proceso de elaboración de los ECA, LMP y otros estándares o parámetros para el control y la protección ambiental debe tomar en cuenta los establecidos por la Organización Mundial de la Salud o las entidades de nivel internacional especializadas en cada uno de los temas ambientales;

Que, asimismo, el numeral 33.4 del Artículo 33° de la mencionada Ley, establece que en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de acuerdo a lo establecido en el Cronograma de Priorizaciones para la aprobación progresiva de ECA y LMP, aprobado por Decreto de Consejo Directivo del Consejo Nacional del Ambiente N° 029-2008-CONAM/CD, se elaboró la propuesta de los ECA a aprobarse, tomando en consideración las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y la opinión de los sectores involucrados;

Que, de conformidad con lo previsto en el Decreto Supremo N° 033-2007-PCM se han llevado a cabo los procesos de Consulta Pública aprobados por Resoluciones Presidenciales N°s 036 y 038-2008-CONAM/PCD, así como los talleres de coordinación interinstitucional realizados los días 24 de abril, 21 de mayo y 4 de agosto del presente año, por lo que se recibió la opinión de los Ministerios de Salud, Producción, Vivienda y Construcción, Transportes y Comunicaciones y Energía y Minas; todos los Gobiernos Regionales; diversas Municipalidades y representantes de la sociedad civil, bajo el proceso de consulta pública;

Que la Segunda Disposición Transitoria del Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, mediante el cual se aprobó el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, establece que el valor del estándar nacional de calidad ambiental del aire de Dióxido de Azufre (SO₂), para veinticuatro horas debe ser revisado en el período que se requiera, de detectarse que tienen un impacto negativo sobre la salud en base a estudios y evaluaciones continuas;

Que, tomando en consideración las nuevas evidencias halladas por la Organización Mundial de la Salud, resulta necesario aprobar nuevos Estándares de Calidad Ambiental de Aire para el Dióxido Azufre, los mismos que entrarán en vigencia a partir del primero de enero del 2009, así como establecer Estándares Ambientales de Calidad de Aire para Benceno, Hidrocarburos Totales, Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras e Hidrógeno Sulfurado;

De conformidad con lo establecido en la Ley N° 28611- Ley General del Ambiente y el Decreto Legislativo N° 1013 que aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

ANEXO 1

TABLA 1

ESTANDAR DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL DIÓXIDO DE AZUFRE SO₂

Parámetro	Periodo	Valor µg/m	Vigencia	Formato	Método de análisis
Dióxido de azufre (SO ₂)	24 horas	80	1 de enero de 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	20	1 de enero del 2014		

TABLA 2

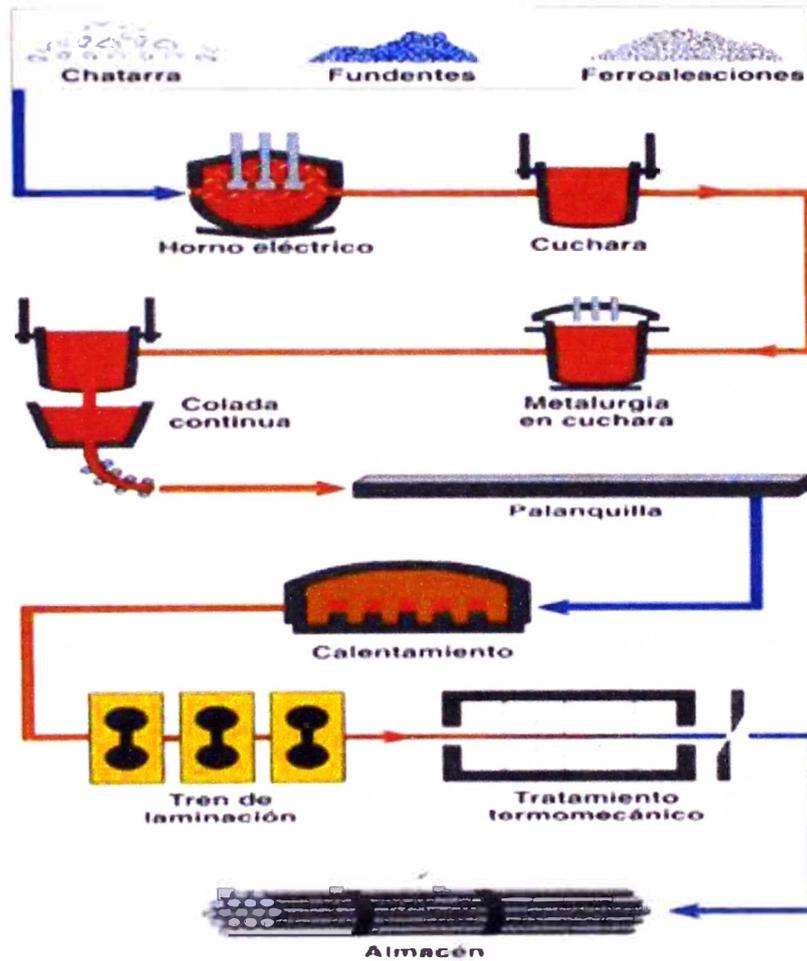
ESTANDAR DE CALIDAD AMBIENTAL PARA COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV); HIDROCARBUROS TOTALES (HT); MATERIAL PARTICULADO CON DIÁMETRO MENOR A 2,5 MICRAS (PM_{2,5})

Parámetro	Periodo	Valor	Vigencia	Formato	Método de análisis
Benceno ¹	Anual	4 µg/m ³	1 de enero de 2010	Media aritmética	Cromatografía de gases
		2 µg/m ³	1 de enero de 2014		
Hidrocarburos Totales (HT) Expresado como Hexano	24 horas	100 mg/m ³	1 de enero de 2010	Media aritmética	Ionización de la llama de hidrógeno
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50 µg/m ³	1 de enero de 2010	Media aritmética	Separación inercial filtración (gravimetría)
	24 horas	25 µg/m ³	1 de enero de 2014	Media aritmética	Separación inercial filtración (gravimetría)
Hidrógeno Sulfurado (H ₂ S)	24 horas	150 µg/m ³	1 de enero de 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)

¹ Único Compuesto Orgánico Volátil regulado (COV)

ANEXO 2: INFORMACIÓN SOBRE HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO

A. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ACERO POR HORNO DE ARCO



B. FASES DEL PROCESO DE FUNDICIÓN DE ACERO

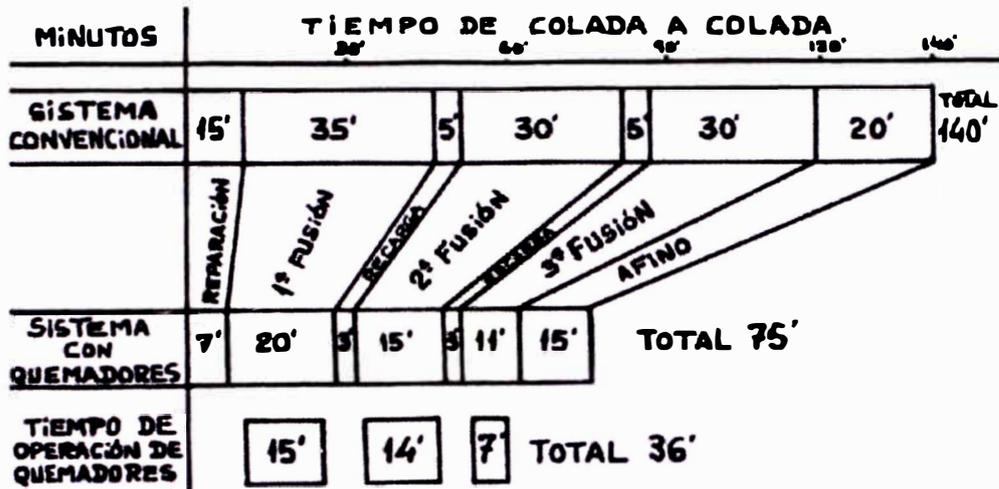


Figura 53 Quemador oxi-combustible.

C. PROPIEDADES CARÁCTERÍSTICAS DE GASES EMITIDOS POR UN HORNO DE ARCO ELÉCTRICO (TOMADO COMO REFERENCIA)

GASES EMITIDOS POR EL HAE					
T (°C)	Calor Específico (J/KgK)	Conductividad (W/mK)x10 ⁻³	Viscosidad Dinámica (Ns/m ²)x10 ⁻⁷	Densidad (Kg/m ³)	Viscosidad Cinemática (m ² /s)x10 ⁻⁶
50	995,08	24,72	176,95	1,2306	14,38
100	1016,16	31,59	219,89	0,9229	23,82
200	1040,86	38,26	258,53	0,7383	35,01
300	1068,28	44,34	293,24	0,6153	47,66
400	1096,52	49,95	324,84	0,5274	61,59
500	1193,76	55,26	354,16	0,4615	76,75
600	1147,83	60,60	381,94	0,4102	93,11
700	1169,87	66,01	408,15	0,3692	110,56
800	1189,13	71,30	433,25	0,3356	129,09
900	1206,13	77,20	457,14	0,3076	148,60
1.000	1219,73	82,34	482,97	0,2840	170,07

ANEXO 3: GUÍAS PARA SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL

A. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL [14]

los sistemas tecnológicos (utiles (equipo y procesos) y de las consecuencias ecológicas como, por ejemplo, los problemas de tratamiento y disposición o colocación final de los contaminantes recolectados.

A menudo, la estrategia de control para la determinación del impacto sobre el medio ambiente se enfoca con base en cinco opciones destinadas a la reducción y/o eliminación de las emisiones de contaminantes:

1. Eliminación de toda o parte de la operación
2. Modificación de la operación
3. Reubicación de la operación
4. Aplicación de la tecnología adecuada de control
5. Combinaciones de los puntos anteriores

En vista de los costos relativamente elevados que, a menudo, están relacionados con los sistemas de control de la contaminación, los ingenieros realizan esfuerzos considerables, destinados a la modificación de los procesos para eliminar, hasta donde sea posible, el problema de contaminación de la fuente. Esto incluye la evaluación de técnicas opcionales de producción y manufactura, la sustitución de materias primas y el mejoramiento de los métodos de control del proceso. Por desgracia, si no hay opción, debe considerarse el empleo de equipo de control de contaminación. En vista de los costos relativamente elevados, es esencial una selección adecuada del equipo, que debe enfocarse para cumplir con los límites reglamentarios de emisiones en forma continua, ya que las interrupciones están sujetas a penas severas, que dependen de las circunstancias. El requerimiento para un diseño que funcione en base continua recalca considerablemente en las prácticas de operación y mantenimiento. La rápida escalada de costos de energía, mano de obra y materiales puede hacer que los aspectos de operación y mantenimiento sean más importantes que el costo de capital original.

Factores que afectan la selección del equipo de control Antes de seleccionar una pieza determinada del equipo de control de contaminación del aire es necesario considerar varios factores, que en general se pueden agrupar en tres categorías, relacionadas con el medio ambiente, la ingeniería y los costos.

Factores relacionados con el medio ambiente Éstos incluyen: 1) ubicación del equipo, 2) espacio disponible, 3) condiciones ambientales, 4) disponibilidad de los servicios adecuados (es decir, energía, agua, etc.) e instalaciones de sistemas auxiliares (es decir, tratamiento y eliminación de desechos, etc.), 5) emisión máxima permitida (códigos de contaminación del aire), 6) consideraciones estéticas (p. ej., pluma de vapor y agua o vapor visible, etc.), 7) contribuciones del sistema de control de contaminación del aire a la contaminación del agua de desperdicio y al terreno, y 8) contribución del sistema de control de contaminación del aire a los niveles de ruido de la planta.

Factores relacionados con la ingeniería Éstos incluyen:

1. Características de los contaminantes [es decir, propiedades físicas y químicas, concentración, distribución de forma y tamaño de las partículas (en caso de partículas), reactividad química, corrosividad, abrasividad, toxicidad, etc.]

TABLA 26-11 Ventajas y desventajas de los recolectores tipo ciclón

Ventajas	
1.	Bajo costo de construcción
2.	Equipo relativamente sencillo con pocos problemas de mantenimiento
3.	Caídas de presión relativamente bajas (para el nivel de eliminación de partículas obtenido) en el intervalo aproximado de 2 a 6 in de columna de agua
4.	Limitaciones de temperatura y presión impuestas exclusivamente por los materiales de construcción utilizados
5.	Recolección y colocación final en seco
6.	Requerimientos de espacio relativamente pequeños
Desventajas	
1.	Eficiencia de recolección de partículas relativamente baja, especialmente de aquellas cuyo diámetro es menor a 10 μm
2.	Capacidad para manejar materiales pegajosos

TABLA 26-12 Ventajas y desventajas de los depuradores en húmedo

Ventajas	
1.	No son fuentes secundarias de polvo
2.	Requerimientos de espacio relativamente pequeños
3.	Capacidad para recolectar gases y partículas (especialmente las pegajosas)
4.	Capacidad para manejar corrientes de gas a altas temperaturas y con alto contenido de humedad
5.	Bajo costo de capital (si no se requiere sistema de tratamiento del agua de desperdicio)
6.	Para algunos procesos, la corriente de gas y a está a alta presión (por consiguiente, las consideraciones de caída de presión pueden no ser importantes)
7.	Capacidad para lograr alta eficiencia de recolección de partículas finas (sin embargo, a expensas de la caída de presión)
Desventajas	
1.	Probable generación de problemas de colocación final del agua
2.	Producto recolectado en húmedo
3.	Problemas de corrosión más graves que con los sistemas secos
4.	Capacidad de la pluma de vapor y suministro de gases que pueden ser objetables
5.	La caída de presión y los requerimientos de potencia pueden ser elevados
6.	La acumulación de sólidos en la superficie húmeda seca puede ser un problema
7.	Costos de mantenimiento relativamente altos

TABLA 26-13 Ventajas y desventajas de los precipitadores electrostáticos

Ventajas	
1.	Eficiencia muy alta de recolección de partículas (gruesas y finas) cargada con un gaso relativamente bajo de energía
2.	Recolección y colocación final en seco
3.	Baja caída de presión (característicamente menor a 1.5 in de columna de agua)
4.	Diseñados para operación continua con requerimientos mínimos de mantenimiento
5.	Costo de operación relativamente bajo
6.	Capacidad para operar a altas presiones (hasta 150 lb/in ² o al vacío)
7.	Capacidad para operar a altas temperaturas (hasta 704°C (1300°F))
8.	Capacidad para manejar en forma eficiente velocidades de flujo de gas relativamente altas
Desventajas	
1.	Alto costo de capital
2.	Muy sensibles a cambios en las condiciones de la corriente gaseosa (especial, el flujo, la temperatura, la composición del gas y las partículas y el tipo de partículas)
3.	Ciertas partículas son difíciles de recolectar, debido a características de reactividad relativamente altas o bajas
4.	Se requieren espacios relativamente grandes para su instalación
5.	Riesgo de explosión al recolectar partículas combustibles o otros gases combustibles
6.	Se requieren medidas especiales de seguridad para proteger al personal del alto voltaje
7.	Durante la ionización del gas se produce ozono por la descarga del electrodo cargado negativamente
8.	Se requiere personal de mantenimiento altamente capacitado

2. Características de la corriente gaseosa (o sea, velocidad de flujo volumétrico, temperatura, presión, humedad, composición, viscosidad, densidad, reactividad, inflamabilidad, corrosividad, toxicidad, etc.)

3. Características de diseño y funcionamiento del sistema de control de partículas (p. ej., peso y tamaño, curvas de porcentaje de eficiencia (en el caso de partículas), capacidad de transferencia de masa y/o destrucción del contaminante (en el caso de gases o vapores), caída de presión, confiabilidad, capacidad de reducción (p. ej., requerimientos de potencia y de servicios, límites de temperatura, necesidades de mantenimiento y flexibilidad para cumplir con los códigos más rigurosos de contaminación del aire).

Factores económicos Éstos incluyen, los costos de capital (equipo, instalación, ingeniería, etc.), los costos de operación (servicios,

mantenimiento, etc.) y el costo del ciclo de vida, durante la vida útil esperada del equipo.

Comparación de opciones para el equipo de control Por lo general, la opción final en la selección del equipo está determinada por la capacidad de éste para cumplir con los códigos reglamentarios al costo uniforme anual más bajo (inversión del capital amortizado más costos de operación y mantenimiento). Para comparar las opciones específicas del equipo de controles necesario conocer la aplicación y el sitio particulares. Sin embargo, se puede realizar una selección preliminar, mediante la revisión de las ventajas y desventajas de cada tipo de equipo de control de contaminación del aire. En las tablas 26-11 a 26-19 aparecen las ventajas y desventajas generales de los equipos más comunes para el control de la contaminación del aire, para gases y partículas. En la tabla 26-20 se muestran otras actividades a realizar, antes de la selección final.

DISPERSIÓN DE LAS CHIMENEAS

Las chimeneas que descargan a la atmósfera ha sido el método industrial más común para deshacerse de los gases de desperdicio. La concentración a la que se ven expuestos los seres humanos, animales, plantas y estructuras al nivel del terreno se puede reducir considerablemente mediante la emisión a gran altura de los gases de desperdicio.

TABLA 26-14 Ventajas y desventajas de los sistemas de filtros de bolsas

Ventajas

1. Eficiencia muy alta de recolección de partículas gruesas y finas (submicróscopas)
2. Relativamente insensible a las variaciones en la corriente de gas, la eficiencia y la caída de presión casi no se ven afectadas por cambios grandes en la carga de entrada de polvo, para filtros que se limpian continuamente
3. En muchos casos, el aire de salida del filtro se puede recircular a la planta (para conservación de energía)
4. El material recolectado se recupera seco, para su posterior procesamiento o disposición final
5. No se tienen problemas de colocación final del líquido de desecho, la contaminación del agua o la congelación del líquido
6. Por lo general, la corrosión y oxidación de las partes no es problema
7. No hay riesgo de alto voltaje, el mantenimiento y las reparaciones son sencillas y permiten la recolección de polvos inflamables
8. El empleo de ayuda de filtros fibrosos o granulados (precapa) permite una alta eficiencia de recolección de humos y contaminantes gaseosos submicróscopos
9. Se dispone de filtros de bolsas en muchas configuraciones, lo que da por resultado una gran variedad de dimensiones de las bridas de entrada y salida, pero ajustarse a los requerimientos de la instalación
10. Operación relativamente sencilla

Desventajas

1. Las temperaturas que exceden a 248°C (550°F) requieren material refractario especial o telas sintéticas que aún están en etapa de desarrollo y pueden ser costosas
2. Ciertos polvos requieren probablemente ser tratados para reducir la filtración del polvo o, en otros casos, ayudar a la eliminación del polvo recolectado
3. Las concentraciones de algunos polvos en el recolector ($\sim 50 \text{ g/m}^3$) constituyen un riesgo de incendio o explosión si penetran chispas o llamas por accidente, existe la posibilidad de quemar las telas si se recolectan polvos fácilmente oxidables
4. Requerimientos de mantenimiento relativamente altos (reemplazo de las bolsas, etc.)
5. A temperaturas elevadas se puede acortar la vida de la tela, así como en presencia de partículas ácidas o alcalinas y componentes gaseosos
6. Los materiales higroscópicos, la condensación de humedad y los componentes alquitranados adhesivos pueden causar el tapamiento o agrietamiento de la tela, o bien requieren aditivos especiales
7. El reemplazo de las telas puede requerir protección respiratoria para el personal de mantenimiento
8. Requerimientos intermedios de caída de presión, característicos del orden de 6-10 in de columna de agua

cio del proceso. A pesar de que las chimeneas altas pueden reducir la concentración de contaminantes al nivel del terreno, no pueden reducir por sí mismas la cantidad de contaminantes liberados a la atmósfera. Sin embargo, en ciertos casos, su utilización puede ser el método más práctico y económico para tratar un problema de contaminación del aire.

Consideraciones preliminares de diseño Para determinar lo adecuado de una chimenea como medio para deshacerse de los gases de desperdicio, es necesario determinar la concentración aceptable a

TABLA 26-15 Ventajas y desventajas de los sistemas de absorción (columnas de platos y empacadas)

Ventajas

1. Caída de presión relativamente baja
2. Normalización en la construcción a base de plástico reforzado con fibra de vidrio, lo que permite la operación en atmósferas altamente corrosivas
3. Capacidad para lograr eficiencias de transferencia de masa relativamente altas
4. El incremento de la altura y/o el tipo de empaque o el número de platos puede mejorar la transferencia de masa sin necesidad de comprar otro equipo
5. Costo de capital relativamente bajo
6. Requerimiento de espacio relativamente pequeños
7. Capacidad para recolectar partículas y gases

Desventajas

1. Pueden crearse problemas para la colocación final del agua (o del líquido)
2. El producto se necesita calentado
3. La deposición de las partículas puede causar el tapamiento del techo o de las placas
4. Cuando se utiliza la construcción de plástico refrendado con fibra de vidrio, son sensibles a la temperatura
5. Causan de mantenimiento relativamente altos

TABLA 26-16 Comparación de las columnas empacadas y de platos

Columnas empacadas

1. Menor caída de presión
2. Su construcción es más sencilla y económica
3. Preferible para líquidos con alta tendencia a la formación de espuma

Columnas de platos

1. Menos susceptibles al tapamiento
2. Menor peso
3. Menos problemas de ensamblaje
4. Las variaciones de temperatura dan por resultado menor caída

TABLA 26-17 Ventajas y desventajas de los sistemas de adsorción

Ventajas

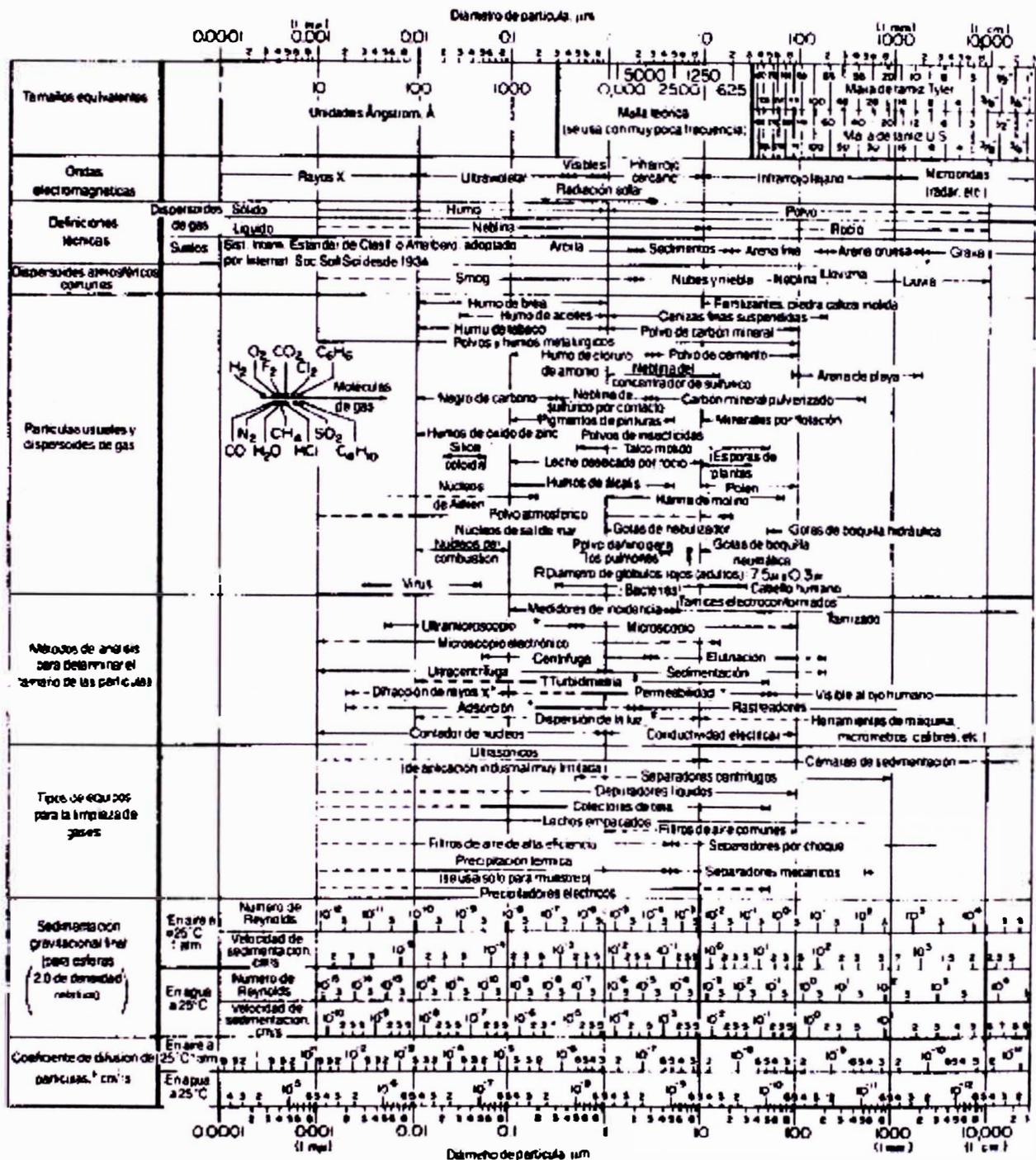
1. Se puede recuperar el producto
2. Magnífico control y respuesta a los cambios del proceso
3. No existe problema de la colocación final del producto químico, cuando el contaminante (producto) se recupera y se devuelve al proceso
4. Capacidad de utilizar sistemas totalmente automáticos y operar sin personal
5. Capacidad de eliminación de los contaminantes gaseosos o en forma de vapor de las corrientes del proceso hasta niveles extremadamente bajos

Desventajas

1. La posible recuperación del producto requiere un sistema de destilación (o extracción) costoso y poco usual
2. Se disminuye progresivamente la capacidad del adsorbente a medida que se incrementa el número de ciclos
3. La regeneración del adsorbente requiere una fuente de vapor o vacío
4. Costo de capital relativamente elevado
5. Puede requerirse el prefiltrado de la corriente gaseosa para eliminar cualquier partícula que pueda taponar el lecho del adsorbente
6. Puede requerirse el enfriamiento de la corriente de gas para llegar al intervalo usual de operación [temperatura de 49°C (120°F)]
7. Requerimientos relativamente elevados de vapor para desorber los hidrocarburos de alto peso molecular

B. CARACTERISTICAS DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL VS. TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Nombre del aparato		Aparato más apropiado para	Contaminantes removibles	Partícula de tamaño óptimo, μm	Límites de la temperatura del gas $^{\circ}\text{F}$	Conc. opt., ppm en peso	Lím. de temp. del gas, K
Clase general	Tipo específico						
Adsorbedores de olores	Lecho poco profundo	↑	Malos olores, gases	(Molecular)	0-100	< 1.9	256-311
Lavadores de aire	Cámara de rocío Celda húmeda			> 20 > 5	40-700 40-700	< 9.5	278-644
Precip. electrost. bajo voltaje	Dos etapas, placa Dos etapas, filtro	Limpieza de aire atmosférico	Hilachas, polvos, pólenes, humo de tabaco	< 1 < 1	0-250 0-180	< 1.9	256-394
Filtros de aire con revestimiento viscoso	Desechable Lavable			> 5 > 5	0-180 0-250	< 3.81 < 3.81	256-356 256-394
Filtros de aire, fibra seca	5-10 μm 2-5 μm	↓	Especiales	> 3 > 0.5	0-180 0-180	< 1.9 < 1.9	256-356 256-356
Filtros absolutos	Papel			< 1	0-180	< 1.9	256-1256
Filtros industriales	Saco de paño Envoltorio de paño	↑	Especiales	> 0.3 > 0.3	0-180 0-180	> 190 > 190	256-356 256-356
Precip. electrost., alto voltaje	Una etapa, placa Una etapa, tubo			< 2 < 2	0-700 0-700	> 190 > 190	256-644 256-644
Colectores inerciales secos	Cámara de sedimentación Cámara de deflectores Cámara despumadora Ciclón Ciclones múltiples De choque Dinámico	Limpieza del gas de chimeneas	Polvos, vapores, humos, neblinas	> 50 > 50 > 20 > 10 > 5 > 10 > 10	0-700 0-700 0-700 0-700 0-700 0-700 0-700	> 9520 > 9520 > 1905 > 1905 > 1905 > 1905 > 1905	256-644 256-644 256-644 256-644 256-644 256-644 256-644
Lavadores	Ciclón De choque Dinámico De niebla De lecho de piedras Multidinámico De Venturi De boquilla sumergida De chorro			> 10 > 5 > 10 < 2 > 5 < 1 < 2 > 2 < 5	40-700 40-700 40-700 40-700 40-700 40-700 40-700 40-700 40-700	> 1905 > 1905 > 1905 > 190 > 190 > 190 > 190 > 190 > 190	256-644 256-644 256-644 256-644 256-644 256-644 256-644 256-644 256-644
Incineradores Posquemadores	Directo Catalítico	↓	Gases, vapores, malos olores	Cualquiera (Molecular)	2000 1000	Combustible Cualquiera	1367 811
Absorbedores de gases	Torre de rocío Columna empacada Celda de fibra			(Molecular) (Molecular) (Molecular)	40-100 40-100 40-100	> 1.9 > 1.9 > 1.9	278-311 278-311 278-311
Absorbedores de gases	Lecho profundo	↓		(Molecular)	0-100	> 1.9	256-311



- * Diámetros moleculares calculados basándose en datos de viscosidad a 0°C
- 1 Indica el diámetro promedio de partícula, pero no la distribución de tamaño
- 2 La distribución de tamaño se puede obtener por calibración especial.
- 3 Se incluye el factor de Stokes-Cunningham en los valores estipulados para el aire pero no para el agua.

FIG. 20-102 Características de las partículas y dispersos de partícula. (Por cortesía del Stanford Research Institute, preparada por C. E. Lapple.)

ANEXO 4: TABLAS PARA SELECCIÓN DE TELAS FILTRANTES

Tela	Temperatura °F ^a	Resistencia al Acido	Resistencia a los Alcalies	Abrasión Flex
Algodón	180	Deficiente	Muy Buena	Muy Buena
Creslan ^c	250	Buena en ácidos minerales	Buena en alcali débil	Buena a Muy Buena
Dacron ^d	275	Buena en la mayoría de los ácidos minerales, se disuelve parcialmente en H ₂ SO ₄ concentrado	Buena en alcali débil, Mediana en alcali fuerte	Muy Buena
Dyne ^b	160	Poco efecto aún en concentración alta	Poco efecto aún en concentración alta	Mediana a Buena
Fiberglas ^f	500	Mediana a Buena	Mediana a Buena	Mediana
Filtron ^e	270	Buena a Excelente	Buena	Buena a Muy Buena
Membrana de	Depende del forro	Depende del forro	Depende del forro	Mediana
Nortex ^g	1400	Muy buena	Buena	Buena
Nomex ^d	375	Mediana	Excelente a temperatura baja	Excelente
Nylon ^d	200	Mediana	Excelente	Excelente
Orlon ^d	260	Buena a Excelente en ácidos minerales	Mediana a Buena en alcalies débiles	Buena
P84 ^h	475	Buena	Buena	Buena
Polipropileno	200	Excelente	Excelente	Excelente
Ryton ⁱ	375	Excelente	Excelente	Buena
Teflón ^d	450	Inerte excepto al fluro	Inerte excepto al trifluoruro, el cloro y los metales alcalinos derretidos	Mediana
Lana	200	Muy buena	Deficiente	Mediana a Buena

^aReferencia [24]

^bTemperaturas máximas de operación continua recomendadas por *Institute of Clean Air Companies*, el Instituto de Compañías de Aire Limpio.

^cMarca Registrada de *American Cyanamid*.

^dMarca registrada de *Du Pont*.

^eNombre comercial de la División *W. W. Criswell* de *Wheelabrator-Fry, Inc.*

^fMarca registrada de *Owens-Corning Fiberglas*.

^gMarca registrada de *3M Company*.

^hMarca registrada de *Inspec Fibres*.

ⁱMarca registrada de *Phillips Petroleum Company*.

Tabla 1.4: Factores para las Relaciones de Gas-a-Tela en Chorro Pulsante^a

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)	Diatómicas	Detergentes
Harna	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 tute	Carbón	Pigmentos	Leche en polvo
	Sal	Fluorpar	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 Táxico	
		de minerales		
		Silíce		
		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 aspersion, hornos, reactores, etc.	0.8

^aReferencia [20]

^bEn general, material físicamente y químicamente estable.

^cTambién incluye aquellos sólidos que son inestables en su estado físico o químico debido a su naturaleza higroscópica, sublimación y/o polimerización.



Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire

Nombre de la Tecnología: Filtro de Tela - Tipo de Limpieza por Chorro Pulsante (Referido como Casa de Bolsas)

Tipo de Tecnología: Dispositivo de Control - Captura/Disposición

Contaminantes Aplicables: Materia Particulada (MP), incluyendo materia particulada de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micras (μm) (MP_{10}), materia particulada de diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 μm ($\text{MP}_{2.5}$) y contaminantes peligrosos del aire (CPA), presentes en forma particulada, tales como la mayoría de los metales (el mercurio es la excepción notable, porque una porción significativa de las emisiones son en forma de vapor elemental).

Limites de Emisión Alcanzables/Reducción:

Las eficiencias típicas de diseño en equipo nuevo están del 99 al 99.9%. Los equipos viejos existentes tienen un rango de eficiencias de operación actuales del 95 al 99.9%. Varios factores determinan la eficiencia de recolección de los filtros de tela. Estos incluyen la velocidad de filtración del gas, las características de las partículas, las características de la tela y el mecanismo de limpieza. En general, la eficiencia de recolección aumenta al incrementar las velocidades de filtración y el tamaño de las partículas.

Para una combinación dada de polvo y de diseño del filtro, la concentración de partículas en el efluente de un filtro de tela es casi constante, mientras que es más probable que la eficiencia total varíe con la carga de sustancias particuladas. Por esta razón, los filtros de tela pueden considerarse dispositivos de concentración de salida constante más bien que dispositivos de eficiencia constante. La concentración constante del efluente se obtiene porque en cualquier momento dado, parte de los filtros de tela están siendo limpiados. Como resultado de los mecanismos de limpieza utilizados en los filtros de tela, su eficiencia de recolección está cambiando constantemente. Cada ciclo de limpieza remueve al menos parte de la plasta de polvo y afloja las partículas que permanecen en el filtro. Cuando se reinicia la filtración, la capacidad de filtrado ha sido disminuida, porque se ha perdido parte de la capa de polvo y las partículas sueltas son forzadas a través del filtro por el flujo del gas. A medida que se capturan más partículas, la eficiencia aumenta hasta el siguiente ciclo de limpieza. Las eficiencias promedio de recolección de los filtros de tela, se determinan usualmente por pruebas que abarcan un número de ciclos de limpieza a carga de entrada constante (EPA, 1998a).

Tipo de Fuente Aplicable: Punto

Aplicaciones Industriales Típicas:

Los filtros de tela pueden funcionar muy efectivamente en muchas aplicaciones diferentes. En la Tabla 1 se presentan las aplicaciones comunes de los sistemas de filtros de tela con limpieza por chorro pulsante; sin embargo, los filtros de tela pueden ser utilizados en casi cualquier proceso donde polvo es generado y pueda ser recolectado y conducido por conductos a una localidad central.

Tabla 1. Aplicaciones Industriales Típicas de los Filtros de Tela Limpiados por Chorro Pulsante (EPA, 1997; EPA, 1998a))

Aplicación	Source Classification Code (SCC) (Código de Clasificación de la Fuente en EE.UU.)
Calderas de Termoeléctricas (Carbón)	1-01-002...003
Calderas Industriales (Carbón, Madera)	1-02-001...003, 1-02-009
Calderas Comerciales/Industriales (Carbón, Madera)	1-03-001...003, 1-03-009
Procesamiento de Metales Ferrosos:	
Producción de Hierro y Acero	3-03-008...009
Fundiciones de Acero	3-04-007,-009
Productos Minerales:	
Manufactura de Cemento	3-05-006...007
Limpieza de Carbón	3-05-010
Explotación y Procesamiento de Piedra	3-05-020
Otros	3-05-003...999
Manufactura de Asfalto	3-05-001...002
Molienda de Grano	3-02-007

Características de la Emisión:

- a. **Flujo de Aire:** Las casas de bolsas se separan en dos grupos, estándar y hechas a la medida, que a su vez se separan en tres subgrupos de baja, mediana y alta capacidad. Las casas de bolsas estándar son unidades construidas de fábrica y que se tienen en existencia. Pueden manejar desde menos de 0.10 a más de 50 metros cúbicos estándares por segundo (m³/s) (de "cientos" a más de 100,000 pies cúbicos estándares por minuto (scfm)). Las casas de bolsas hechas a la medida son diseñadas para aplicaciones específicas y se construyen de acuerdo a las especificaciones establecidas por el cliente. Estas unidades son generalmente mucho más grandes que las unidades estándar, por ejemplo, desde 50 hasta más de 500 m³/s (de 100,000 a más de 1,000,000 scfm) (EPA, 1998b).
- b. **Temperatura:** Típicamente, pueden manejarse adecuadamente en forma rutinaria temperaturas de gases hasta cerca de aproximadamente 260 °C (500 °F), con picos hasta cerca de aproximadamente 290 °C (550 °F), con tela del material apropiado. Se pueden utilizar enfriadores por aspersion o dilución con aire para bajar la temperatura de la corriente del contaminante. Esto evita que se excedan los límites de temperatura de la tela. Al bajar la temperatura, sin embargo, aumenta la humedad de la corriente del contaminante. Por lo tanto, la temperatura mínima de la corriente del contaminante debe permanecer por encima del punto de rocío de cualquier condensable en la corriente. La casa de bolsas y los conductos asociados a ella, deben aislarse y posiblemente calentarse, si pudiera presentarse condensación (EPA, 1998b).

- c. **Carga de Contaminantes:** Las concentraciones típicas de entrada a las casas de bolsas son de 1 a 23 gramos por metro cúbico (g/m^3) (0.5 a 10 granos por pie cúbico (gr/ft^3), pero en casos extremos, las condiciones de entrada pueden variar entre 0.1 a más de 230 g/m^3 (de 0.05 a más de 100 gr/ft^3) (EPA, 1998b).
- d. **Otras Consideraciones:** El contenido de humedad y de corrosivos son las características principales de la corriente gaseosa que requieren consideraciones de diseño. Los filtros de tela estándar se pueden usar a presión o al vacío, pero solamente dentro del rango de aproximadamente ± 640 mm de columna de agua (25 pulgadas de columna de agua). Se ha demostrado que las casas de bolsas bien diseñadas y operadas son capaces de reducir las emisiones totales de partículas a menos de 0.05 g/m^3 (0.010 gr/ft^3), y en un número de casos, tan bajo como de 0.002 a 0.011 g/m^3 (de 0.001 a 0.005 gr/ft^3) (AWMA, 1992).

Requisitos de Pre-tratamiento de las Emisiones:

Debido a la amplia variedad de tipos de filtros disponibles al diseñador, usualmente no se requiere dar tratamiento previo a la temperatura de entrada de la corriente del contaminante. Sin embargo, en algunas aplicaciones a altas temperaturas, el costo de las bolsas resistentes a las altas temperaturas debe de ponderarse contra el costo de bajar la temperatura de entrada con enfriadores por aspersion o con dilución con aire (EPA, 1998b). Cuando gran parte de la carga del contaminante consiste de partículas relativamente grandes, se pueden utilizar recolectores mecánicos tales como ciclones, para reducir la carga sobre el filtro de tela, especialmente a altas concentraciones de entrada (EPA, 1998b).

Información de Costos:

A continuación se presentan estimaciones de costos para filtros de tela con limpieza por chorro pulsante. Estos costos están expresados en dólares de 2002. Para las estimaciones de costos, se supone un diseño convencional bajo condiciones típicas de operación y no incluyen equipo auxiliar, tal como ventiladores y conductos. Los costos de los sistemas limpiados con chorro pulsante, son elaborados utilizando hojas de cálculo de la EPA para estimación de costos de filtros de tela (EPA, 1998b).

Los costos están dictados por la proporción de flujo volumétrico de la corriente del contaminante y por la carga del contaminantes. En general, una unidad pequeña controlando una carga baja de contaminante, no será tan efectiva en costo como una unidad grande controlando una carga alta de contaminante. Los costos presentados son para proporciones de flujo de 470 m^3/s (1,000,000 *scfm*) y 1.0 m^3/s (3,000 *scfm*), respectivamente y para una carga del contaminante de 9 g/m^3 (4.0 *gr/ft}^3*).

Los contaminantes que requieren un nivel de control inusualmente alto o que requieren que las bolsas de tela o la unidad en sí, sean construidas de materiales especiales tales como Gore-Tex o acero inoxidable, incrementarán los costos del sistema (EPA, 1998b). Los costos adicionales para controlar corrientes sucias más complejas no están reflejados en las estimaciones dadas más abajo. Para estos tipos de sistemas, el costo de capital se incrementará hasta en 75% y el costo de operación y mantenimiento (O y M), se incrementará hasta en 20%.

- a. **Costo de Capital:** \$13,000 a \$55,000 por m^3/s (\$6 a \$26 por *scfm*)
- b. **Costo de O y M:** \$11,000 a \$50,000 por m^3/s (\$5 a \$24 por *scfm*), anualmente.
- c. **Costo Anualizado:** \$13,000 a \$83,000 por m^3/s (\$6 a \$39 por *scfm*), anualmente.
- d. **Eficiencia de Costos:** \$46 a \$293 por tonelada métrica (\$42 a \$266 por ton. corta).

Teoría de Operación:

En un filtro de tela, el gas residual se pasa por una tela de tejido apretado o de fieltro, causando que la materia particulada en el gas sea recolectada en la tela por tamizado y por otros mecanismos. Los filtros de tela pueden ser en forma de hojas, cartuchos, o bolsas, con un número de unidades individuales de filtros de tela encasilladas en grupo. Las bolsas son el tipo más común de filtro de tela. La plasta de polvo de la materia particulada recolectada que se forma sobre el filtro puede aumentar la eficiencia de recolección significativamente. A los filtros de tela frecuentemente se les conoce como casas de bolsas porque la tela está configurada por lo general en bolsas cilíndricas. Las bolsas pueden ser de 6 a 9 m de largo (20 a 30 pies) y de 12.7 a 30.5 cm (5 a 12 pulgadas) de diámetro. Se colocan grupos de bolsas en compartimientos aislables para permitir la limpieza de las bolsas o el reemplazo de algunas de ellas sin tener que parar todo el filtro de tela (*STAPPA/ALAPCO*, 1996).

Las condiciones de operación son factores importantes para la selección de la tela. Algunas telas (por ejemplo, poliolefinas, de nylon, acrílicos, poliésteres), son útiles solamente a temperaturas relativamente bajas, de 95 a 150 °C (200 a 300°F). Para corrientes de gas residual sucio a altas temperaturas, deben utilizarse telas más estables térmicamente, tales como la fibra de vidrio, el Teflón o el Nomex (*STAPPA/ALAPCO*, 1996).

La aplicación práctica de los filtros de tela requiere el uso de una gran superficie de tela para evitar una inaceptable caída de presión a través de la tela. El tamaño de la casa de bolsas para una unidad en particular se determina por la selección de la relación de aire-a-tela, o la relación de flujo volumétrico de aire a superficie del tejido. La selección de la relación aire-a-tela depende de la carga y características de la materia particulada y del método de limpieza utilizado. Una carga alta de partículas requerirá el uso de una casa de bolsas más grande para evitar la formación de una capa de polvo muy pesada, lo que resultaría en una caída de presión excesiva. Por ejemplo, una casa de bolsa para una caldera de termoeléctrica de 250 MW puede tener 5,000 bolsas individuales, con una superficie total de tela cercana a los 46,500 m² (500,000 pies cuadrados) (*ICAC*, 1999).

El funcionamiento de las casas de bolsas está determinado entre otros factores, por la tela seleccionada, la frecuencia y el método de limpieza y las características de las partículas. Pueden seleccionarse telas para que intercepten una fracción mayor de particulados y algunas telas están recubiertas por una membrana con aperturas muy finas para mejorar la remoción de partículas sub-micrométricas. Estas telas suelen ser más caras.

La limpieza de los filtros de tela con chorro de aire pulsante es relativamente nueva en comparación a otros tipos de filtros de tela, puesto que apenas ha sido utilizada en los últimos 30 años. Este mecanismo de limpieza ha ido ganando popularidad consistentemente, debido a que puede tratar cargas altas de polvo, opera con una caída de presión constante y ocupa menos espacio que otros tipos de filtros de tela. Los filtros de tela limpiados por chorro pulsante sólo pueden operar como dispositivos para la recolección de las capas externas de la plasta de polvo. Las bolsas están cerradas por el fondo, abiertas en la parte superior y reforzadas por retenedores internos, llamados jaulas. El gas cargado de partículas fluye al interior de la bolsa, utilizándose ocasionalmente difusores para evitar que las partículas más grandes dañen las bolsas. El gas fluye desde afuera hacia adentro de las bolsas y de ahí hacia la salida del gas. Las partículas se recolectan en el exterior de las bolsas y caen hacia una tolva debajo del filtro de tela. (*EPA*, 1998a).

Durante la limpieza por chorro pulsante, un pulso corto, de 0.03 a 0.1 segundos de duración, de aire a alta presión [415 a 830 kilo-Pascales (kPa) (60 a 120 libras por pulgada cuadrada manométrica (psig))], se inyecta dentro de las bolsas (*EPA*, 1998a, *AWMA*, 1992). El pulso se sopla a través de una boquilla venturi en la parte superior de las bolsas y establece una onda de choque que continúa hacia el fondo de la bolsa. La onda dobla la tela, separándola de la jaula y después la junta, desalojando la plasta de polvo. El ciclo

de limpieza es regulado por un *timer* (instrumento de tiempo usado para regular) remoto conectado a una válvula selenoide. El pulso de aire es controlado por la válvula selenoide y se descarga a través de tubos de viento equipados con boquillas colocadas por encima de las bolsas. Por lo general, las bolsas se limpian hilera por hilera (EPA, 1998a).

La limpieza por chorro pulsante tiene varios atributos que le son únicos. Debido a que el pulso de limpieza es breve, no se necesita suspender el flujo del gas empolvado durante la limpieza. Las otras bolsas continúan filtrando, recibiendo una carga extra, debido a los filtros que se están limpiando. En general, la caída de presión o el comportamiento de los filtros de tela no cambia como consecuencia de la limpieza por chorro pulsante. Esto permite que el equipo sea operado en forma continua, siendo las válvulas selenoides las únicas partes móviles importantes. La limpieza por chorro pulsante es también más intensa y ocurre con mayor frecuencia que los otros métodos de limpieza de filtros de tela. Esta limpieza intensa, desprende casi toda la plasta de polvo cada vez que la bolsa es pulsada. Como resultado, los filtros con limpieza por chorro pulsante no dependen de la capa de polvo para realizar la filtración. Las telas de fieltro (no tejidas) son utilizadas en los filtros con limpieza por chorro pulsante porque no requieren de una plasta de polvo para alcanzar altas eficiencias de recolección. Se ha encontrado que las telas tejidas que se utilizan en los filtros de tela con chorro pulsante, escapan mucho polvo después de limpiarlas (EPA, 1998a)

Puesto que las bolsas limpiadas por el método de chorro pulsante no necesitan aislarse para limpiarse, los filtros de tela limpiados por chorro pulsante no necesitan compartimientos adicionales para mantener una adecuada filtración durante la limpieza. Además, debido a la naturaleza intensa y frecuente de la limpieza, pueden tratar proporción de flujos más altos de gas, con mayores cargas de polvo. Consecuentemente, los filtros de tela limpiados por el método de chorro pulsante, pueden ser de menor tamaño que otros tipos de filtros de tela, para el tratamiento de la misma cantidad de gas y polvo, haciendo logrables proporciones mas altas de gas-a-tela (EPA, 1998a).

Ventajas:

En general, los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de filtración tanto para materia particulada gruesa como la de tamaño fino (sub-micras). Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. En los filtros con limpieza continua, la eficiencia y la caída de presión son relativamente invariables por grandes cambios en la carga de entrada de polvo. El aire de salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado a la planta (para la conservación de energía). El material recolectado se recolecta seco para su procesamiento o disposición subsecuentes. Normalmente, no son problemas la corrosión ni la oxidación de sus componentes. Su operación es relativamente simple. A diferencia de los precipitadores electrostáticos, los sistemas de filtros de tela no requieren del uso de alto voltaje, por lo tanto, el mantenimiento se simplifica, y puede ser recolectado el polvo inflamable con el cuidado apropiado. El uso de ayudas selectas de filtración fibrosas o granuladas (preimpregnadas), permite la recolección con alta eficiencia de contaminantes gaseosos y humos de tamaños menores de una micra.

Los recolectores están disponibles en un gran número de configuraciones, resultando en un rango de dimensiones y de localizaciones de las bridas de acoplamiento de entrada y salida, para cumplir con los requisitos de instalación (AWMA, 1992).

Desventajas:

Para temperaturas muy por encima de los 290 °C (550 °F) se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario especial, las cuales pueden ser caras. Para ciertos tipos de polvo se pueden requerir telas tratadas para reducir la percolación de los polvos o, en otros casos, para facilitar la remoción de los polvos recolectados. Las concentraciones de algunos polvos en el colector, aproximadamente 50 g/m³ (22 gr/ft³), pueden representar un peligro de fuego o explosión, si se produce una llama o una chispa accidentalmente. Las telas pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. Los filtros de tela tienen requerimientos

altos de mantenimiento (por ejemplo, reemplazo periódico de las bolsas). La vida de la tela puede ser acortada a temperaturas elevadas y en presencia de constituyentes gaseosos o particulados ácidos o alcalinos. No pueden ser operados en ambientes húmedos; los materiales higroscópicos, la condensación de humedad o los materiales adhesivos espesos pueden causar costras o tapar la tela o requerir aditivos especiales. Se pudiera requerir protección respiratoria para el personal de mantenimiento al reemplazar la tela. Se requiere una caída de presión mediana, típicamente en el rango de 100 a 250 mm de columna de agua (4 a 10 pulgadas de columna de agua) (AWMA, 1992).

Una desventaja específica de las unidades con chorro pulsante que utilizan velocidades muy altas del gas, es que el polvo de las bolsas limpiadas puede ser arrastrado inmediatamente hacia las otras bolsas. Si esto ocurre, solamente un poco del polvo cae en la tolva y la plasta de polvo sobre las bolsas se vuelve muy gruesa. Para prevenir esto, los filtros de tela con chorro pulsante pueden ser diseñados con compartimientos separados que se puedan aislar para ser limpiados. (EPA, 1998a).

Otras Consideraciones:

Los filtros de tela son útiles para recolectar partículas con resistividades ya sea demasiado bajas o demasiado altas como para ser recolectadas con precipitadores electrostáticos. Por lo tanto, los filtros de tela pueden ser buenos candidatos para recolectar las ceniza volante de los carbones bajos en azufre o las ceniza volante que contengan niveles altos de carbón sin quemar, las cuales tienen alta y baja resistividad respectivamente y son por lo tanto, relativamente difíciles de recolectar con precipitadores electrostáticos (STAPPA/ALAPCO, 1996)

Referencias:

AWMA, 1992. *Air & Waste Management Association, Air Pollution Engineering Manual, Van Nostrand Reinhold, New York.*

EPA, 1997. *U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I, Fifth Edition, Research Triangle Park, NC., October.*

EPA, 1998a. *U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter," EPA-452/R-97-001, Research Triangle Park, NC., October.*

EPA, 1998b. *U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, "OAQPS Control Cost Manual," Fifth Edition, Chapter 5, EPA 453/B-96-001, Research Triangle Park, NC. December.*

ICAC, 1999. *Institute of Clean Air Companies internet web page www.icac.com, Control Technology Information - Fabric Filters, page last updated January 11, 1999.*

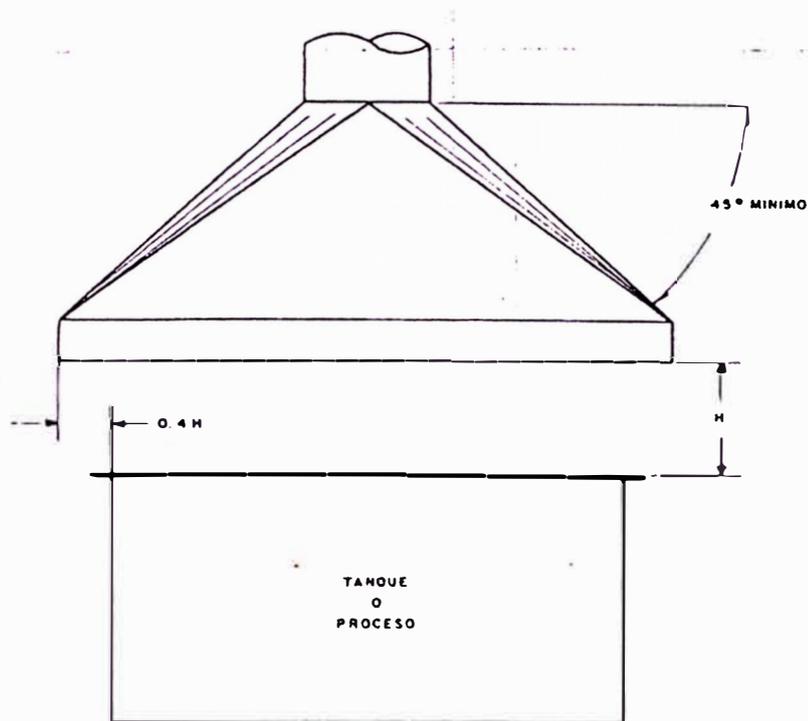
STAPPA/ALAPCO, 1996. *State and Territorial Air Pollution Program Administrators and Association of Local Air Pollution Control Officials, "Controlling Particulate Matter Under the Clean Air Act: A Menu of Options," July.*

Forma de Limpieza	Diámetro de Bolsa (pulgadas)	Tipo de Material									
		PE	PP	NO	HA	FG	CO	TF	P8	RT	NX
Chorro Pulsante. TR ^b	4-1/2 to 5-1/8	0.75	0.81	2.17	1.24	1.92	NA	12.21	4.06	2.87	20.66
	6 to 8	0.67	0.72	1.95	1.15	1.60	NA	9.70	3.85	2.62	NA
Chorro Pulsante. BBR	4-1/2 to 5-1/8	0.53	0.53	1.84	0.95	1.69	NA	12.92	3.60	2.42	16.67
	6 to 8	0.50	0.60	1.77	0.98	1.55	NA	9.00	3.51	2.30	NA
Chorro Pulsante. Cartucho	4-7/8	2.95	NA	6.12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	6-1/8	1.53	NA	4.67	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Agitación. <i>Strap top</i>	5	0.63	0.88	1.61	1.03	NA	0.7	NA	NA	NA	NA
Agitación. <i>Loop top</i>	5	0.61	1.01	1.53	1.04	NA	0.59	NA	NA	NA	NA
Aire a la Reversa con anillos	8	0.63	1.52	1.35	NA	1.14	NA	NA	NA	NA	NA
	11-1/2	0.62	NA	1.43	NA	1.01	NA	NA	NA	NA	NA
Aire a la Reversa sin anillos	8	0.44	NA	1.39	NA	0.95	NA	NA	NA	NA	NA
	11-1/2	0.44	NA	1.17	NA	0.75	NA	NA	NA	NA	NA

NA = No aplicable.

ANEXO 5: INFORMACIÓN PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN

A. CAMPANAS DE CAPTACIÓN [18]



NO DEBE USARSE CON MATERIALES TOXICOS NI CUANDO EL TRABAJADOR SE DEBE INCLINAR SOBRE EL TANQUE O PROCESO

SE REQUIEREN CORTINAS LATERALES CUANDO SE PRESENTEN CORRIENTES DE AIRE CRUZADAS

$Q = 1.4 P HV$ PARA CAMPANAS ABIERTAS SUSPENDIDAS
P = PERIMETRO DEL TANQUE EN PIES
V = 60 - 500 fpm

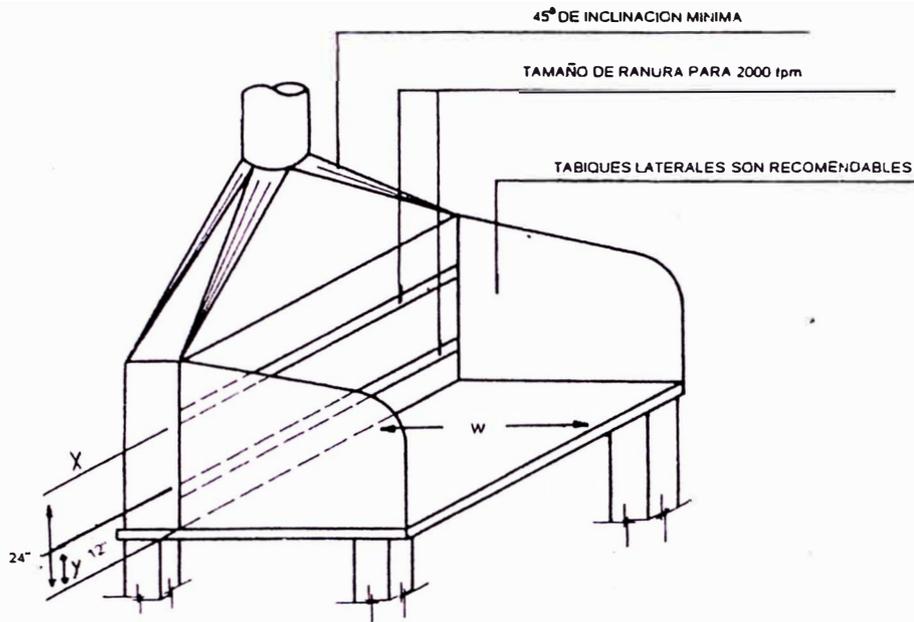
$Q = (W + L) HV$ PARA DOS CARAS CERRADAS
W Y L LADOS DE LA CAMPANA

$Q = \frac{WHV}{LHV}$ PARA TRES LADOS CERRADOS (CABINA)
V = 60 - 500 fpm

PERDIDAS A LA ENTRADA = 0.25 PV EN EL DUCTO

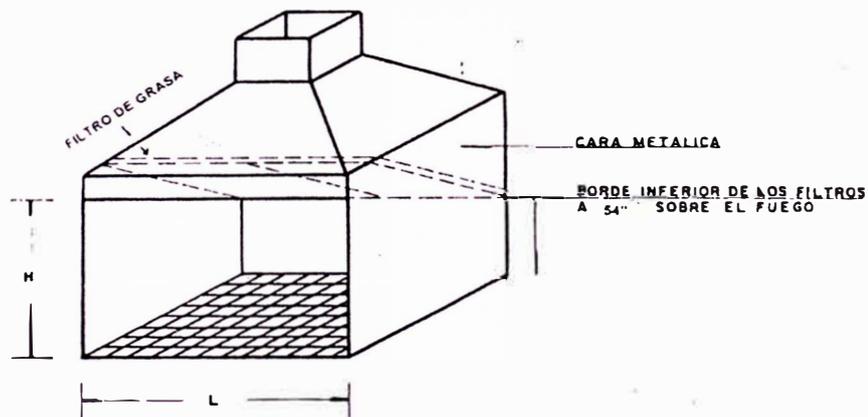
VELOCIDAD EN EL DUCTO = 1000 - 3000 fpm

FIGURA 2.16 CAMPANA PARA PUESTO DE SOLDADURA



VELOCIDAD MAXIMA EN EL PLENUM IGUAL
A LA MITAD DE LA VELOCIDAD EN LA RANURA

FIGURA 2.13 HORNO DE CARBON



$$Q = 100 LH$$

VELOCIDAD EN EL DUCTO : 1000 - 3000 fpm

PERDIDA A LA ENTRADA : (RESISTENCIA DEL FILTRO + 0.1^{1/2}) + 0.5pv (SALIDA RECTANGULAR)

PERDIDA A LA ENTRADA : (RESISTENCIA DEL FILTRO + 0.1^{1/2}) + 0.25pv (SALIDA CONICA)

B. VALORES RECOMENDADOS PARA VELOCIDAD DE CAPTURA Y VELOCIDAD DE TRANSPORTE EN CONDUCTOS

**TABLA 2.1.
VALORES RECOMENDADOS PARA LA VELOCIDAD DE CAPTURA**

Condiciones de dispersión del contaminante	Ejemplo	Velocidad captura (fpm)
Liberación con velocidad prácticamente nula en el aire quieto	Evaporación de tanques; desengrase etc.	50–100
Liberación a baja velocidad en aire en movimiento moderado	Soldadura, baños electrolíticos, decapado.	100–200
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire	Aplicación de pintura a pistola, llenado de recipiente, transportadores, trituración	200–500
Liberación con alta velocidad inicial en una zona de movimiento de aire muy rápido	Pulido, operaciones de abrasión en general. Esmerilado, chorro abrasivo.	500–2000

* Se adoptan valores en la zona inferior o superior de cada intervalo según los siguientes criterios:

Inferior

1. Pocas corrientes de aire en el local
2. Contaminantes de baja toxicidad
3. Operaciones intermitentes
4. Campanas grandes y caudales elevados

Superior

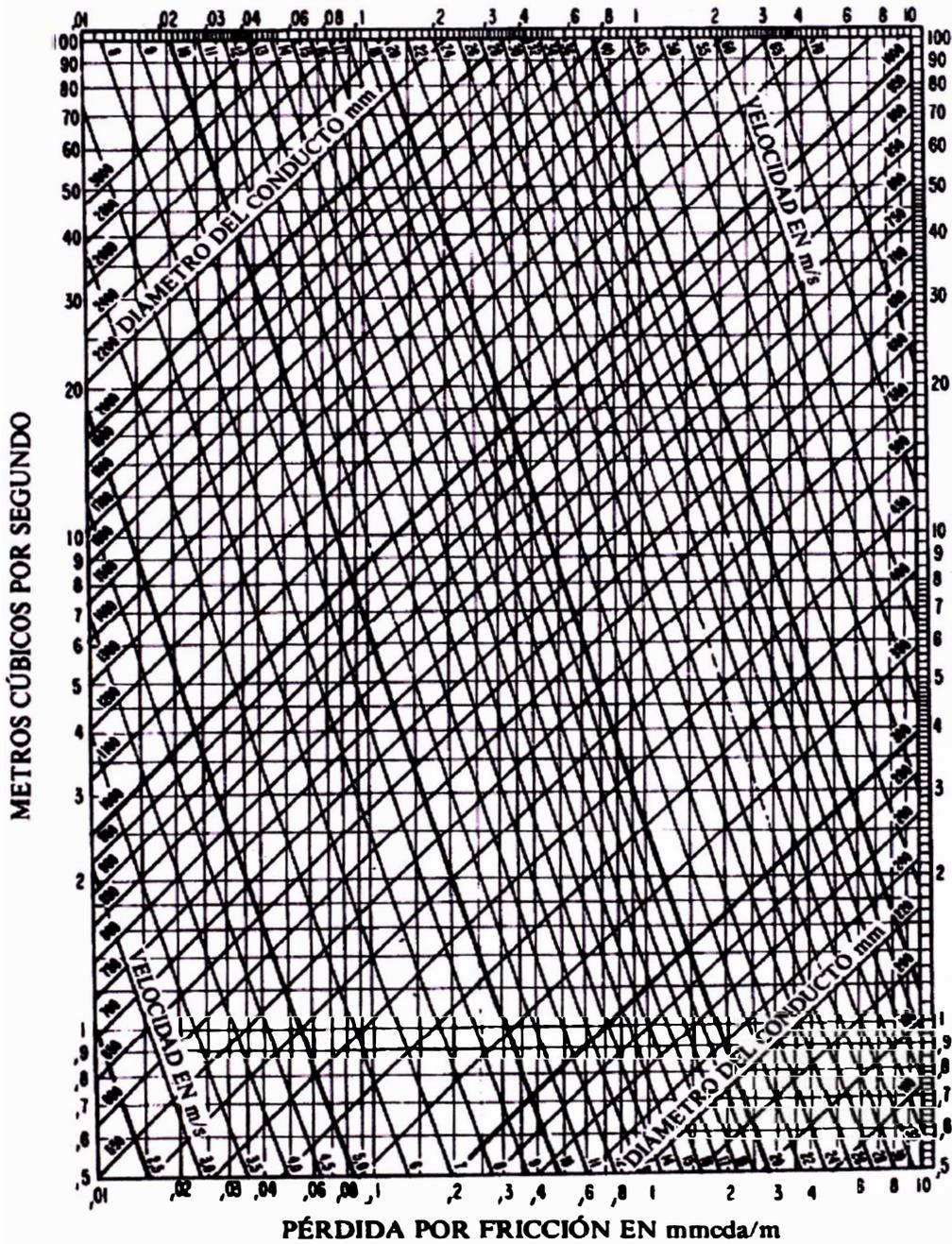
1. Corrientes turbulentas en el local.
2. Contaminantes de alta toxicidad
3. Operaciones continuas
4. Campanas de pequeño tamaño

TABLA 3.1. RANGO DE VELOCIDADES DE DISEÑO

Naturaleza de Contaminantes	Ejemplo	Velocidad de Diseño fpm.
Vapores, gases y neblinas	Todos los vapores, gases y neblinas	1000 – 1200
Humos	Humos de oxidos de zinc y aluminio	1400 – 2000
Polvo volátil muy fino	Pelusa de algodón, polvillo de madera, polvo de litio	2000 – 2500
Polvo seco y material pulverizado o triturado	Polvo fino de caucho, polvo de moldeado de baquelita, hilaza, polvo de algodón, virutas, polvo de jabón, desbastada de cuero.	2500 – 3000
Polvo promedio industrial	Aserrín (pesado y húmedo), polvo de esmerilado, polvo de pulidoras, polvo de lana, grano de café, polvo de suela, polvo de granito. Polvillo de sílice, material suspendido en general, corte de ladrillo, polvo arcilloso, polvo de piedra caliza, fibras de asbesto, fundición general.	3500 – 4000
Polvo pesado	Torneado de metales, tambores de limpieza de material fundido y desmoldado de este, tamizado de arena, desperdicios animales, torneado de latón, polvo de perforación de hierro fundido, polvo de plomo.	4000 – 4500
Polvo y mezclas pesadas	Polvo de plomo con pequeñas partículas, traslado de fibras de asbesto hacia las máquinas, partículas de pulido con felpa (pegajosas, viscosas), polvo de cal viva.	4500 y más

C. PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN CONDUCTOS [18]

PÉRDIDA POR FRICCIÓN EN mmcsda / m



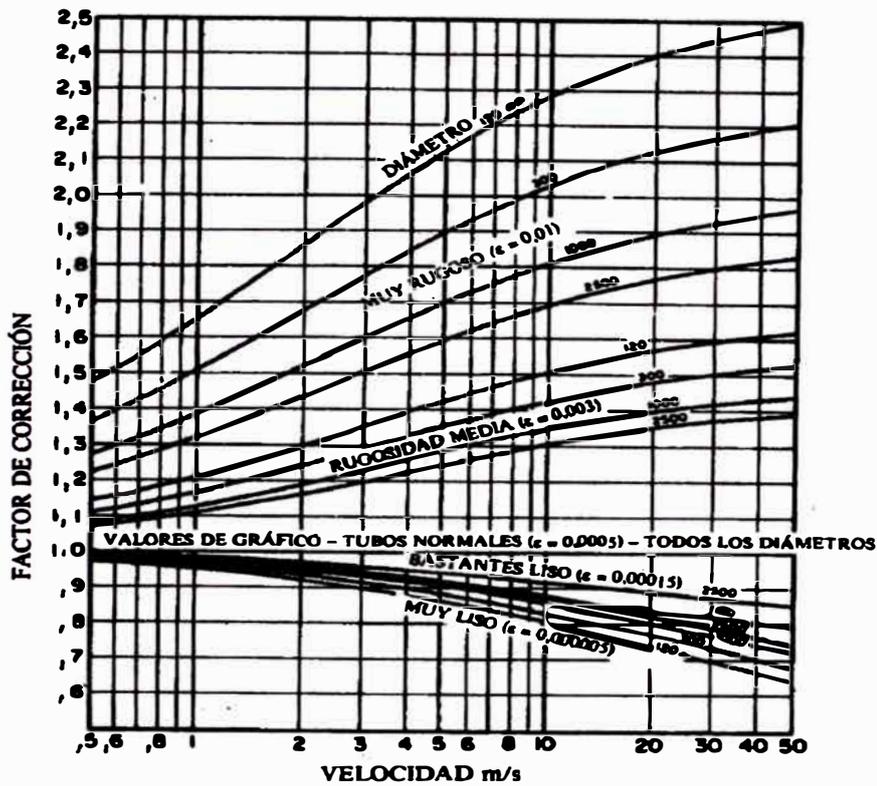


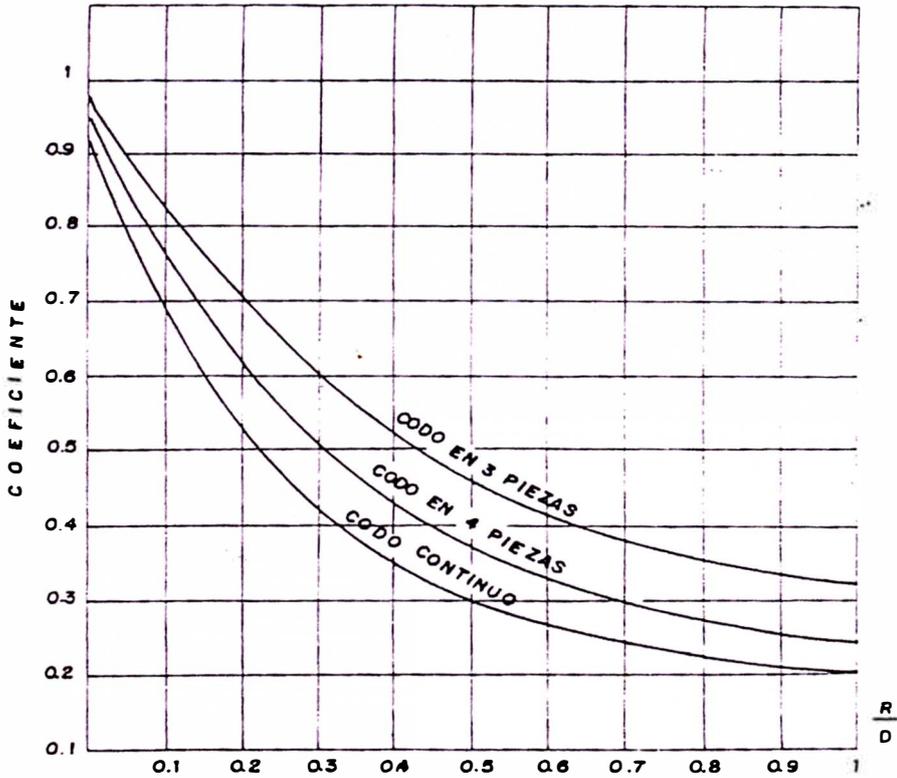
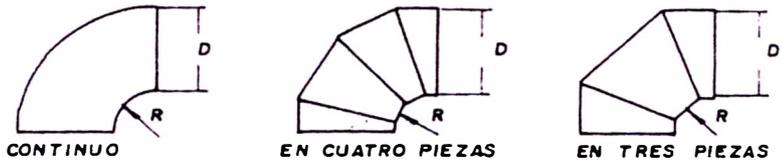
TABLA 3.2
FACTOR DE CORRECCION PARA LA DENSIDAD DEL AIRE, ρ

Altura Pies		-1000	Nivel del Mar	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10 000
Barometro	"Hg	31.02	29.92	28.86	27.82	26.82	26.84	24.90	23.98	23.09	22.22	21.39	20.58
	"Wg	422.2	407.5	392.8	378.6	365.0	351.7	338.9	326.4	314.3	302.1	291.1	280.1
Temp. Aire °F	-40	1.31	1.26	1.22	1.17	1.13	1.09	1.05	1.01	0.97	0.93	0.90	0.87
	0	1.19	1.15	1.11	1.07	1.03	0.99	0.95	0.91	0.89	0.85	0.82	0.79
	40	1.10	1.06	1.02	0.99	0.95	0.92	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73
	70	1.04	1.00	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69
	100	0.98	0.95	0.92	0.88	0.85	0.81	0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65
	160	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72	0.69	0.67	0.65	0.62	0.60
	200	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.68	0.66	0.64	0.62	0.60	0.57	0.55
	260	0.77	0.75	0.72	0.70	0.67	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.51
	300	0.72	0.70	0.67	0.65	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48
	350	0.68	0.66	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.49	0.47	0.45
	400	0.64	0.62	0.60	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.46	0.44	0.42
	450	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.42	0.40
	500	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.43	0.41	0.39	0.38
560	0.54	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38	0.36	
600	0.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.41	0.40	0.39	0.37	0.35	0.34	
700	0.47	0.46	0.44	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	
800	0.44	0.42	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	
900	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	
1000	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	

Densidad del aire normal nivel del mar 70°F = 0.075 Libras

TABLA 3.7 PERDIDA DE CARGA PRODUCIDA EN CODOS DE SECCION CIRCULAR

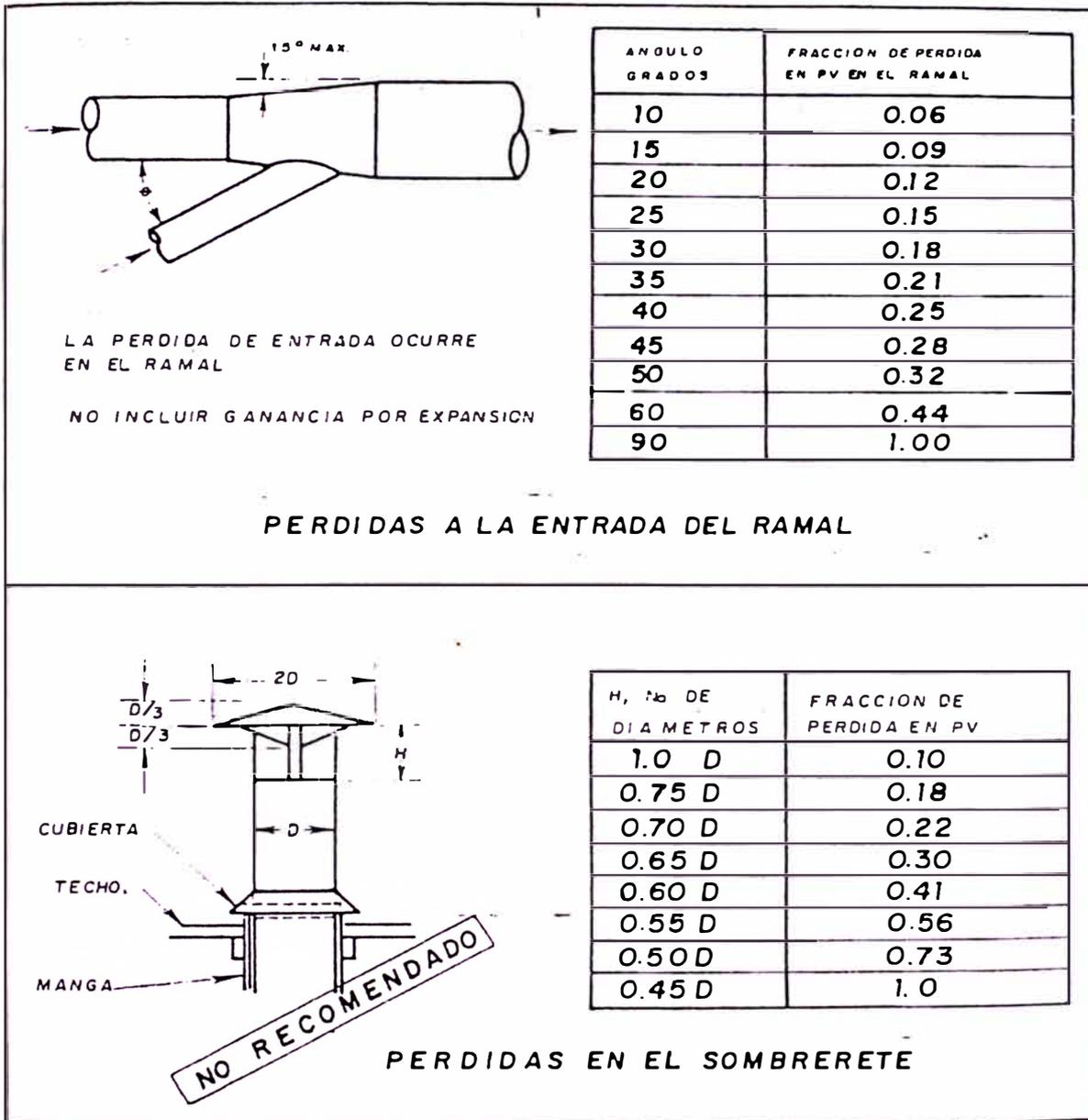
COEFICIENTES n DE PERDIDA DE CARGA REFERIDOS A LA VELOCIDAD DEL AIRE EN D



FACTORES CORRECTIVOS PARA MULTIPLICAR LOS COEFICIENTES DEL GRAFICO ANTERIOR PARA EL CASO DE ANGULOS DIFERENTES DE 90°

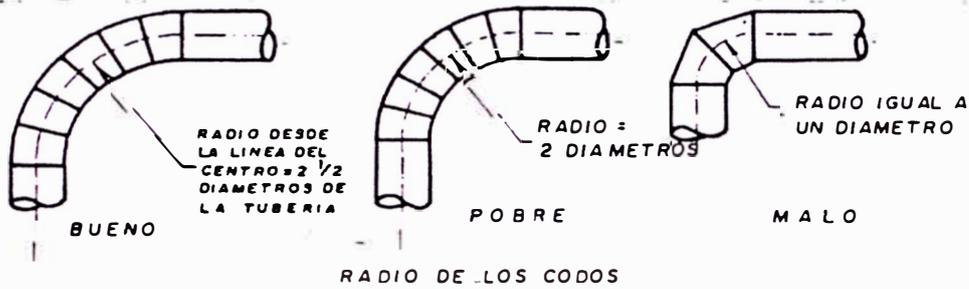
ANGULO	0	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
FACTOR CORRECT	0	0.20	0.38	0.50	0.62	0.73	0.81	0.89	0.95	1	1.04	1.09	1.12

FIGURA 3.14

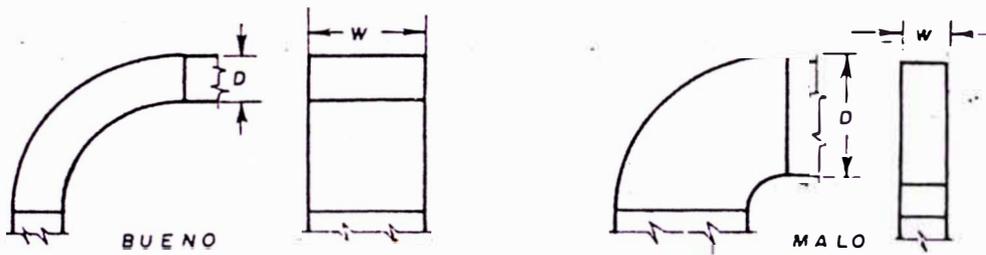


D. PRINCIPIOS DE DISEÑO DE DUCTOS [18]

FIGURA 3.17 PRINCIPIOS DE DISEÑO DE DUCTO

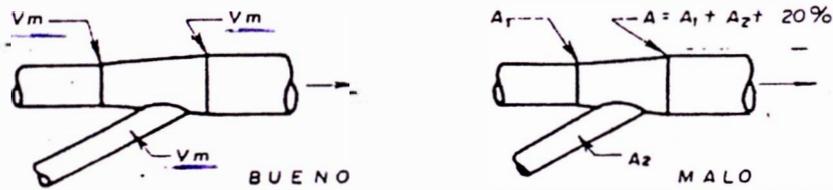


LOS CODOS DEBEN TENER UN RADIO DESDE LA LINEA DEL CENTRO IGUAL A 2 O 2.5 VECES EL DIAMETRO



RELACION DE LAS CARAS PARA DUCTOS RECTANGULARES

SE DEBE MANTENER ALTA LA RELACION $\frac{w}{D}$ CUANDO SE USA TUBERIA RECTANGULAR

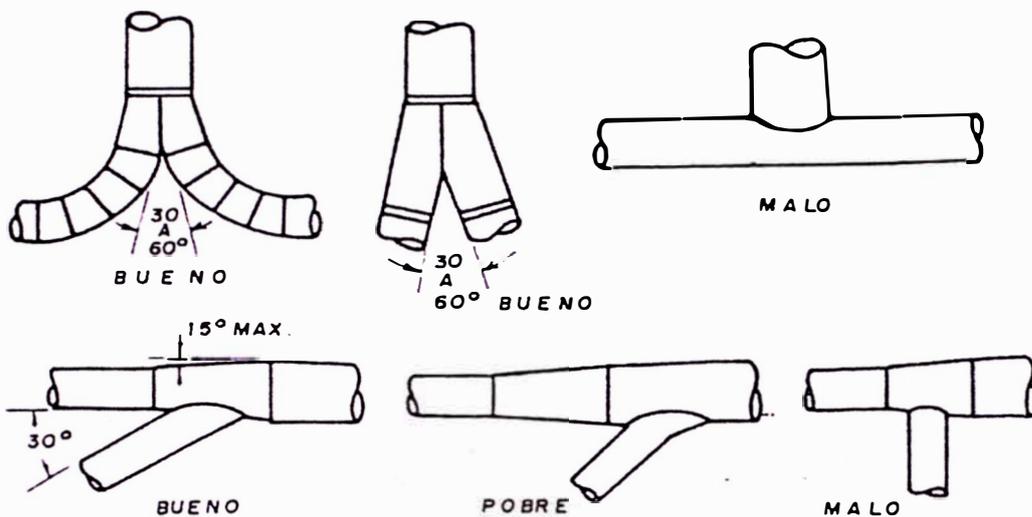


TAMAÑO APROPIADO DEL DUCTO

CALCULESE EL DIAMETRO DEL DUCTO PARA QUE PROPORCIONE LA VELOCIDAD DE TRANSPORTE SELECCIONADA O MAYOR QUE ESTA

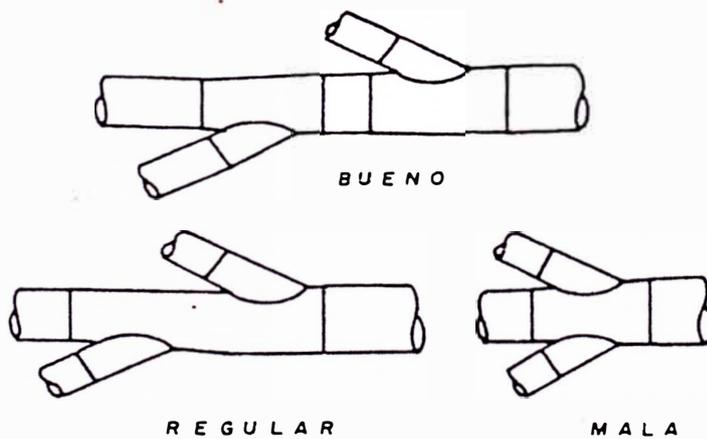
Vm: velocidad mínima de transporte

FIGURA 3.18 PRINCIPIOS DE DISEÑO DE DUCTOS



ENTRADA DE RAMALES

LOS RAMALES DEBEN ENTRAR EN LAS EXPANSIONES EN UN ANGULO DE 80° O MENOS PREFERIBLEMENTE. EN CASO NECESARIO, SE PUEDEN ACEPTAR ANGULOS HASTA DE 40°



LOS RAMALES NO DEBEN ENTRAR DIRECTAMENTE OPUESTOS EL UNO AL OTRO

E. CURVAS CARACTERISTICAS DE VENTILADORES [18]

FIGURA 6.12

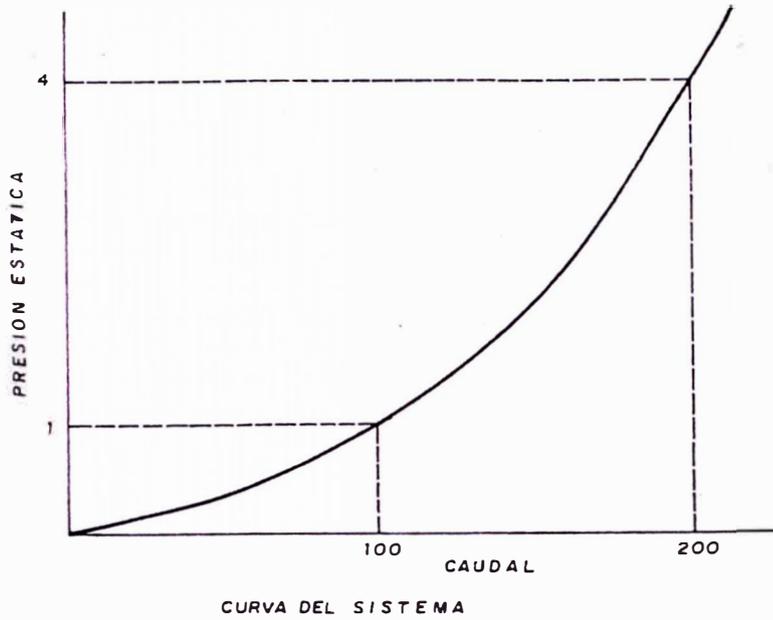
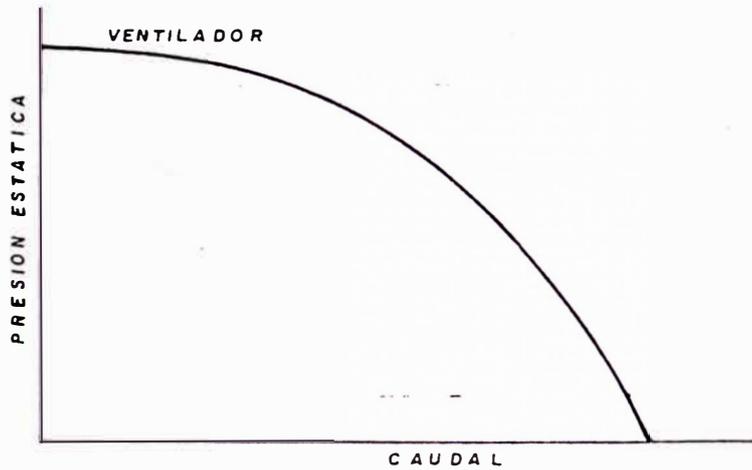


FIGURA 6.13 CURVA DEL VENTILADOR



Se pueden generar curvas adicionales girando el ventilador a diferentes RPM. Así se puede obtener una familia de curvas para cualquier ventilador. También se pueden medir otros parámetros y graficarse, por ejemplo, potencia consumida (HP), eficiencia, niveles de ruido, etc. Generalmente lo que interesa es el rango de operación más eficiente de la curva.

FIGURA 6.14A PUNTO DE OPERACION

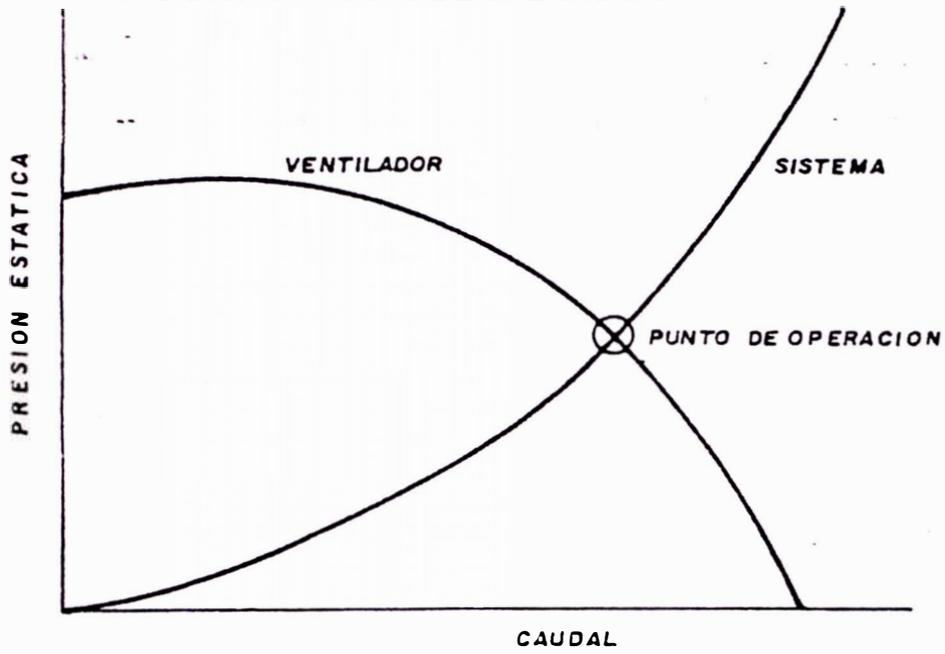


FIGURA 6.14B CAMBIO DE REVOLUCIONES CON SISTEMA CONSTANTE

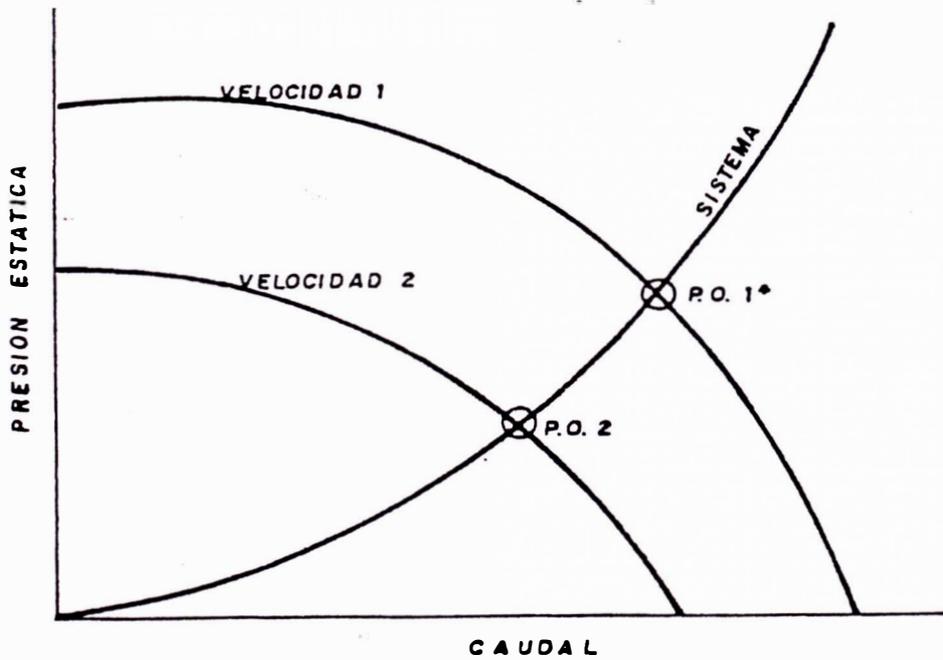
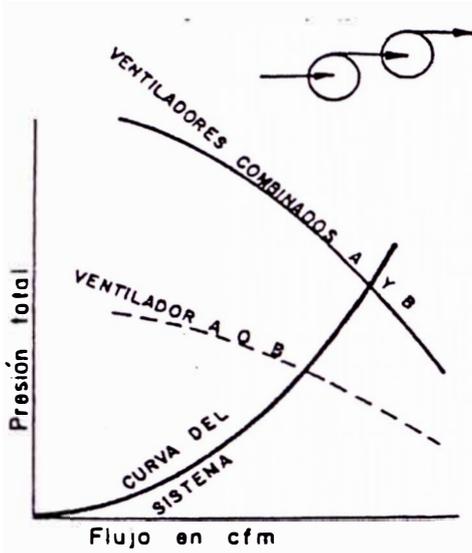
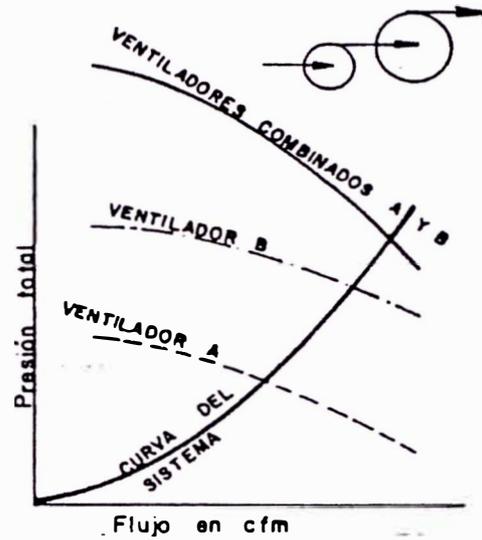


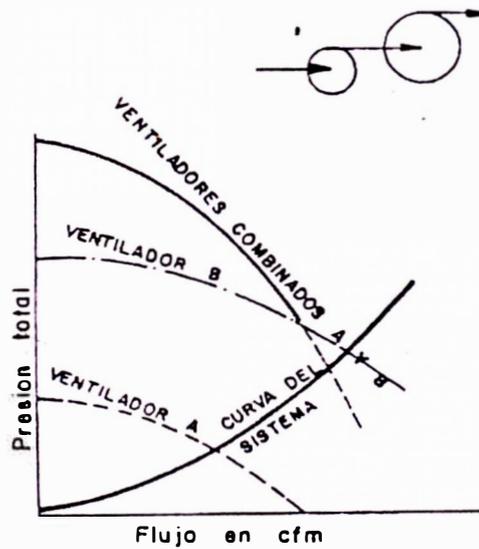
FIGURA 6.15 VENTILADORES EN SERIE



Dos ventiladores idénticos recomendados para obtener una mayor eficiencia



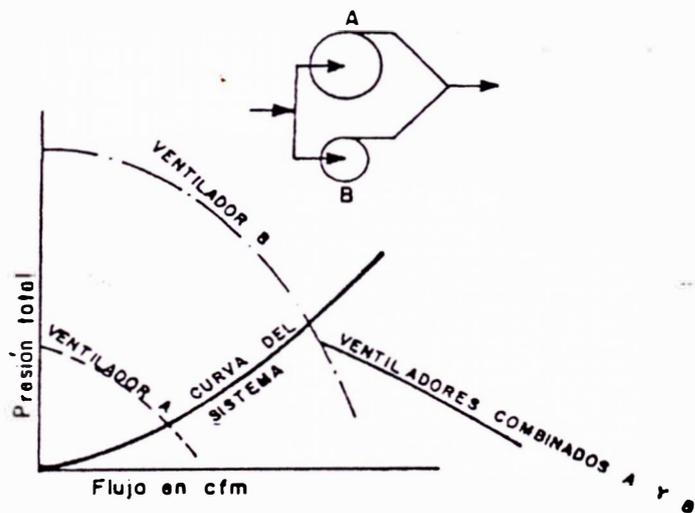
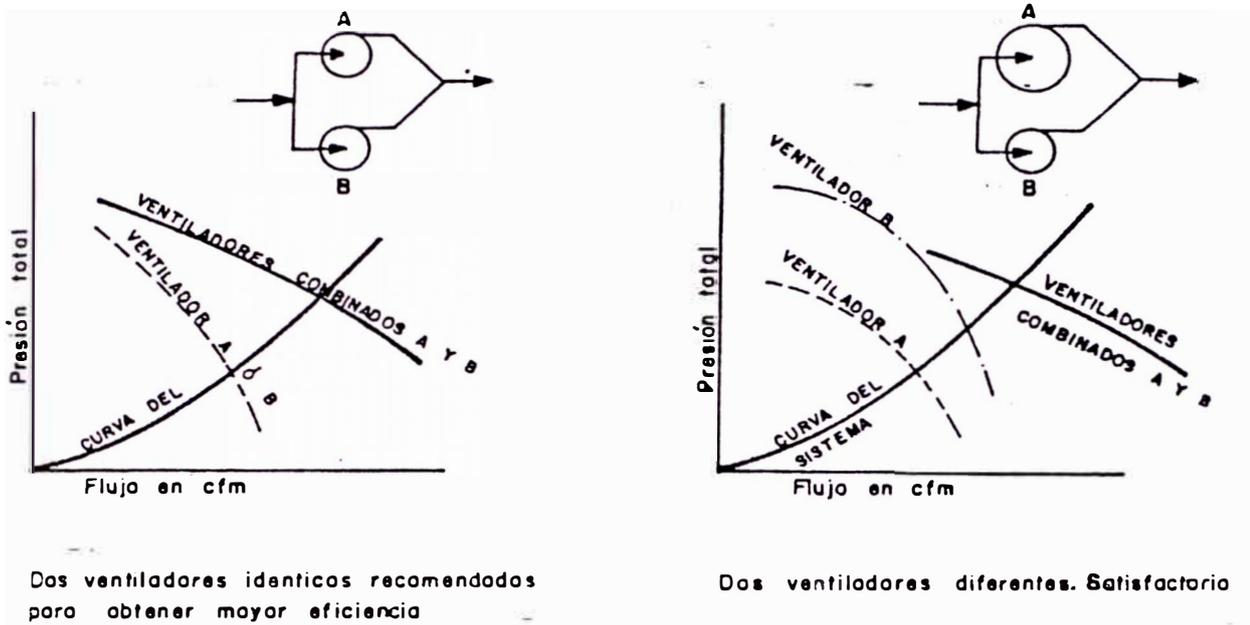
Dos ventiladores diferentes Satisfactorio



Dos ventiladores diferentes Poco satisfactorio

Cuando la curva del sistema no es interceptada por la curva de los ventiladores combinados, o proyectada la curva combinada atraviesa antes la curva del ventilador B, el ventilador B moverá más aire que los ventiladores A y B en serie.

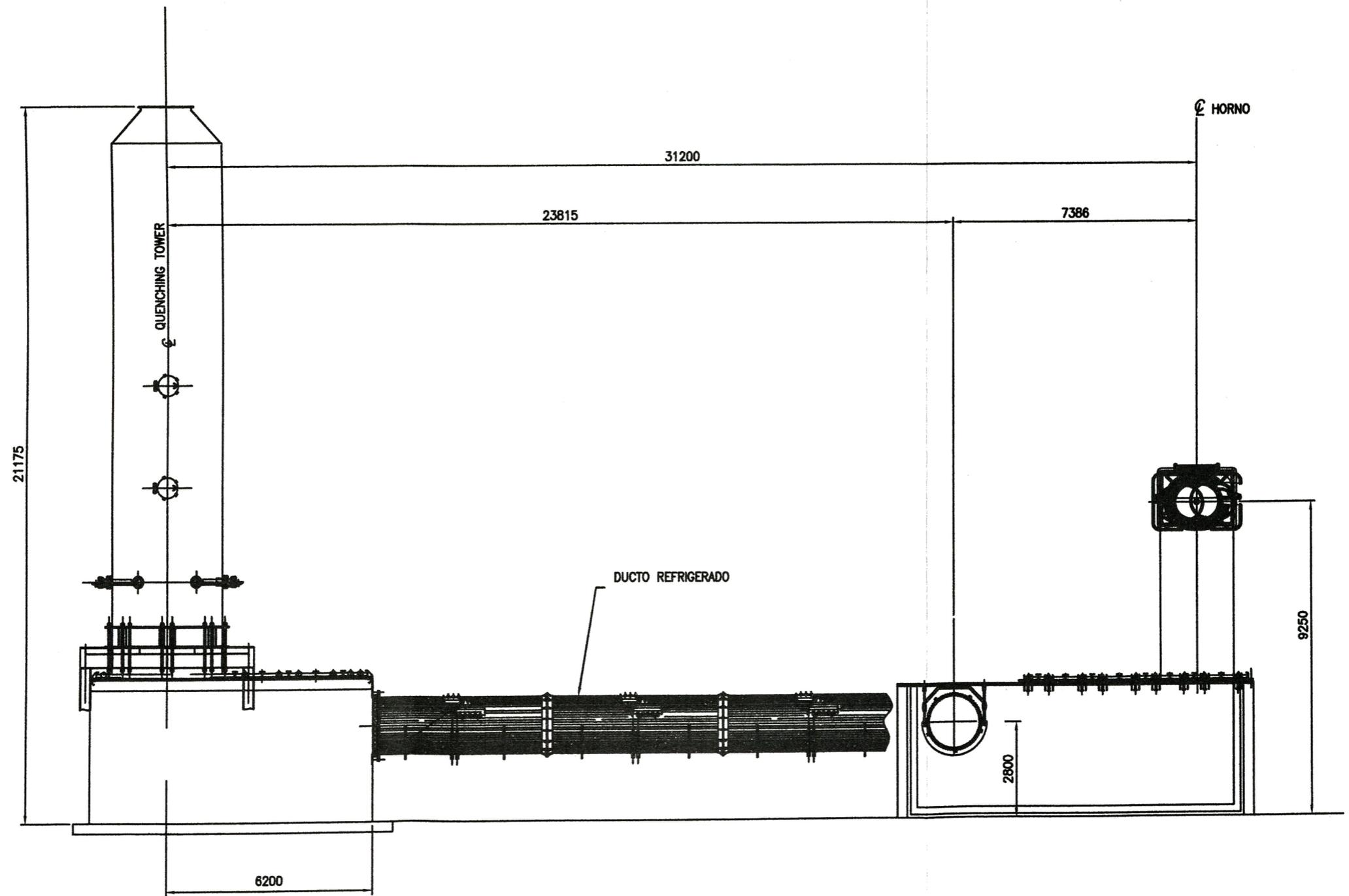
FIGURA 6.16 VENTILADORES EN PARALELO



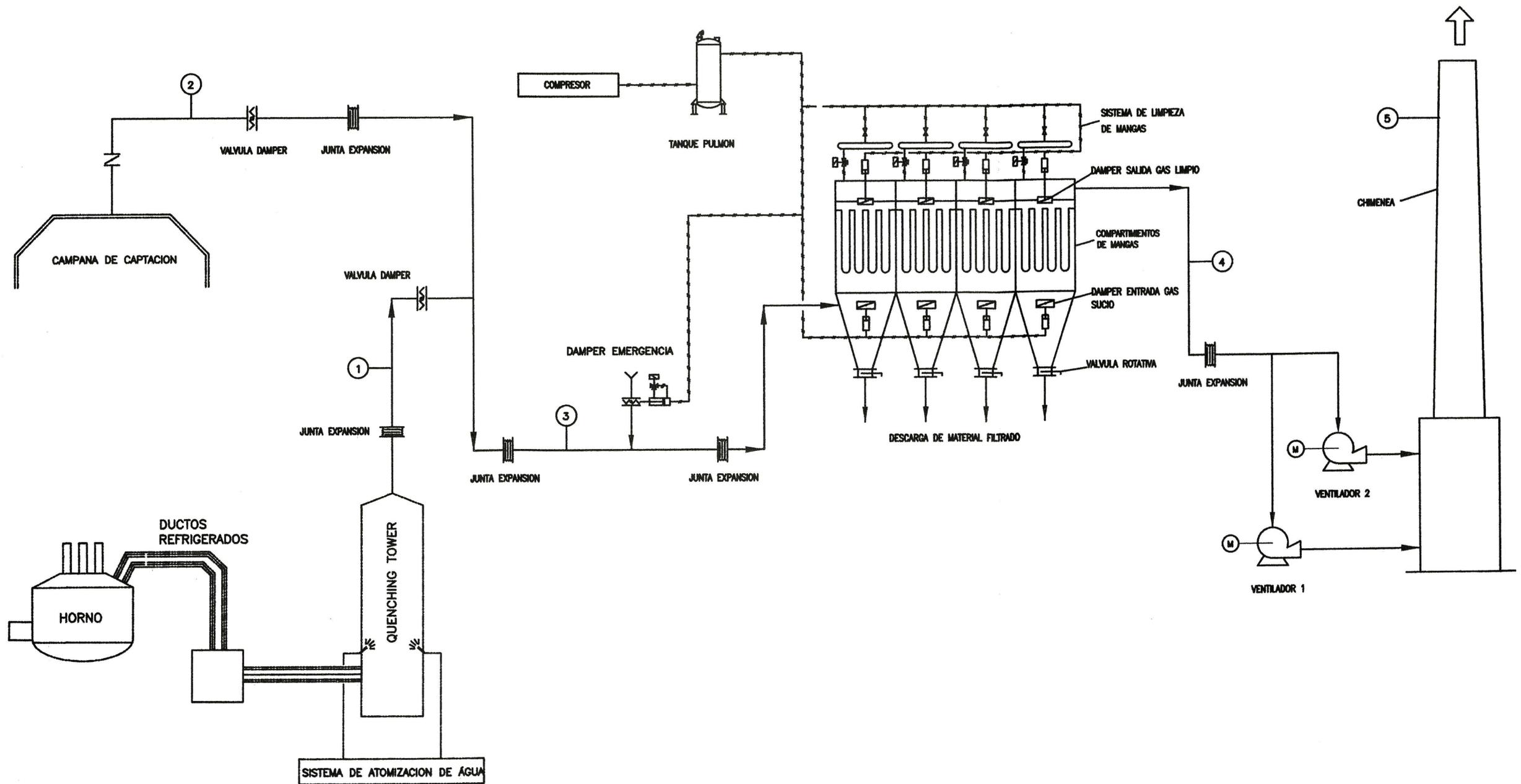
Das ventiladores diferentes
 Poco satisfactorio
 Cuando la curva del sistema no atraviesa la curva de los ventiladores combinados, o la proyección de la curva combinado intercepta antes la del ventilador B, el ventilador B moverá mas aire que los ventiladores A y B en paralelo.

ANEXO 6: PLANOS

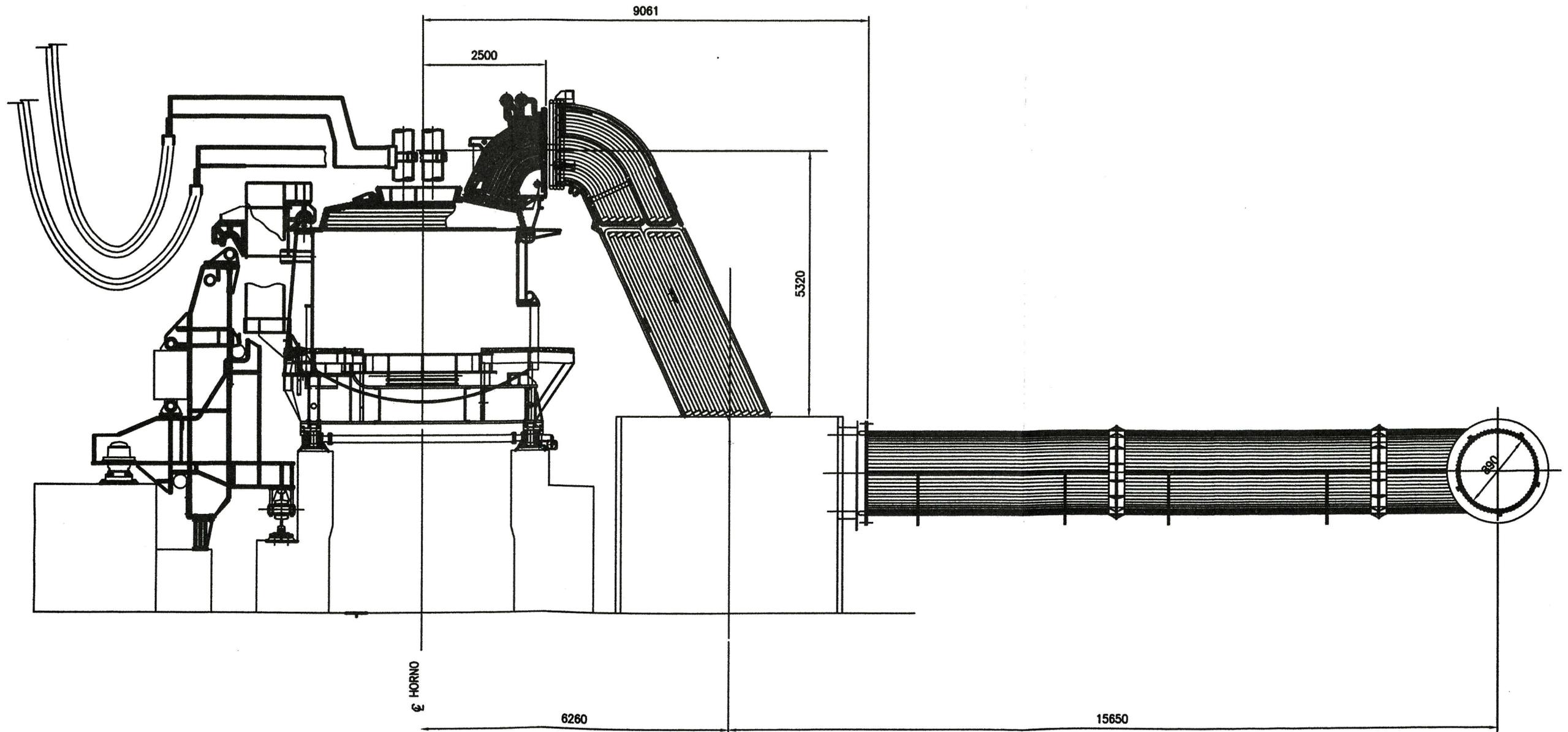
- **PLANO N°01: DIAGRAMA DEL PROCESO**
- **PLANO N°02: HORNO ELECTRICO DE ARCO Y DUCTOS REFRIGERADOS**
- **PLANO N°03: DUCTOS REFRIGERADOS Y QUENCHING TOWER**
- **PLANO N°04: ISOMETRICO DE DUCTOS**
- **PLANO N°05: FILTRO DE MANGAS: ARREGLO GENERAL**
- **PLANO N°06: COMPARTIMIENTO DE MANGAS**



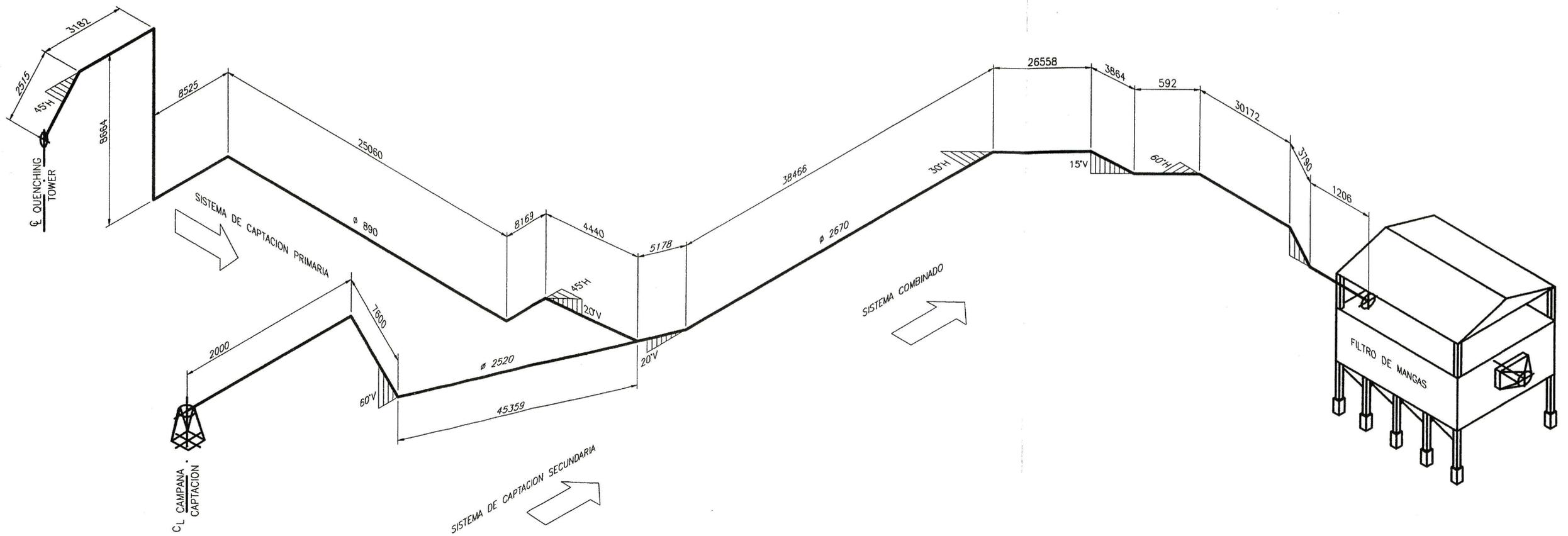
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
	PROYECTO: SISTEMA DE CAPTACION DE HUMOS HORNO ELECTRICO DE 30TON			
	DUCTOS REFRIGERADOS Y QUENCHING TOWER			
FECHA:	12-04-12	DIBUJADO:	A.Q.P.	ESCALA:
PLANO:	Nº03	REVISADO:		



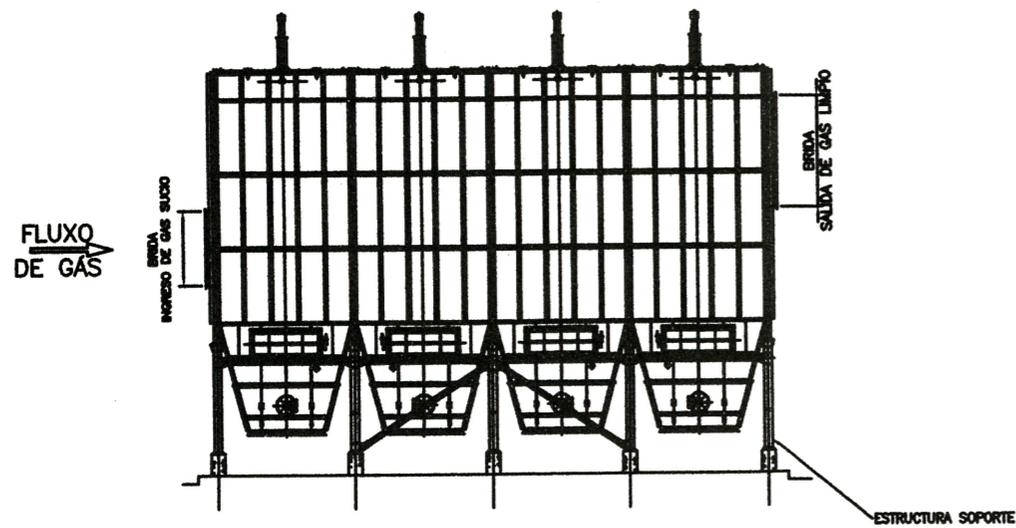
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA				
	PROYECTO: SISTEMA DE CAPTACION DE HUMOS HORNO ELECTRICO DE 30TON				
	DIAGRAMA DEL PROCESO				
FECHA:	12-04-12	DIBUJADO:	A.Q.P.	ESCALA:	
PLANO:	N°01	REVISADO:			



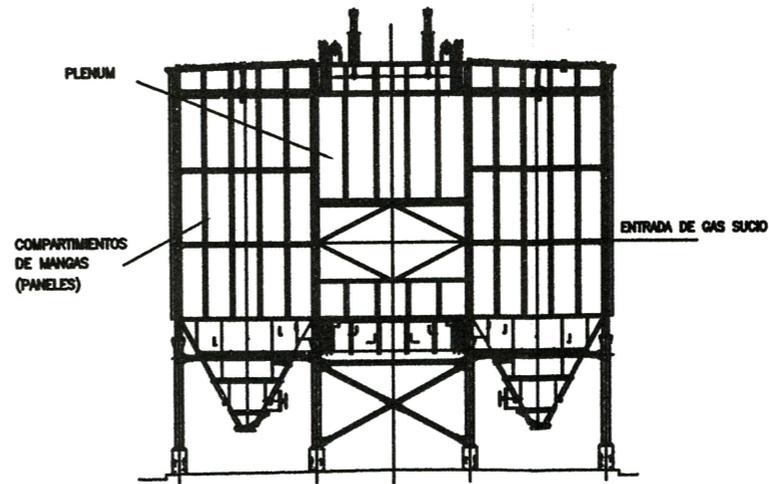
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
	PROYECTO: SISTEMA DE CAPTACION DE HUMOS HORNO ELECTRICO DE 30TON			
HORNO ELECTRICO DE ARCO Y DUCTOS REFRIGERADOS				
FECHA:	12-04-12	DIBUJADO:	A.Q.P.	ESCALA:
PLANO:	Nº2	REVISADO:		



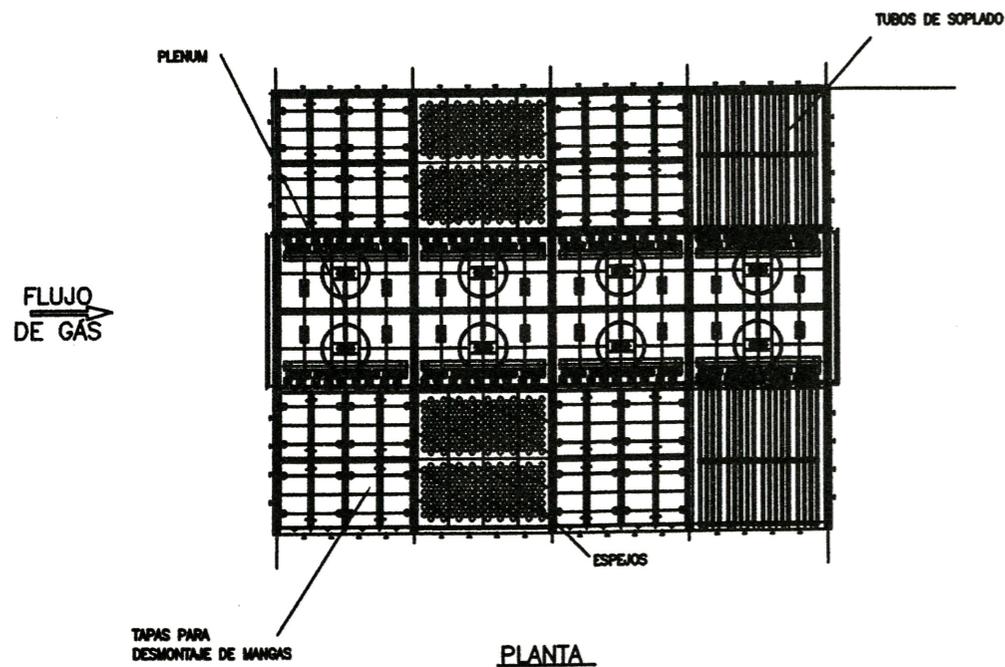
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
	PROYECTO: SISTEMA DE CAPTACION DE HUMOS HORNO ELECTRICO DE 30TON			
	ISOMETRICO DE DUCTOS			
FECHA:	12-04-12	DIBUJADO:	A.B.P.	ESCALA:
PLANO:	N°04	REVISADO:		



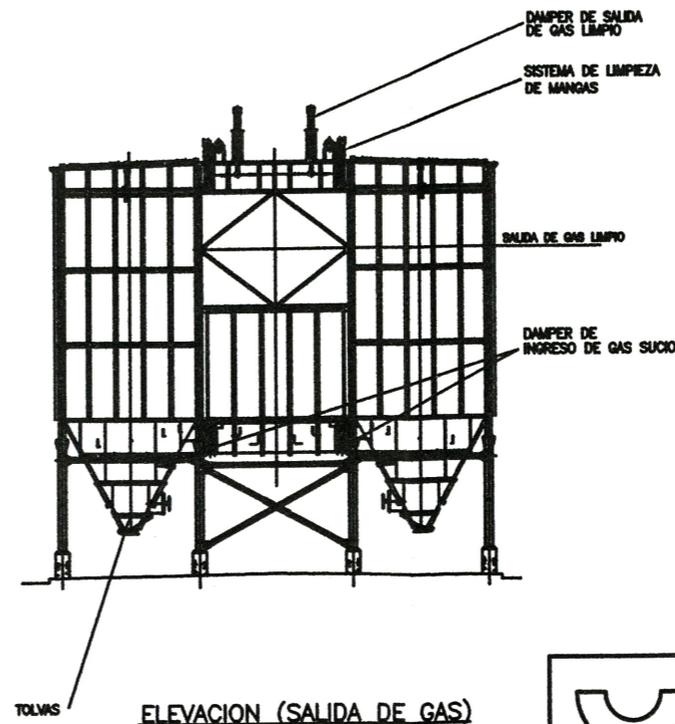
ELEVACION LATERAL



ELEVACION (ENTRADA DE GAS)

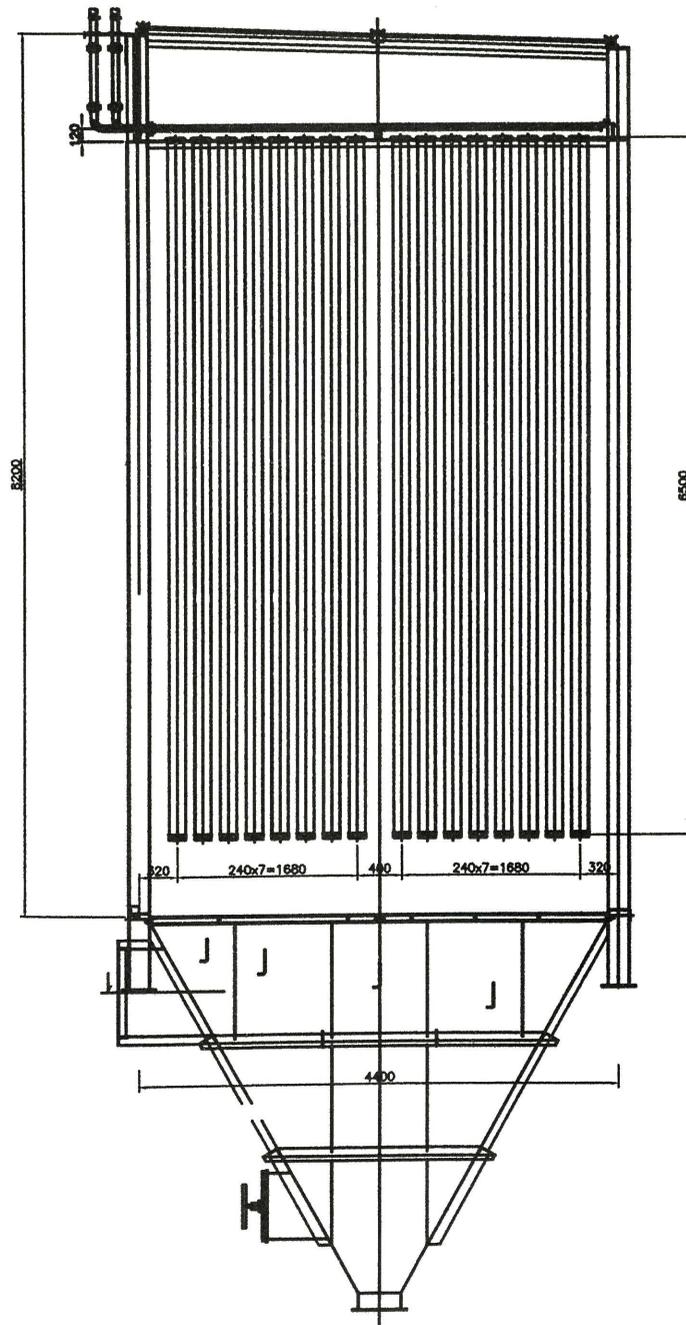


PLANTA



ELEVACION (SALIDA DE GAS)

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
	PROYECTO: SISTEMA DE CAPTACION DE HUMOS HORNO ELECTRICO DE 30TON			
	FILTRO DE MANGAS - ARREGLO GENERAL			
FECHA:	12-04-12	DIBUJADO:	A.Q.P.	ESCALA:
PLANO:	Nº05	REVISADO:		



COMPARTIMIENTO DE MANGAS

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
	PROYECTO: SISTEMA DE CAPTACION DE HUMOS HORNO ELECTRICO DE 30TON			
	COMPARTIMIENTO DE MANGAS			
FECHA:	12-04-12	DIBUJADO:	A.Q.P.	ESCALA:
PLANO:	N°06	REVISADO:		