

2ej
72



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

PROYECTO DE INGENIERIA BASICA PARA
CONTROL DE CONTAMINACION AMBIENTAL
PARA UNA PLANTA PRODUCTORA DE
FIBRA DE VIDRIO

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
MARCO AGUSTIN HERNANDEZ SUAREZ

México, D. F.

1986



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

I	INTRODUCCION	1
II	OBJETIVO	2
III	DESCRIPCION DEL PROCESO POR AREAS	3
	III.1 AREAS DE ESTUDIO	4
	III. 2 ORIGEN DE LAS EMISIONES	6
	III.2.a. MATERIAS PRIMAS	6
	III.2.b. HORNO DE FUNDICION	6
	III.2.c. CAMPANA DE FORMACION	7
	III.2.d. ESTUFA DE CURADO	7
	III.3 CLASIFICACION DE LAS EMISIONES: RE GLAMENTACION	8
	III44 TOXICOLOGIA GENERAL DE LAS EMISIONES	10
IV	RESUMEN DE PROPOSICIONES PARA CADA AREA	12
	IV.1 MATERIAS PRIMAS	14
	IV.2 HORNO DE FUNDICION	19
	IV.3 CAMPANA DE FORMACION	28
	IV.4 ESTUFA DE CURADO	36
V	CONCLUSIONES	42
APENDICE A	MEMORIA DE CALCULO, MATERIAS PRIMAS	44
APENDICE B	MEMORIA DE CALCULO, HORNO DE FUNDICION	67
APENDICE C	MEMORIA DE CALCULO, CAMPANA DE FORMACION	100
APENDICE D	MEMORIA DE CALCULO, ESTUFA DE CURADO	113
APENDICE E	DISPOSICIONES LEGALES SOBRE EMISION DE GA SES Y PARTICULAS A LA ATMOSFERA	125
	NOMENCLATURA	145
	BIBLIOGRAFIA	148

INTRODUCCION

El presente proyecto de ingeniería básica para el control de emisiones contaminantes a la atmósfera generadas por una - - planta productora de fibra de vidrio está enfocado primordialmente a proponer las diferentes soluciones que satisfagan lo siguiente:

- a. Contribuir a mejorar la calidad del aire.
- b. Controlar las emisiones de partículas, humos y gases para cumplir con los límites máximos permitidos por la legislación Ambiental de México, en este tipo de procesos.

Para cumplir ampliamente con los puntos aquí mencionados es preciso determinar las condiciones de operación del sistema, ya que las diferentes alternativas de solución dependen en gran parte de ello, así como para hacer una selección óptima de los equipos de control de contaminantes, sin llegar a modificar el proceso y el mismo sistema productivo, es decir, que modificando el proceso se elimina el problema de emisiones.

II

OBJETIVO

Identificación, cuantificación y evaluación de los problemas de emisiones a la atmósfera en lo referente a partículas, humos y gases, para su control en las áreas de:

- a. Materias primas
- b. Horno de fundición
- c. Campana de formación, y
- d. Estufa de Curado.

Presentar soluciones con equipo para control de las emisio--nes para cumplir con las normas y reglamentos que estipula - el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos en lo conciernente a emisiones atmosféricas.

III

DESCRIPCION DEL PROCESO POR AREAS DE ESTUDIO

En la fabricación de fibra de vidrio se emplean las siguientes materias primas:

Arena Sílica -----	SiO_2
Cenizas de Sosa -----	Na_2CO_3
Dolomita -----	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Feldespatos -----	Si, Al, K, Na, Ca y Ba.
Barita -----	BaSO_4
Borax -----	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Carbón, y -----	C
Pedacería de vidrio	

Estos materiales son mezclados en forma manual para homogeneizar la alimentación de las materias primas al horno de fundición, en donde se funden a una temperatura de 1 400°C, ver esquema del proceso No. 3.1

Una vez fundidas las materias primas conforman una mezcla pastosa denominada vidrio, misma que al través de un canal de la drillo refractario llega hasta un conjunto de dispersores ---

(fiberizer) que por efecto de fuerza centrífuga generan delgados hilos o fibras de vidrio, cada racimo de fibra de vidrio- así producido pasa a través de un anillo que se encuentra espreando en forma continua una resina líquida que recubre completamente la superficie de las fibras, mismas que son succionadas por un sistema de extracción que provoca una diferencia de presiones estáticas entre dos puntos para depositar las fibras sobre una superficie porosa para formar un colchón, la superficie porosa corresponde a una banda transportadora metálica que lleva las fibras a una estufa de curado, en donde se polimeriza la resina que lleva consigo la fibra de vidrio para formar placas.

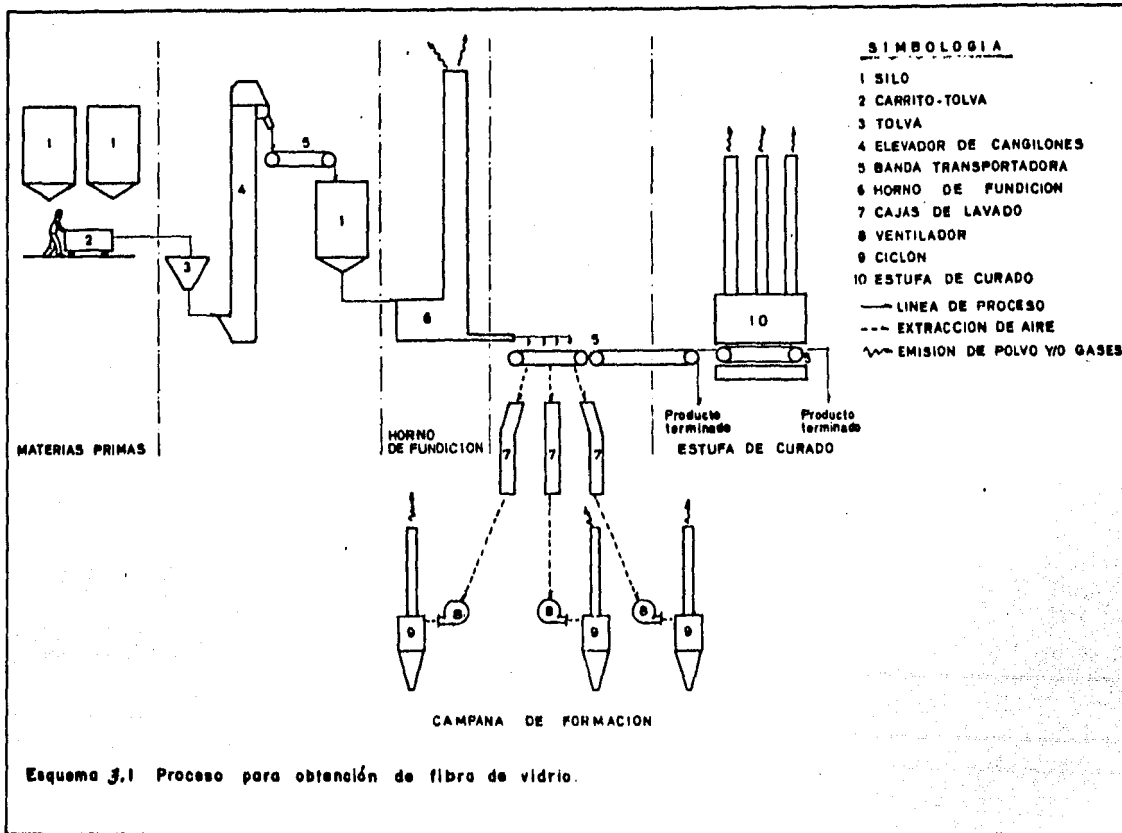
Una vez polimerizada la resina sobre la superficie de las fibras, le dá características especiales al producto terminado, tales como material aislante acústico y térmico.

III.1. Areas de Estudio

La línea de proceso se dividió en cuatro zonas para su estudio, mismas que se enlistan a continuación:

- a. Materias primas
- b. Horno de fundición
- c. Campana de formación, y
- d. Estufa de curado.

Las emisiones de partículas, gases y vapores que se presentan en cada una de las áreas, se indican en el esquema No. 3.1, -



además de especificar la fuentes de emisiones.

III.2. Origen de las Emisiones

III.2.a.- Materias Primas

Esta área presenta emisiones incontrolables si la operación de carga se realiza en forma manual, generando así una densa-nube dentro de la nave de trabajo.

III.2.b.- Horno de Fundición

El material alimentado al horno es el mencionado para el área de materias primas, dicho horno funciona bajo las siguientes-condiciones de operación:

Producción	35 ton./día
Tiempo de Operación	24 h/día
Consumo de combustible	480 m ³ /h
Combustible empleado	Gas natural
Temperatura del hogar	1 410°C.

La emisión de partículas se presenta en la descarga de la chimenea del horno, el factor de emisión (ref. 2) para este tipo de hornos de acuerdo al peso del proceso es:

$$\text{Emisión} = 20.7 \text{ kg./h.}$$

El reglamento estipula que la emisión máxima para un peso del proceso igual a 1.46 ton./h. no deberá ser mayor a 9.97 kg./h (ver esquema III.1).

III.2.c.- Campana de formación

Debido a que la succión efectuada en la banda transportadora es con la finalidad de fijar la fibra de vidrio sobre la propia banda, gran parte de estas fibras son arrastradas por la extracción de un ventilador y éste las descarga al ambiente a través de una chimenea. Además de que este aire arrastra consigo parte de la resina que no se aprovecha por razones de eficiencia en el proceso de esparado (ver esquema III.1). Se estima que en esta área el factor de emisión (ref.2) es de 28.8 kg./ton., al procesar 30 ton./día se tiene una emisión de 36.0 kg./h. El reglamento estipula que la emisión máxima permitida es de 8.9 kg./h para un peso del proceso de 1.25 ton./h.

III.2.d.- Estufa de curado

Esta área tiene una capacidad para procesar 30 ton./día; las emisiones de contaminantes descargadas directamente a la atmósfera son consecuencia de la operación de curado al someter el colchón de fibra de vidrio a una temperatura de aproximadamente 500°F, el calentamiento se obtiene por contacto directo entre los gases de combustión y la fibra de vidrio. Los contaminantes emitidos corresponden a:

- Partículas de fibra de vidrio, y
- Productos de polimerización (aldehidos y fenoles)

la emisión de partículas obtenida en base al factor de emisión es de 1.8 kg./ton. (ref. 2).

El problema de contaminación al aire es debido a la emisión de los productos de polimerización y arrastre de partículas de fibra vidrio debido a sobre carga en una capacidad de la estufa, causa por la que se emiten humos en la entrada y salida de la estufa.

Los factores de emisión para aldehidos y fenoles son:

0.05 kg. fenoles/ton. materia alimentada

1.70 kg. aldehidos/ton. materia alimentada

la emisión de estos contaminantes en base a los factores - por día es:

1.5 kg. fenoles /día

51.0 kg. aldehidos/día

Existe una campana a la entrada y otra a la salida de la estufa aunque la mayor emisión de contaminantes se efectúa por las chimeneas de la propia estufa, además de los humos emitidos en el cuerpo de la misma, que a su vez se dispersan dentro de la nave de trabajo.

III.3.- Clasificación de las Emisiones: Reglamentación

Las emisiones contaminantes en los equipos de proceso corresponden a los siguientes tipos:

-Partículas sólidas

-Humos y

-Vapores tóxicos

De los cuales las dos primeras se encuentran específicamente reglamentadas por nuestro gobierno Mexicano, estableciendo - así límites máximos permisibles de acuerdo a la capacidad y condiciones de operación.

En cuanto a vapores tóxicos se refiere, se encuentran dentro de un criterio un tanto ambiguo, ya que no existen reglamentos que establezcan límites máximos de emisión, aunque sí se indica que dichas emisiones deberán ser mínimas, de manera - tal que no alteren o pongan en peligro la salud del hombre.

De acuerdo al esquema de proceso No. III.1, las clases de -- contaminantes emitidos en cada zona se muestran en la tabla- III.1

Z o n a	Emisión Contaminante		
	Partículas	Humos	Vapores Tóxicos
Materias Primas	Sí	No	No
Horno de Fundición	Sí	No	Sí
Hood de Formación	Sí	Sí	Sí
Estufa de Curado	Sí	Sí	Sí

TABLA III.1

"Clasificación de las Emisiones por Zonas"

III.4.- Toxicología General de las Emisiones

De todas las materias primas aquí empleadas, la de mayor peli grosidad es la arena sílica, ya que puede producir silicosis, y de no atenderse oportunamente bajo tratamiento médico puede producir la muerte. Las demás materias primas no tienen efectos nocivos que sean altamente peligrosos al organismo, aun-- que una exposición constante a ellos puede producir a largo - plazo problemas en las vías respiratorias y la irritación o - infección en el sentido de la vista.

Los humos son normalmente consecuencia de la combustión par-- cial de cualquier material comburente, y dependiendo de su origen es el grado de toxicidad de éste. En el caso de la chimenea del horno de fundición por la cual se expulsan los productos de combustión del gas natural, se presentan emisiones de bióxido de azufre (SO_2), ya que el gas natural que distribuye PEMEX posee un alto contenido de azufre (Superior al 5% en volúmen). Dichas emisiones son del orden de 0.35% hasta 0.50% - en peso de bióxido de azufre en los gases descargados por la chimenea, lo que representa un promedio de 0.5 kg./min de --- bióxido de azufre. Debido a que el horno de fundición opera los 365 días del año, se tiene que en un año arroja al ambiente (Valle de México) sólo por ésta fuente un total de 262.5 - ton. de SO_2 /año.

Los efectos que produce este contaminante son de gran impor--

tancia, ya que en el aire este bióxido de azufre da reacciones fotoquímicas con otros compuestos químicos igualmente -- suspendidos, lo que en determinado momento puede producir -- una "lluvia ácida" en caso de precipitación. Las consecuencias no son de esperarse, ya que de inmediato se producen -- dermatitis y hasta quemaduras en la piel de las personas expuestas a esta lluvia, así mismo estos efectos se hacen evidentes en la flora y la fauna.

Un último contaminante que encontramos es emitido por este proceso, son los vapores de la resina no polimerizada, estos están formados principalmente por fenoles y aldehídos, que -- al igual que el bióxido de azufre, afecta la salud del organismo, desmando las defensas del sistema respiratorio y como consecuencia final el transtorno del buen funcionamiento del sistema nervioso central. (cerebro y cerebelo).

RESUMEN DE PROPORCIONES PARA CADA AREA

La elaboración de la ingeniería básica es el pilar fundamental que antecede al proyecto del diseño mecánico del equipo, de tal forma que, para poder aportar la información suficiente es necesario especificar la siguiente lista de puntos:

- a. Descripción del proceso.
- b. Diagrama del proceso.
- c. Bases y criterios de diseño.
- d. Lista de equipo.
- e. Requerimientos de servicios auxiliares.
- f. Hoja de datos.

En cuanto a los incisos a. y b. de la lista anterior se refiere, fueron descritos en el capítulo III de este estudio.

Las bases y criterios de diseño se encuentran especificados en los apéndices A, B, C, y D para cada área de estudio, ya que sería muy amplio hacer mención de ellos en este capítulo debido a la particular situación que representa cada caso, aunque cabe hacer notar que hubo criterios comunes para la toma de decisiones en este proyecto, tales como:

- a. Se tomaron en cuenta todos aquellos equipos de control que cumplieran con la eficiencia mínima que establece la Legislación Ambiental de México.

- b. Se eliminaron los equipos de control para partículas emitidas a la atmósfera que no fueran de fabricación nacional cuando menos en un 75% (precipitadores electrostáticos, incineradores, etc.).
- c. Optimización técnica y económica del equipo seleccionado.
- d. En cuanto al suministro de agua (servicio auxiliar), debido a que es un recurso escaso en la Ciudad de México, se optimizó su requerimiento para cada equipo de control y además se proponen sistemas de sedimentación para el re-uso (recirculación) de la misma en la operación de lavado.

Los demás puntos faltantes enlistados al principio de este capítulo, se presentarán al final de la propuesta para equipo de control en cada área, es esta misma sección.

IV. 1. Materias Primas.

Para el control de polvos fugitivos en la operación de carga de los carritos-tolva se propone instalar una campana de extracción tipo canopy a 1.5 m. de altura del nivel del piso - en cada uno de los puntos (nueve) de carga para materiales. Esta campana estará completamente cubierta en tres de sus lados por una cortina de lona, de largo tal que cubra los bordes superiores del carrito-tolva, mientras que en el lado - restante se dejará un área abierta de 0.279 M^2 , espacio suficiente para alimentar los carritos tolva. Este encasetamiento hará posible dirigir los polvos generados hacia la campana para extracción con mayor eficiencia.

A condiciones actuales de extracción manejará un flujo de -- $29.8 \text{ m}^3/\text{min.}$ a una velocidad de $1\ 067 \text{ m/min.}$ con una concentración de polvos igual a 9.0 g/m^3 .

El sistema para extracción propuesto para control de emisiones en el llenado de carritos-tolva con materia prima, no - contempla la posibilidad de llenar dos carritos-tolva simultáneamente, es decir, ha sido diseñado para al operación de llenado de un solo carrito, por tal motivo se colocarán válvulas manuales en cada caseta de extracción de tal manera que el operador tendrá que abrir la válvula durante la operación de llenado y al finalizar se encargará de cerrarla.

Los polvos serán conducidos a un colector de bolsas del tipo sacudimiento neumático mismo que requiere de 10.8 m^2 como mínimo de área filtrante.

Este equipo es de alta eficiencia, ya que retiene partículas de 1.0 micra de diámetro y mayores con una eficiencia del +99%. Para el sacudimiento neumático se requiere de aire comprimido limpio y seco a 6.8 atm. (100 PSI) y un flujo de $0.34 \text{ M}^3/\text{min}$.

La caída de presión en la ductería equivale a 79.1 mm CA. y en el colector de bolsas a 152.4 mm CA. a condiciones actuales. En suma, la caída de presión total del sistema es de 231.5 mm CA (9.1 pulg. C.A.).

Para manejar este flujo en el sistema de extracción y proporcionar la presión estática anteriormente indicada será necesario instalar un ventilador centrífugo que requiere de 2.9 BHP a condiciones actuales. (motor de 5 HP).

Debido a que la operación de carga es intermitente, no es necesario que el sistema se encuentre funcionando permanentemente, sino que sólo opera cuando sea requerido.

Los servicios auxiliares para la operación de los equipos de control propuestos son mínimos, ya que sólo se requiere de:

- a. Aire comprimido limpio y seco para el sacudimiento de las bolsas del colector de polvos.
consumo = $0.34 \text{ m}^3/\text{min}$. a 7.0 atm y 15°C
- b. Corriente eléctrica monofásica a 60 ciclos
110 volts, 0.22 KVA . Este se empleará para el controlador de tiempo automático (timer).

- c. Corriente eléctrica trifásica a 440 volts,
60 ciclos y con un consumo de 5.2 KVA .

La lista de equipo y hojas de especificaciones se presentan a continuación:

- i. Colector de polvos
- ii. Ventilador centrífugo

En el apéndice A se presenta la memoria de cálculo para esta área con mayor detalle.

HOJA DE ESPECIFICACIONES
(Materias Primas)

- a. Equipo Colector de polvos (bolsas filtrantes)
- b. Gas a manejar Aire.
- c. Temperatura de los gases 20°C
- d. Flujo actual 29.8 m³/min (Cd. de México)
- e. Material particulado Arena sílica, barita, cenizas de sosa, borax y carbón
- f. Procedencia Campana de extracción en los silos
- g. Tamaño de partícula mínimo 5 micras.
- h. Concentración máxima de polvos..16.72 kg/h
- i. Presión estática a la succión...231.5 mm C.A.
- j.- Operación Intermitente
- k. Tipo de sacudimiento (bolsas) .. Neumático
- l. Relación de filtrado de diseño..... 9.01
- m. Area mínima de filtrado 10.8 m²
- n. Material del medio filtrante... poliéster
- o. Consumo aproximado de aire comprimido. 0.34 m³/min a 6.8 atm
- p. Dimensiones aproximadas 1.00 m largo
1.00 m ancho
5.43 m altura
- q. Material de construcción..... Acero al carbón

Observaciones: Se requiere de corriente monofásica de 60 ciclos y 110 volts para el programador de tiempo automático.

HOJA DE ESPECIFICACIONES
(Materias Primas)

- a. Equipo Ventilador centrífugo
- b. Gas a manejar Aire
- c. Temperatura de operación.. 20°C
- d. Flujo actual 29.8 m³min (Cd. de México)
- e. Presión estática 231.5 mm C.A.
- f. Accesorios complementarios Compuerta de descarga
Bridas de succión y descarga
Registro de inspección
Cople de drenaje
Cubre bandas
Base integral
Juntas felxibles succión y
descarga
- g. Material de construcción . Fibra de vidrio reforzado con
plástico
- h. Motor 5 HP, 60 ciclos, 220/440 volts,
2 polos, 3 fases, construcción
TCCVE
- i. Transmisión Poleas y bandas.

IV. 2. Horno de Fundición

La emisión máxima permitida por el reglamento indica que la descarga a la atmósfera de las partículas no deberá exceder los 9.9 kg/h, como ya se ha mencionado (ref. 8), se deduce que las emisiones del horno exceden el valor máximo permitido por las normas mexicanas en más del 100%.

La distribución del tamaño de partícula típica para este -- horno (ver tabla B.5, apéndice B) indica que un gran porcentaje de partículas son menores a 5 micras de diámetro, debido a ésto, se requiere instalar un equipo de alta eficiencia.

Se propone instalar un lavador de gases del tipo venturi -- que tenga una eficiencia mínima del 90% para partículas de 3 micras y mayores.

Para captar los gases a la descarga de la chimenea se deberá instalar un capuchón pre-armado, este capuchón se encontrará acoplado en la mejor forma al ducto existente para evitar diluciones secundarias de aire ambiente, ya que actualmente existe una dilución de aire ambiente con los gases de combustión entre la chimenea de refractario y el ducto de acero al carbón que dirige los gases hacia la atmósfera. Dicho capuchón propuesto está integrado por las siguientes partes:

- a. Válvula para desfogue de emergencia construída en acero inoxidable.

Consta de una placa movable que gira sobre un eje para abrirse o cerrarse, similar en funcionamiento al de una válvula de mariposa, el eje (flecha) sobre el cual se mueve esta placa es movido por un accionador externo. Esta válvula deberá ser construída en acero inoxidable en su totalidad.

- b. Accionador de la flecha en la válvula

El accionador será de tipo neumático y funcionará únicamente para abrirse automáticamente al recibir -- una señal eléctrica de cualquier interruptor que detecte:

- Baja presión en la tubería de agua para enfriamiento (quencher).
- Elevación de temperatura a la entrada del lavador de gases.
- Falla de corriente eléctrica y
- Bajo nivel de agua en la cisterna.

El resto del capuchón pre-armado deberá construirse con placa de acero al carbón de 6 mm (¼ pulg.) de espesor y recubierto por una capa de cemento refractario de 63.5 mm (2.5 -- pulg.) de espesor.

El flujo de gases y condiciones de operación a la salida del-

capuchón son las siguientes:

$$F = 930.7 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$T = 798.5^\circ\text{C}$$

De aquí los gases pasan a un enfriador (quencher) por medio de agua que es espreado a un ángulo de 120° por cada una de las 4 espreas, esta agua de enfriamiento se evaporará completamente en el enfriador provocando que la temperatura descienda de 768.3 a 148.8°C , para ello se requiere de 59.1 l/min. de agua limpia que será alimentada por una bomba de 2.4 BHP. Hasta ésta sección, se requiere de un ducto de 1.0 m de diámetro construido en acero inoxidable calibre 10.

Una vez enfriados los gases son conducidos al lavador de tipo venturi por medio de un ducto de 0.76 m de diámetro construido en acero al carbón, las condiciones de operación a la entrada del lavador son:

$$F = 503.7 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$T = 139.4^\circ\text{C}$$

Para el lavado de los gases se requiere de 0.477 m³/min. de agua. Por efecto de lavado disminuye la temperatura hasta 65.5°C y los gases se saturan debido a que se presenta una evaporación parcial de la propia agua para lavado. Las condiciones a la salida del equipo son:

$$F = 454.9 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$T = 65.5^\circ\text{C}$$

La alimentación de agua al lavador de gases se efectuará por medio de una bomba centrífuga de 7.5 HP, en la descarga de la bomba tanto para el enfriador como para el lavador deberá instalarse la siguiente instrumentación:

- a. Válvula de retención
- b. Válvula de globo
- c. Indicador de flujo
- d. Indicador de presión

La succión de los gases en el sistema se realizará por medio de un ventilador centrífugo de 100 HP, mismo que proporcionará una presión estática de 492.2 mm CA, dicho ventilador descargará los gases a una chimenea autosoportable de 0.89 m de diámetro y 18 m de altura.

Para los servicios auxiliares se requiere de:

- a. Aire comprimido para el pistón neumático, aproximadamente $0.03 \text{ m}^3/\text{min}$ a 7.0 atm y 15°C (limpio y seco).
- b. Agua para enfriamiento y reposición, en total - 80.0 l/min promedio.
- c. Corriente eléctrica monofásica a 220 volts y 60 ciclos para instrumentación, aproximadamente 1.0 KVA.
- d. Corriente eléctrica trifásica a 60 ciclos y 440 - volts, en total 61.6 KVA.

La lista de equipo y hojas de especificaciones se presentan a continuación:

- i.. Bomba de agua para el enfriador (quencher)
- ii. Bomba centrífuga para el lavador de gases.
- iii. Lavador de gases tipo venturi.
- iv. Ventilador centrífugo.

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Horno de Fundición)

- a. Equipo Bomba centrífuga
- b. Líquido a manejar Agua de recirculación con
sólidos en suspensión, pH 4.0
- c. Temperatura de bombeo 30°C
- d. Densidad a la temperatura de
bombeo 0.99 kg/l
- e. Capacidad 482.0 l/min
- f. Viscosidad 0.75 cp
- g. Presión de descarga 0.44 atm (4.5 m)
- h. Material de construcción ... Acero inoxidable
- i. Unidad motriz Motor eléctrico, 7.5 HP,
220/440 volts, 3 fases,
60 ciclos, 4 polos, acopla-
miento flexible y de opera-
ción continua.
- j. Impulsor de la bomba Semi-abierto
- k. NPSH requerido 1.8 m

Observaciones: Los sólidos corresponden a polvos de escoria
y tienen un tamaño máximo de 20 micras.
La bomba operará en la Cd. de México.

HÓJA DE ESPECIFICACIONES
(Horno de Fundición)

- a. Equipo Bomba centrífuga
- b. Líquido a manejar Agua limpia
- c. Temperatura de bombeo 20°C
- d. Densidad a temperatura
de bombeo 1.0 kg/l
- e. Capacidad 59.1 l/min
- f. Viscosidad 1.0 cp
- g. Presión de descarga 6.2 atm (64.0 m)
- h. Material de construcción. Todo en fierro
- i. Unidad motriz Motor eléctrico, 5 HP, -
220/440 volts, 3 fases, -
60 ciclos, 4 polos, trans-
misión con cople flexible,
operación continúa.
- j. Impulsor en la bomba Cerrado
- k. NPSH requerido 1.8 m

Observaciones: El agua no llevará sólidos en suspensión. Esta
bomba proveerá agua para el enfriador (quencher)

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Horno de Fundición)

- a. Equipo Lavador de gases
- b. Gas a manejar Gases de combustión
- c. Temperatura de los gases 139.4°C
- d. Flujo actual 503.6 m³/min (Cd.Méx.)
- e. Material particulado Se alimenta al horno
arena sílica, dolomita
y feldespato.
- f. Procedencia Horno de fundición
- g. Tamaño de partícula 3 micras y menores; 20%
en peso.
- h. Concentración de plvos 6.85 x 10⁻⁴ kg/m³
- i. Tipo de lavador venturi
- j. Eficiencia mínimo 90%; total en peso
- k. Agua de lavado requerida 0.48 m³/min
0.34 atm (3.5 m) presión
- l. Caída de presión total 431.8 mm C.A.
- m. Flujo (cond. salida) 454.8 m³/min saturado
- n. Temperatura (salida) 65.5°C
- o. Pérdidas de agua por separa-
ción (evaporación) 18.0 l/min
- p. Equipo sometido a Succión
- q. Material de construcción Acero inoxidable

Observaciones: Material particulado emitido; ver distribución del tamaño de partícula en el apéndice B, sección 12.

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Horno de fundición)

- a. Equipo Ventilador Centrífugo
- b. Gas a manejar Gases de combustión y
aire saturado
- c. Temperatura de operación 65.5°C
- d. Flujo actual 454.8 m³/min (Cd. México)
- e. Presión estática 492.2 mm C.A.
- f. Accesorios complementarios Compuerta de descarga
Bridas de succión y descar-
ga.
Registro de inspección
Cople de drenaje
Cubre bandas
Base integral
Juntas flexibles succión y descarga
- g. Material de construcción Acero inoxidable o acero al
carbón recubierto con fibra
de vidrio.
- h. Motor 100 HP, 60 ciclos, 220/440
volts, 3 fases, 4 polos, -
construcción TCCVE
- i. Transmisión Poleas y bandas

Observaciones: El gas estará ligeramente ácido, pH=5.5 a 6.0.
(ref. 2).

IV. 3. Campana de Formación

Los parámetros de diseño para esta área fueron tomados directamente de los resultados obtenidos en campo, ya que se realizaron mediciones de flujo y presiones estáticas para distintas condiciones de operación (ver tablas C.1 y C.2 del apéndice c), en base a estos resultados se desarrolló la siguiente ingeniería básica.

Se propone hacer únicamente dos extracciones debajo de la banda transportadora, ya que la única función de estas secciones es provocar una presión estática negativa adecuada para el proceso de formación del colchón de fibra de vidrio y no el manejar grandes volúmenes de aire.

Cada una de las secciones manejará un flujo de $1\ 063\ m^3/min.$ la presión estática máxima en la sección norte bajo la banda transportadora será de 292.1 mm C.A. y en la sección sur de 450.85 mm C.A. (incluyendo el factor de flexibilidad, ver tabla C2 apéndice C).

De los resultados obtenidos en la evaluación isocinética y distribución del tamaño de partícula para esta área indican que el 64.77% de las partículas tienen un diámetro promedio igual o menor a 9 micras, por lo cual se requiere la instalación de un equipo de alta eficiencia por vía húmeda.

Se deberá instalar un lavador de gases de tipo venturi para cada sección, dicho lavador requiere de $0.901\ m^3/min.$ de agua ésta deberá ser alimentada al lavador con una bomba centrífuga de 7.5 HP, una para cada lavador.

Los gases de salida de los lavadores se manejarán con un ventilador centrífugo en cada sección.

Para la sección sur se requiere de un ventilador centrífugo de 300 HP. La descarga de gases para ambos ventiladores se efectuará a una sola chimenea de 2.0 m de diámetro y 15 m de altura.

En servicios auxiliares sólo se requiere de:

- a. Agua de reposición para los lavadores tipo venturi, 20 l/min a 15°C.
- b. Corriente eléctrica trifásica a 60 ciclos - 440 volts para motores, total 573.0 KVA .

La lista de equipo y hojas de especificaciones se presentan a continuación:

- i. Bomba centrífuga para el lavador de gases - norte.
- ii. Bomba centrífuga para el lavador de gases - sur.
- iii. Lavador de gases norte.
- iv. Lavador de gases sur
- v. Ventilador centrífugo norte
- vi. Ventilador centrífugo sur

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Campana de formación)

- a. Equipo Bomba centrífuga (lavador de gases norte)
- b. Líquido a manejar Agua de recirculación con sólidos en suspensión, pH=7.0
- c. Temperatura de bombeo 18°C
- d. Densidad a la temperatura de bombeo 1.0 kg/l
- e. Capacidad 901.0 l/min
- f. Viscosidad 1.0 cp
- g. Presión de descarga 1.47 atm (15.2 m)
- h. Material de construcción Todo fierro con interiores de bronce
- i. Unidad motriz Motor eléctrico, 5HP, 220/440 volts, 3 fases, 60 ciclos, - 4 polos, acoplamiento flexible y de operación continua.
- j. Impulsor de la bomba Semi-abierto
- k. NPSH requerido 1.8 m

Observaciones: Los sólidos corresponden a fibras de vidrio con longitud máxima de 0.5 cm y diámetro máximo de 0.1 cm. La bomba operará en la Cd.de México.

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Campana de formación)

- a. Equipo Bomba centrífuga (lavador de gases sur)
- b. Líquido a manejar Agua de recirculación con sólidos en suspensión, pH = 7.0
- c. Temperatura de operación 18.0°C
- d. Densidad a la temperatura de bombeo 1.0 kg/l
- e. Capacidad 901.0 l/min
- f. Viscosidad 1.0 cp
- g. Presión de descarga 1.47 atm (15.2 m)
- h. Material de construcción Todo fierro con interiores de bronce.
- i. Unidad motriz Motor eléctrico, 5 HP, 220/440 volts, 3 fases, 60 ciclos, 4 polos, acoplamiento flexible y de operación continua.
- j. Impulsor de la bomba Semi-abierto
- k. NPSH requerido 1.8 m

Observaciones: Los sólidos corresponden a fibras de vidrio con longitud máxima de 0.5 cm y diámetro máximo de 0.1 cm la bomba operará en la Cd. de México.

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Campana de formación)

- a. Equipo Lavador de gases (norte)
- b. Gas a manejar Aire con resinas aldehicas y fenólicas.
- c. Temperatura de los gases 69°C
- d. Flujo actual 1077.0 m³/min (Cd. México)
- e. Material particulado Fibra de vidrio
- f. Procedencia Extracción norte banda transportadora de la campana.
- g. Tamaño de partícula Fibras de vidrio de hasta - 3 cm de longitud y 0.1 cm - máx. diámetro.
- h. Concentración de partículas. 4.25 x 10⁻⁴ kg/m³
- i. Tipo de lavador Venturi
- j. Eficiencia Mínimo 90% total en peso
- k. Agua de lavado requerida 0.901 m³/min
0.34 atm (3.5 m) presión
- l. Caída de presión total 431.8 mm C.A.
- m. Flujo (cond. salida) 963.7 m³/min saturado
- n. Temperatura (salida) 35°C
- o. Pérdidas de agua por separación (evaporación) 10.0 l/min
- p. Equipo sometido a Succión
- q. Material de construcción Acero al carbón

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Campana de formación)

- a. Equipo Lavador de gases (sur)
- b. Gas a manejar Aire con resinas aldehídicas y fenólicas.
- c. Temperatura de los gases 69°C
- d. Flujo actual 1077.0 m³/min (Cd. México).
- e. Material particulado Fibras de vidrio
- f. Procedencia Extracción sur banda - - transportadora de la campana.
- g. Tamaño de partícula Fibras de vidrio de hasta 3 cm de longitud y - máximo 0.1 cm de diámetro
- h. Concentración de partículas 4.25 x 10⁻⁴ kg/m³
- i. Tipo de lavador Venturi
- j. Eficiencia Mínimo 90.0% total en peso
- k. Agua de lavado requerida 0.901 m³/min
- l. Caída de presión total 431.0 mm C.A.
- m. Flujo (cond. salida) 963.7 m³/min
- n. Temperatura (salida) 35.0°C
- o. Pérdidas de agua por separación (evaporación 10.0 l/min
- p. Equipo sometido a Succión
- q. Material de construcción Acero al carbón

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Campana de formación)

- a. Equipo Ventilador centrífugo (norte)
- b. Gas a manejar Aire saturado
- c. Temperatura de operación . . . 35°C
- d. Flujo actual 1077.0 m³/min (Cd. México)
- e. Presión estática 787.4 mm C.A.
- f. Accesorios complementarios ..
Puerta de descarga
Bridas de succión y descarga
Registro de inspección
Cople de drenaje
Cubre bandas
Juntas flexibles succión y
descarga
- g. Material de construcción..... Acero al carbón
- h. Motor 300 HP, 60 ciclos, 220/440
volts, 3 fases, 4 polos, -
construcción TCCVE
- i. Transmisión Poleas y bandas.

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Campana de formación)

- a. Equipo Ventilador centrífugo (sur)
- b. Gas a manejar Aire saturado
- c. Temperatura de operación 35°C
- d. Flujo actual 1077.0 m³/min (Cd. México)
- e. Presión estática 939.8 mm C.A.
- f. Accesorios complementarios... Compuerta de descarga
Bridas de succión y descarga
Registro de inspección
Cople de drenaje
Cubre bandas
Juntas felxibles succión y
descarga
- g. Material de construc-
ción Acero al carbón
- h. Motor 300 Hp, 60 ciclos, 220/440
volts, 3 fases, 4 polos, cons-
trucción TCCVE
- i. Transmisión Poleas y bandas.

IV. 4. Estufa de Curado

Para captar los humos en la entrada y salida de la estufa se propone instalar una campana que se encuentre parcialmente en casetada en cada uno de los puntos mencionados, las campanas manejarán el mismo flujo, $241.6 \text{ m}^3/\text{min.}$, éste flujo será constante para cualquier condición de operación de la estufa de curado.

También se propone efectuar la extracción de gases después de haber pasado a través del colchón de fibra de vidrio, ya que se encuentra en las condiciones de menos contenido de calor antes de ser recalentado en la cámara de combustión y recirculado. El flujo a manejar en cada punto de extracción variará según los requerimientos de calor para el producto, de manera que para las condiciones más críticas se opere con un flujo en cada sección como a continuación se indica:

Sección Norte	$116.2 \text{ m}^3/\text{min.}$
Sección Centro	$190.4 \text{ m}^3/\text{min.}$
Sección Sur	$70.9 \text{ m}^3/\text{min.}$

Debido a que cada sección manejará diferentes flujos para cada condición de operación, será necesario que cada ramal de ductería conste de una válvula tipo mariposa.

La velocidad de transporte en los ductos será de $1067 \text{ m}/\text{min.}$ debido al gran contenido de partículas y fibra de vidrio que arrastran los gases, además de los componentes incrustantes -

(resinas), se deberán colocar también registros de inspección cada 3 m de longitud en la ductería recta.

Para proporcionar la presión estática necesaria en cada extracción y vencer las pérdidas por fricción en ductería y caída de presión en el lavador de gases se requerirá de un ventilador centrífugo colocado después del lavador, dicho ventilador operará bajo las siguientes condiciones:

$$F = 813.2 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$T = 40.6^\circ\text{C}$$

$$PE = 747.1 \text{ mm CA}$$

Dicho ventilador descargará los gases a una chimenea de 1 m de diámetro y 16 de altura, la chimenea constará de una plata forma y puertos de muestreo.

El agua necesaria para el lavador de gases la proporcionará una bomba centrífuga con capacidad de $0.848 \text{ m}^3/\text{min}$ y 6 BHP de potencia.

NOTA: Para esta área se propone instalar el ventilador que actualmente se encuentra operando en el área norte de la campana de formación, sólo será necesario aumentar las RPM de dicho ventilador con un motor de 200 HP.

Los servicios auxiliares que se requerirán en esta área son:

- a. Agua de reposición para el lavador de gases, $36.0 \text{ l}/\text{min}$ a 15°C

- b. Corriente eléctrica trifásica a 60 ciclos y 440 volts para el funcionamiento de motores, en total serán necesarios 186.8 KVA

La lista de equipo y hojas de especificaciones se presenta a continuación:

- i. Bomba centrífuga del lavador de gases.
- ii. Lavador de gases
- iii. Ventilador centrífugo

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Estufa de curado)

- a. Equipo Bomba centrífuga (lavador de gases)
- b. Líquido a manejar Agua de recirculación con sólidos en suspensión.
- c. Temperatura de operación. 30.0°C
- d. Densidad a la temperatura de bombeo 0.99 kg/l
- e. Capacidad 901.0 l/min
- f. Viscosidad 0.75 cp
- g. Presión de descarga 1.9 atm (19.7 m)
- h. Material de construcción. Todo fierro con interiores de bronce
- i. Unidad motriz Motor eléctrico, 7.5 HP, 220/440 volts, 3 fases, 60 ciclos, 4 polos, construcción TCCVE, operación continua y acoplamiento flexible
- j. Impulsor de la bomba Semi-abierto
- k. NPSH requerido 1.8 m

Observaciones: Los sólidos corresponden a fibras de vidrio con longitud máxima de 0.5 cm y diámetro máximo de 0.1 cm. la bomba operará en la Cd. de México.

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Estudio de curado)

- a. Equipo Lavador de gases
- b. Gas a manejar Productos de combustión con resinas aldehídicas y fenólicas
- c. Temperatura de los gases..... 82.2°C
- d. Flujo actual 875.7 m³/min (Cd. México)
- e. Material particulado Fibras de vidrio
- f. Procedencia Extracción gases de recirculación y campanas en estufa.
- g. Tamaño de partícula Fibra de vidrio de hasta 3.0 cm de longitud y 0.1 cm diámetro
- h. Concentración de partículas 4.25 c 10⁻⁴ kg/m³
- i. Tipo de lavador Venturi
- j. Eficiencia Mínimo 90% total en peso
- k. Agua de lavado requerida . . . 848.0 l/min
0.34 atm (3.5 m) presión
- l. Caída de presión total 431.8 mm C.A.
- m. Flujo (cond. salida) 813.2 m³/min
- n. Temperatura (salida) 40.5°C
- o. Pérdidas de agua por separación (evaporación) 36.0 l/min.
- p. Equipo sometido a Succión
- q. Material de construcción . . . Acero al carbón

HOJA DE ESPECIFICACIONES

(Estufa de Curado)

- a. Equipo Ventilador centrífugo
- b. Gas a manejar Aire saturado
- c. Temperatura de operación . . 40.5°C
- d. Flujo actual 813.2 m³/min
- e. Presión estática 730.7 mm C.A.
- f. Accesorios complementarios... Compuerta de descarga
Bridas de succión y descarga
Registro de inspección
Cople de drenaje
Cubre bandas
- g. Material de construcción..... Acero al carbón
- h. Motor 200 HP, 60 ciclos, 220/440 volts
3 fases, 4 polos, construcción
TCCVE
- i. Transmisión Poleas y bandas

V

CONCLUSIONES

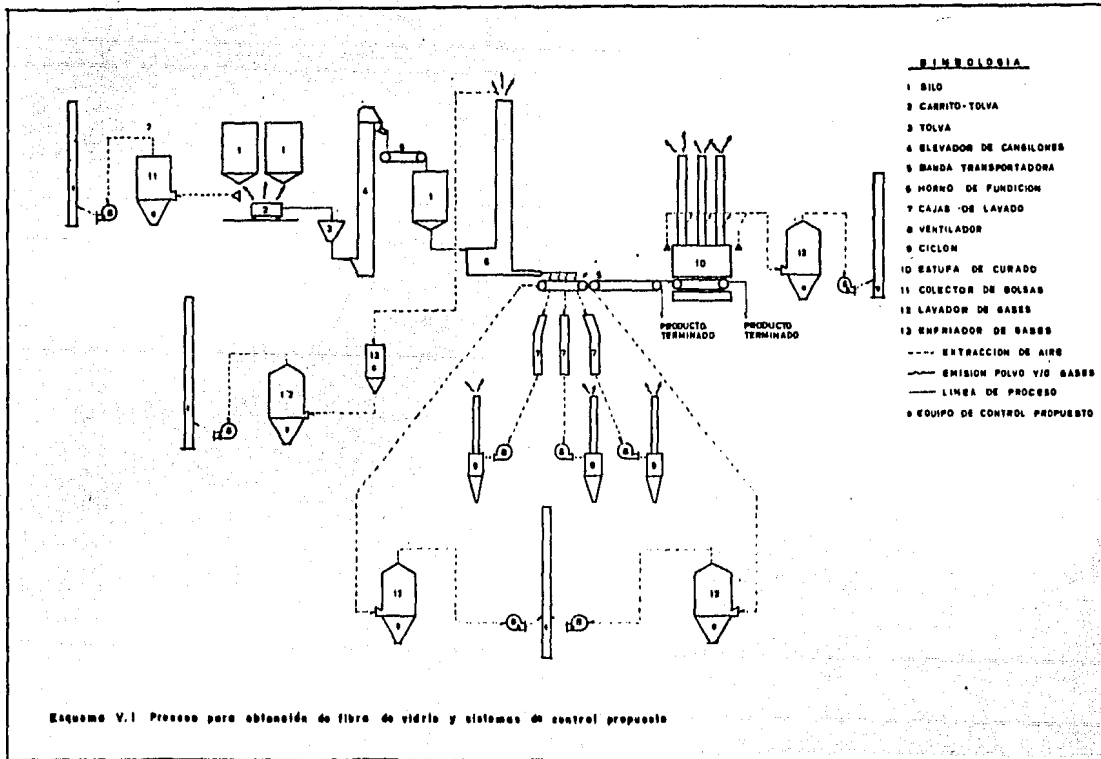
Para controlar las emisiones en el área de materias primas es necesario instalar un sistema para extracción que conste de 9 campanas y para colectar los polvos se deberá instalar un colector de bolsas con sacudimiento neumático, ver esquema VI.1

En el horno de fundición se requiere de un lavador de gases - de alta eficiencia (90% mínimo) debido al tamaño de partícula y humos que se emiten por la chimenea actualmente.

Las emisiones de partículas y humos en la campana de formación son realmente severas actualmente, razón por la que urge la instalación de dos lavadores de gases que operen con un mínimo de 90% de eficiencia sobre partículas de 3 micras de diámetro, ver esquema V.1.

Finalmente para la estufa de curado es necesario instalar un lavador de gases debido al alto contenido de partículas y resinas, además de tener un alto porcentaje de partículas menores de 6 micras. La eficiencia del equipo deberá ser del 90% mínimo.

Para cada una de las áreas anteriormente mencionadas, se deberá colocar un ventilador centrífugo después de cada equipo de control.



APENDICE "A"

MEMORIA DE CALCULO

AREA

MATERIAS PRIMAS

1. Determinación del Flujo a Manejar por cada Campana.
2. Cálculo de Diámetro de Ductos
3. Cálculo de la caída de presión en todo el sistema
4. Cálculo de la potencia requerida por el ventilador centrífugo.
5. Cálculo del área filtrante; colector de bolsas.
6. Nueva Guía de rata de filtración.
7. Lista de esquemas para el área de materias primas.

1. Determinación del flujo a manejar por cada capana.

El equipo para extracción estará constituido por una campana tipo canopy con una cortina de lona que cubrirá completamente tres de sus lados, mientras que el restante estará parcialmente cerrada, es decir, que sólo dejará un área abierta de 0.279 m^2 . (ver esquema A.1).

La velocidad de captura (v_c) recomendada para este tipo de partículas está basada en las referencias 2 y 14.

Por lo anteriormente descrito el flujo a manejar queda determinado por la expresión 1.

$$(1) \quad F = v_c \times A \quad ; \quad v_c = 107 \\ F = 29.85 \text{ m}^3/\text{min.}$$

2. Cálculo del diámetro de ductos.

La velocidad de transporte (v_t) recomendada en ductos es la que especifica la referencia 14 ($v_t = 1067$), de tal forma que empleando esta velocidad se asegurará que no se presente sedimentación de polvos en ductos, el área de flujo y diámetro se determinan por las expresiones 1 y 2 respectivamente.

$$(2) \quad D = \left[\frac{A \times 4}{\pi} \right]^{1/2} \quad ; \quad A = 0.028 \\ D = 0.189$$

3. Cálculo de la caída de presión en todo el sistema.

El esquema No. A.2 muestra el arreglo general para el sistema de extracción y control de polvos propuesto; éste constará de 9 campanas tipo canopy.

La caída de presión es debida a la fricción existente entre el fluido y las paredes del ducto, además de las -- turbulencias provocadas por cambios de dirección y energía cinética, el cálculo se determina con las expresiones 3 y 4.

NOTA: La nomenclatura corresponde al sistema internacional de unidades, a menos que se especifique lo contrario.

$$(3) \quad g = 2.74 \times \left[\frac{\left[\frac{v_t}{1000} \right]^{1.9}}{D^{1.22}} \right]$$

$$(4) \quad \Delta P = g \times \frac{L}{100}$$

donde: v_t = velocidad en ducto; pies/min.

D = diámetro del ducto; pulgadas

L = longitud recta equivalente total; pies

ΔP = caída de presión; pulg. columna de agua

El cálculo se realizó con un programa de calculadora Hewlett Packard 41-CV, los resultados obtenidos a condiciones estándar son los que se muestran en el papel impreso anexo.

La caída de presión en la campana para extracción y la presión velocidad requerida en la misma se determinaron por medio de las ecuaciones 5 y 6.

$$(5) \quad PV = \left[\frac{v_t}{4005} \right]^2$$

$$(6) \quad \Delta P_c = (0.25 PV) + PV$$

MAT PRIM			DIAMETRO=	7.4165	***	CODOS?	2.0000	RUN
	.2700	RUN	DIAMETRO?	7.5000	RUN		0.0000	RUN
FLUJO?	1.050.0000	RUN	VELOCIDAD=	3.422.4679	***		0.0000	RUN
VELOCIDAD?	3.500.0000	RUN	ENTRONQUES?	1.0000	RUN	LONGITUD?	11.5000	RUN
DIAMETRO=	7.4165	***	CODOS?	0.0000	RUN	PRES ESTATICA=	0.8051	***
DIAMETRO?	7.5000	RUN		0.0000	RUN	PRES EST COMB=	2.8930	***
VELOCIDAD=	3.422.4679	***		0.0000	RUN	FLUJO?	1.050.0000	RUN
ENTRONQUES?	1.0000	RUN	LONGITUD?	6.3000	RUN	VELOCIDAD?	3.500.0000	RUN
CODOS?	1.0000	RUN	PRES ESTATICA=	0.2045	***	DIAMETRO=	7.4165	***
	0.0000	RUN	PRES EST COMB=	1.5101	***	DIAMETRO?	10.0000	RUN
	2.0000	RUN	FLUJO?	1.050.0000	RUN	VELOCIDAD=	1.925.1382	***
	0.0000	RUN	VELOCIDAD?	3.500.0000	RUN	ENTRONQUES?	1.0000	RUN
LONGITUD?	7.7000	RUN	DIAMETRO=	7.4165	***	CODOS?	2.0000	RUN
PRES ESTATICA=	0.7120	***	DIAMETRO?	7.5000	RUN		0.0000	RUN
PRES EST COMB=	0.7120	***	VELOCIDAD=	3.422.4679	***		0.0000	RUN
FLUJO?	1.050.0000	RUN	ENTRONQUES?	1.0000	RUN	LONGITUD?	6.0000	RUN
VELOCIDAD?	3.500.0000	RUN	CODOS?	0.0000	RUN	PRES ESTATICA=	0.2007	***
DIAMETRO=	7.4165	***		2.0000	RUN	PRES EST COMB=	3.0938	***
DIAMETRO?	7.5000	RUN		0.0000	RUN			
VELOCIDAD=	3.422.4679	***	LONGITUD?	7.5000	RUN			
ENTRONQUES?	1.0000	RUN	PRES ESTATICA=	0.5778	***			
CODOS?	0.0000	RUN	PRES EST COMB=	2.0079	***			
		RUN	FLUJO?	1.050.0000	RUN			
		RUN	VELOCIDAD?	3.500.0000	RUN			
LONGITUD?	15.7000	RUN	DIAMETRO=	7.4165	***			
PRES ESTATICA=	0.5120	***	DIAMETRO?	7.5000	RUN			
PRES EST COMB=	1.2256	***	VELOCIDAD=	3.422.4679	***			
FLUJO?	1.050.0000	RUN	ENTRONQUES?	1.0000	RUN			
VELOCIDAD?	3.500.0000	RUN						

donde:

$P V$ = Presión velocidad; pulg. C. A.

ΔP_c = Caída de presión en la campana; pulg. C. A.

De acuerdo al cálculo realizado por las ecuaciones anteriores, la caída de presión total en ductos (incluye campana) a condiciones estándar es de 102.7 m.m. C. A.

pasando a condiciones actuales (Cd. de México) por medio de la ecuación 7 se obtiene:

$$(7) \quad \Delta P^a = \Delta P \quad x \quad \frac{P_2}{P_1} \quad x \quad \frac{T_1}{T_2}$$

$$\Delta P^a = 79.1 \text{ mm C.A.}$$

El colector de polvos tipo bolsas sacudimiento neumático provoca una caída de presión de 152.4 mm C. A. como máximo a condiciones actuales, de tal forma que la caída de presión total del sistema a condiciones actuales será de:

$$\Delta P_t = 231.5 \text{ mm C. A. (9.1 pulg. C. A.)}$$

4. Cálculo de la potencia requerida por el ventilador --centrífugo.

La potencia del motor para el ventilador está determi

nado por la expresión 8 y se obtiene (se supondrá una eficiencia del 50%):

$$(8) \quad \text{BHP} = \frac{2.122 \times 10^{-4} \times F \times \text{PE}}{\eta}$$

$$\text{BHP} = 2.9$$

Se recomienda la instalación de un motor de 5 HP de potencia.

5. Cálculo del área filtrante; colector de bolsas.

El área filtrante es función de la concentración y -- distribución del tamaño de partícula, para calcular esta área se empleó la referencia 11 (ver sección 6 de este apéndice) y la expresión 9.

$$(9) \quad A = 3.279 \times \frac{F}{\text{RF}}$$

la relación de filtrado se obtiene a partir de los siguientes valores:

A' = 10.0 tipo de material particulado

B' = 1.0 uso y aplicación

C' = 1.0 temperatura de operación.

D' = 0.9 finura del material

E' = 1.0 carga de polvos.

$$\text{RF} = A' \times B' \times C' \times D' \times E'$$

$$\text{RF} = 9.0$$

El área mínima que deberá tener el colector de bolsas es de 10.9 m.^2 , y se requerirá aproximadamente de 0.91 m^3 /min. a 6.8 atm. de aire comprimido para el sacudimiento y limpieza de las bolsas, el material de las bolsas filtrantes se recomienda que sea de poliéster.

La eficiencia del equipo colector para polvos tipo --bolsas se estima en + 99% para partículas mayores a 1 micra.

6. Nueva Guía de Rata de Filtración

La mayoría de quienes utilizan y suministran colectores de polvo a base de material filtrante de tela estarán de acuerdo en que un recolector de filtro o mangas nunca puede ser demasiado grande. Una mayor extensión de área filtrante significa una menor pérdida de presión, una mayor reserva en la capacidad de expansión o recargos, y -- una vida más larga para el medio filtrante.

Sin embargo, las realidades financieras de la vida obligan a utilizar un colector de material filtrante de te la que no tenga cantidades superfluas extravagantes de me dio filtrante.

Entonces, el problema consiste en seleccionar la rata

de filtración más alta consistente con una buena operación (velocidad a través del medio filtrante expresada en pies cúbicos por minuto de volúmen de aire/pies cuadrado de área filtrante, o pies por minuto o sus equivalentes métricos).

Muchos factores intervienen en el trabajo de un material filtrante.

La lista siguiente resume los principales de estos:

FACTORES DEL MATERIAL

(Materia en Partícula)

Finura y distribución de tamaño

Forma de la partícula

Tendencias de aglomeración

Carga estática o tendencias a ésta

Otras propiedades físicas (adhesión, sublimación, delicadeza).

Propiedades químicas (cristalización, polimerización, reactividad).

FACTORES DEL SISTEMA

Constituyentes del gas

Carga

Limitaciones del medio filtrante.

Temperatura

Humedad

Presión diferencial deseada

Turbulencia

Origen del polvo

La función precisa de cada factor no puede definirse en forma fácil y matemática; algunas de éstas variables-desafían a la lógica casi en forma completa. Por eso, - el uso de colectores aún continúa siendo algo de arte -- donde la experiencia en muchas industrias, y también algo de intuición, deben tomarse en cuenta.

La Guía de Rata de Filtración intenta buscar una definición de los factores más importantes que permita engrado suficiente obtener una buena selección de equipo. Naturalmente, no pretende reemplazar el buen juicio, y - debe considerarse como una Guía sujeta a la interpretación del fabricante del recolector de polvo que se está estudiando. El objetivo que se busca en cuanto a operación del apartado es un equilibrio en la presión diferencial de 2 a 4 pulgadas W.G.S. (7.6 a 10 cts.) a través - del medio filtrante bajo las condiciones de carga para - las cuales se diseñó el aparato.

La aplicación de esta guía es válida para recolectores de alto rendimiento, o alta rata de filtración, (o - velocidad), los cuales generalmente utilizan un medio --

filtrante de felpa combinando con frecuente y completa limpieza de éste. Como ejemplos citamos las unidades de tipo de chorro de impulso para su limpieza y los de anillo limpiador.

Una extensión prudente de los resultados de ésta guía se puede aplicar a los colectores tipo batidor, (de medio filtrante tejido y limpieza menos frecuente) dividiendo la rata de filtración de ésta guía por 4 ó 5.

Note, sin embargo que las cargas muy altas de polvo que se admiten en las unidades de alto rendimiento pueden resultar totalmente inadecuadas para los recolectores tipo batidor: muchas variables adicionales deberán considerarse al pretender hacer ésta extrapolación, tales como prelimpiadores, entradas especiales, por lo cual resulta aconsejable obtener las ratas de filtración correspondientes de los fabricantes de cada uno de éstos tipos de aparatos. Esta guía se compone de 5 factores que se multiplican juntos para llegar a una rata de filtración. Estos son:

A. Este Factor se obtiene de la Tabla A. Es una función del material propiamente dicho, combinando los muchos factores que efectúan la filtración. Este fac

tor puede determinarse mediante prueba de laboratorio, pero resulta mucho mejor la experiencia en multitud de industrias sobre un determinado material, ya que con frecuencia se requieren períodos de operación más largos para llegar al equilibrio cierto. El dato que generalmente se utiliza es la operación a la temperatura ambiente con polvo de un tamaño promedio de 10 a 50 micrones y una carga de aproximadamente 10 granos por pie cúbico, originaria de polvo de desecho.

B. Factor de Aplicación. Obviamente una operación en proceso, con sus consecuentes alteraciones deberá tratarse en forma diferente a la simple operación de recolección aislada de un material determinado. Este factor pretende clasificar las aplicaciones o usos más comunes.

C. Efectos de La Temperatura. La experiencia ha demostrado que se requiere más área filtrante a medida que aumenta la temperatura como se demuestra en la curva "C". La explicación de esto consiste probablemente en un aumento de la viscosidad del gas en proporción a la temperatura. Esto eventualmente se compensa por una densidad reducida y, por lo tanto, la curva es asintomática hasta un valor de aproximadamente 0.7 a 250° F (121°C).

D. Factor de Finura. Este factor obvio necesita poca explicación. A veces es difícil divorciar la finura del material de su carácter. En general, los humos tienen un factor "A" bajo debido a la finura.

E. Curva de Carga de Polvo. Esta curva es la curva típica de rendimiento de un recolector con limpieza a base de chorro de pulsación o a base de anillo limpiador, calculada la curva en base a una presión diferencial constante. Generalmente se vuelve asintomática hasta un punto determinado de pies cúbicos por minuto en relación a pies cuadrados de material filtrante, o sus equivalentes métricos lo cual quiere decir que después de una cierta carga, normalmente por encima de 100 granos por pié cúbico, un determinado colector puede manejar más material sin que se rebaje la proporción de pies cúbicos por minuto de volúmen a pies cuadrados de área filtrante o sus equivalentes métricos. La probable razón de ésto consiste en el hecho de que el aire se satura de polvo lo mismo que se puede saturar de agua, y sencillamente llega a un punto donde no puede contener más polvo, por lo cual la superficie filtrante recibe una acumulación limitada por la saturación del aire en relación al tiempo de operación de la unidad.

dica la curva típica de comportamiento de un Colector con limpieza a base de chorro de Impulso o de anillos limpiadores sopladores.

PROBLEMAS DE EJEMPLO

1. Datos: Un aire conteniendo un polvo de desperdicio de piedra caliza, con una carga de 10 granos por pie cúbico. (max).

Temperatura ambiental al clima 10,000 pies cúbicos por minuto de volúmen.

Polvo a recolectarse esencialmente a 325 mallas.

Se busca: Relación Filtrante para determinar el área de material filtrante.

Solución: A = 10

B = 1.0

C = 1.0

D = 1.0

E = 1.0

Relación Filtrante = $10 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 10$ pies cúbicos por cada pie cuadrado de área filtrante.

Extrapolación a Colector de batidor: Rel. Filtrante =

10 - 5 ÷ 2 pies cu/min. por cada pie 2 área filtrante (6 10/4 = 2.5).

10,000 pies cu/min/2 ó 2.5 = 4,000 5,000 pies cuadrados de área filtrante.

2. Datos: 4,000 pies cúbicos por minuto de volúmen Polvo de Pigmentación, 2,000 lbs/hora.

Efluente de un MIKRO-ATOMIZADOR (Pulverizador de molienda fina que produce partícula de un tamaño promedio de 5 micrones) a 60°C.

Se busca: Relación Filtrante

Solución: A = 9.0

B = 0.9

C = 0.8

D = 0.9

E = 0.85

Relación Filtrante =

$9.0 \times 0.9 \times 0.8 \times 0.9 \times 0.85 = 4.95$ pies cu/min. por pie cuadrado de área filtrante.

Por lo tanto, $4000/4.95 = 810$ pies cuadrados de área filtrante son los requeridos.

3. Datos: 36 000 acfm de efluente de un secador de dispersión Polvo de Resina sintética de tamaño promedio de 20 a 30μ (con finos hasta de 0.5μ) en cantidad de 1 500 lbs/hora.

Se busca: Relación Filtrante

$$\text{Granos por pie cu.} = \frac{1\ 500}{60} \times \frac{7\ 000}{36\ 000} = 4.9$$

Solución: A = 9.0

B = 0.8

C = 0.78

D = 1.0

E = 1.0

Relación Filtrante =

$9.0 \times 0.8 \times 0.78 \times 1.0 \times 1.0 = 5.6$ pies cu/min por pie -
cuadrado de área filtrante.

Por lo tanto, se requiere aproximadamente 6 500 pies cua-
drados (604 m^2) de área filtrante.

TABLA "A"

M U L T I P L I C A D O R

A 15 12 10 9.0 6.0**

Mezcla Pastelería	Asbestos	Alumina	Fertilizante de	Carbón Activado
Polvo de Cartón	Polvo Mate	Aspirina	Fosfato de	Negro de Humo
Cacao	Material Fibroso	Negro de Humo	Amoniaco	(Molecular)
Concentrados para	y Celulosa	(Acabado)	Coque	Humos y otros
Animales	Residuo de	Cemento	Tierra Diatomácea	productos dis-
Harina	Fundición	Pigmentos de	Petroquímicos	persos resul-
Granos	Yeso	Cerámicas	Secos	tantes direc-
Polvillo de Cueros	Soda Cáustica	Arcillas y Polvillos	Tinturas	tos de reac-
Aserrín	Perlita	de Ladrillo	Ceniza dispersa	ciones.
Tabaco	Químicos del	Carbón	Polvo Metálico	Leche en Polvo
	Caucho	Fluorospato	Oxido Metálico	Jabones
	Sal	Chicle Natural	Pigmentos Metáli-	
	Arena	Caolín	cos y Sintéticos	
	Polvo de Arenillas	Carbonatos	Plásticos	
		Percloratos	Resinas	
		Polvo de Cantera	Silicatos	
		Minerales y	Almidones	
		aluviones	Estearatos	
		Sílica	Acido Tánico	
		Acido Sorbico		
		Azúcar		

* Materiales físicamente y químicamente estables en general.

** Incluye también aquellos sólidos que en su estado físico o químico son inestables a causa de su naturaleza higroscópica, sublimación y/o polimerización.

TABLA "B"

USO / APLICACION	FACTOR B
RECOLECCION DE DESPERDICIOS	1.0
Descarga o Alivio en puntos de Transferencia, Transportadores, Lugares de Empaque, etc.	
RECOLECCION DE PRODUCTO	0.9
Transporte Neumático de Molinos, Secadores de Dispersión, Clasificadores, etc.	
FILTRACION DE GASES DE PROCESO	0.8
Secadores de Dispersión, Secadores de calor, Reactores, etc.	

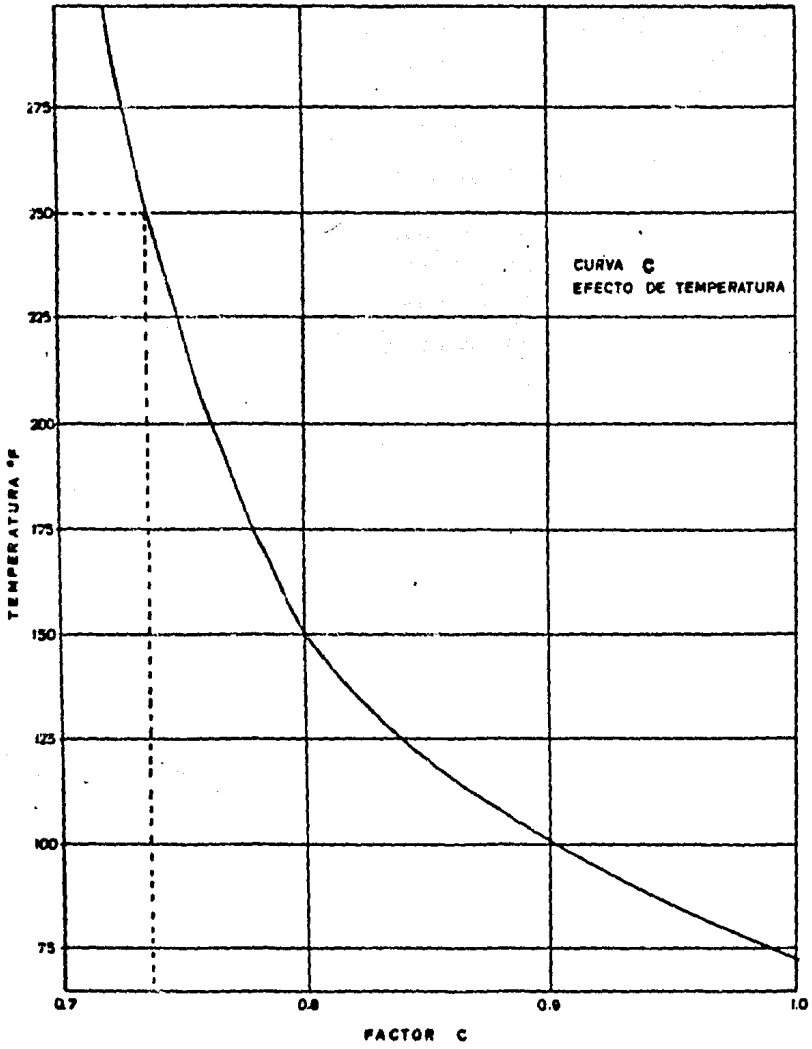
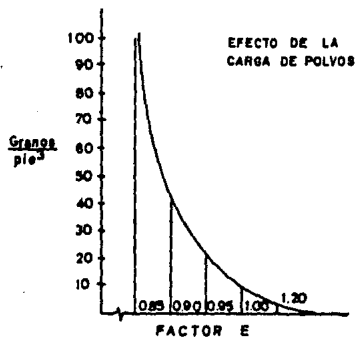


TABLA "D"

FINURA	FACTOR D
Más de 100 Micrones	1.2
50 a 100 Micrones	1.1
10 a 50 Micrones	1.0
3 a 10 Micrones	0.9
Menos de 3 Micrones	0.8

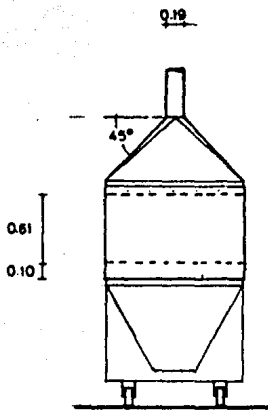
TABLA "E"



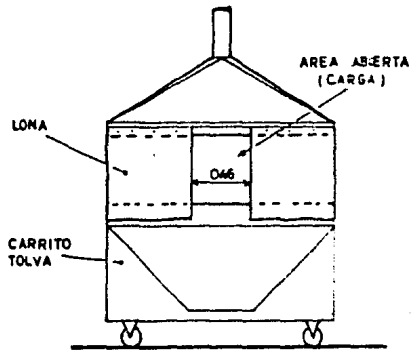
La Tabla "E" demuestra el efecto de la carga de polvo, e in-

7. Lista de Esquemas para el Area de Materias Primas

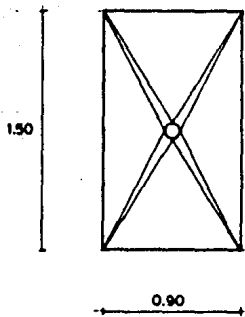
- A. 1. Campana Tipo Canopy
- A. 2. Arreglo General para el Sistema de Extracción en el Area de Materias Primas.



VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL

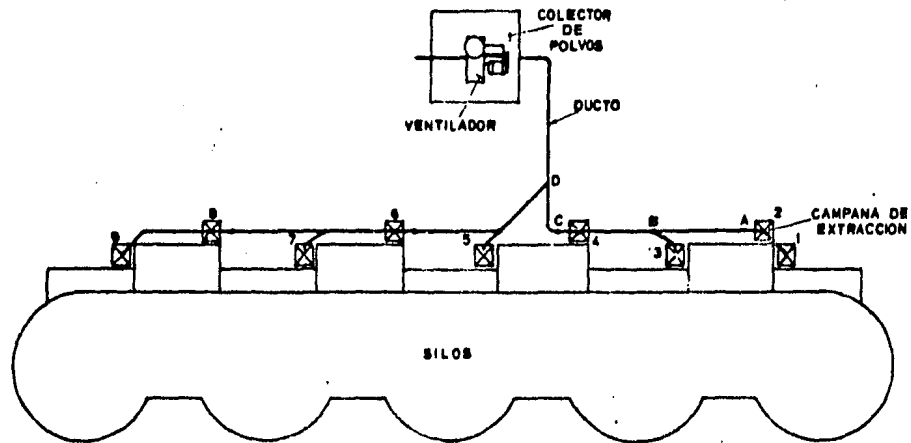


PLANTA

NOTAS:

- a.- ACOTACIONES EN METROS
- b.- N. P. T. NIVEL DE PISO TERMINADO
- c.- AREA MAXIMA ABIERTA PARA OPERACION DE CARGA ; 0.279 m²

Esquema A.I. Campana tipo canopy



PLANTA

SECCION	FLUJO [m ³ /min]	DIAMETRO [mts]	CAIDA DE PRESION [mm de CA]
I - A	29.85	0.189	18.1
A - B	29.85	0.189	13.0
B - C	29.85	0.189	7.2
C - D	29.85	0.189	14.7
D - Colector	29.85	0.189	20.4
Colector-Chimenea	29.85	0.254	5.1

NOTAS:

- a CONDICIONES ESTANDAR; 15.5°C Y 1 ATMOSFERA.
- b DUCTO DE DIAMETRO IGUAL EN TODO EL SISTEMA.
- c CAIDA DE PRESION TOTAL EN DUCTOS = 79.5mm C.A.

Esquema A.2 Arreglo general para el sistema de extracción en el área de Materias Primas.

APENDICE "B"

MEMORIA DE CALCULO

AREA

HORNO DE FUNDICION

1. Cálculo del oxígeno estequiométrico para combustión.
2. Cálculo de la cantidad de productos de combustión.
3. Cálculo del flujo en masa de los productos de combustión.
4. Cálculo del volumen de los productos de combustión.
5. Cálculo de la entalpia para los productos de combustión y calor total.
6. Cálculo de la cantidad de aire de enfriamiento por dilución.
7. Modificación del flujo por efecto de succión del ventilador.
8. Cálculo del diámetro de ducto entre capuchón y enfriador (quencher).
9. Determinación de pérdidas de calor por convección y radiación en ductería entre capuchón y enfriador.
10. Cálculo de la cantidad de agua para enfriamiento (quencher).
11. Cálculo de pérdidas de calor en ductería por convección y radiación entre el enfriador (quencher) y lavador de gases.

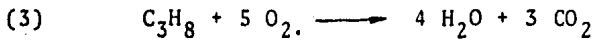
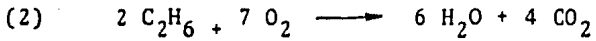
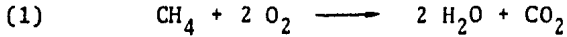
12. Selección de tamaño del lavador de gases (tipo Venturi) y cálculo del volumen de gases en la descarga del separador.
13. Diseño comparativo de eficiencia entre un lavador de gases y un ciclón.
14. Cálculo de la caída de presión en todo el sistema.
15. Cálculo de la potencia necesaria para la bomba de agua del lavador de gases.
16. Cálculo de la potencia requerida en la bomba para el enfriador (quencher).
17. Cálculo de la potencia necesaria del ventilador centrífugo.
18. Esquema B.2. "Diagrama de Flujo del Sistema de extracción y control propuesto".

1. La base de cálculo para el diseño del flujo a manejar en el equipo de control anticontaminante está fundamentada en la información proporcionada por la planta.

La temperatura en el hogar del horno es de 1410°C y para ello se requiere de un consumo de combustible de $8.0\text{ m}^3/\text{min}$. de gas natural, la composición del gas que provee normalmente PEMEX es la siguiente:

Metano, CH_4	92.6% volumen
Etano, C_2H_6	6.1% volumen
Propano, C_3H_8	1.3% volumen

tomando en cuenta la combustión completa para las tres reacciones anteriores y balanceando el número de moles se obtiene:



para conocer el número de moles alimentados de gas natural por minuto a condiciones de 25°C y una presión absoluta en el quemador de 0.837 atm. es necesario emplear la siguiente expresión,

$$(4) \quad \begin{aligned} PV &= nRT \\ n &= 273.8 \end{aligned}$$

la cantidad estequiométrica de oxígeno requerida para 273.8-gmol de gas se calcula de la siguiente manera considerando como base 100 gmol. de combustible.

a. - metano:

$$x = \frac{92.6 \times 2}{1} \quad x = 185.20$$

b. - etano

$$x = \frac{6.1 \times 7}{2} \quad x = 21.35$$

c. - propano

$$x = \frac{1.3 \times 5}{1} \quad x = \frac{6.5}{213.05}$$

como para 100 gmol de gas se requieren 213.05 gmol de oxígeno, para 273.8 gmol se necesitan:

$$\frac{213.05}{100} \times 273.8 = 583.4 \text{ gmol de oxígeno}$$

la composición promedio de aire ambiente en la ciudad de México es:

Nitrógeno, N ₂	79% volumen
Oxígeno, O ₂	19% volumen
Bióxido de Carbono, CO ₂	1% volumen
Monóxido de Carbono, CO	1% volumen

comunmente para un horno de fundición de vidrio se emplea un 40% de exceso de aire (ref. 2) con respecto al estequiométrico, de manera que se requiere alimentar el quemador la siguiente cantidad de aire:

$$n_{ae} = \frac{100 \text{ gmol aire}}{19 \text{ gmol O}_2} \times 583.4 \text{ gmol O}_2$$

$$n_{ae} = 3070.8 \text{ gmol aire}$$

con un 40% de exceso obtenemos (n_a):

$$n_a = 4,299.1 \text{ gmol aire}$$

2. Cálculo de la Cantidad de productos de combustión.

Debido a que se está considerando una combustión completa pa

ra las tres reacciones sólo esperamos los siguientes productos:

- agua, y
- bióxido de carbono

Reacción (1)

$$Y_1 = \frac{2 \text{ gmol H}_2\text{O}}{2 \text{ gmol O}_2} \times 185.20 \text{ gmol O}_2 = 185.20$$

$$Z_1 = \frac{1 \text{ gmol CO}_2}{2 \text{ gmol O}_2} \times 185.20 \text{ gmol O}_2 = 92.60$$

Reacción (2)

$$Y_2 = \frac{6 \text{ gmol H}_2\text{O}}{7 \text{ gmol O}_2} \times 21.35 \text{ gmol O}_2 = 18.30$$

$$Z_2 = \frac{4 \text{ gmol CO}_2}{7 \text{ gmol O}_2} \times 21.35 \text{ gmol O}_2 = 12.20$$

Reacción (3)

$$Y_3 = \frac{4 \text{ gmol H}_2\text{O}}{5 \text{ gmol O}_2} \times 6.50 \text{ gmol O}_2 = 5.20$$

$$Z_3 = \frac{3 \text{ gmol CO}_2}{5 \text{ gmol O}_2} \times 6.50 \text{ gmol O}_2 = 3.90$$

Sumando los gmol de cada reacción se obtiene un total de:

208.70 gmol de agua

108.70 gmol de bióxido de carbono

Debido a que el aire ambiente también contiene agua (humedad) es necesario contabilizar esta cantidad, para ello se tomó -- como base la información proporcionada por la oficina central del "Servicio Meterológico Nacional", el promedio durante los diez últimos años en la zona metropolitana fué de:

60% humedad relativa

25° C Temperatura

leyendo en la carta psicométrica de la ciudad de México, se encuentra que la humedad absoluta es igual a:

$$H = 0.015$$

esto significa que el aire para combustión lleva consigo la siguiente cantidad de agua.

$$(5) \quad m_a = n_a \times PM_a \times 0.001$$

$$(6) \quad m_h = m_a \times H$$

$$(7) \quad n_h = \frac{m_h \times 1000}{PM_h}$$

$$m_a = 124.67 \text{ kg.}$$

$$m_h = 1.87 \text{ kg}$$

$$n_h = 103.88 \text{ gmol.}$$

mismos que en por ciento de gmol de inertes que acompañan al

aire tendremos:

$$(8) \text{ Agua (H}_2\text{O)} \% \text{ mol} = \frac{n_h}{n_a + n_h} = 0.024$$

tomando en cuenta este porcentaje de humedad, la nueva composición de los gases de combustión, los gmol de inerte que acompañan al aire estequiométrico para combustión y el 40% de exceso se determinaron por las ecuaciones 9, 10 y 11, son presentados los resultados en la tabla B 1.

$$(9) \% \text{ mol}_i = f_i \times (1 - f_h)$$

$$(10) n_i = \% \text{ mol}_i \times (n_{ae} + n_h)$$

$$(11) n_i = \% \text{ mol}_i \times (n_a + n_h^e - n_{ae})$$

TABLA B 1

Flujo Total de Inertes a la Entrada del Horno

Componente	Composición (% mol)	Flujo Estequiométrico (gmol)	Flujo Exceso (gmol)	Total Inertes (gmol)
H ₂ O	0.024	75.48	28.4	103.88
N ₂	0.771	2425.91	969.75	3395.66
O ₂	0.185	583.45	232.69	*232.68
CO ₂	0.010	30.70	12.57	43.27
CO	0.010	30.70	12.57	43.27
	1.000	3146.25	1255.98	3818.78

Nota: *Los gmol de oxígeno obtenidos para combustión no se consideran, ya que reaccionan completamente, ver sección 1.

Sumando cada uno de los componentes de la tabla B.1, así como agua y bióxido de carbono generado por la combustión se tiene lo reportado en la tabla B 2.

TABLA B.2

Productos de Combustión Total

Componente	Composición (% mol)	Flujo (gmol)
H ₂ O	0.0756	312.58
N ₂	0.8210	3 395.66
O ₂	0.0563	232.69
CO ₂	0.0367	151.97
CO	0.0105	43.27
	1.0000	4 136.17

3. Cálculo del flujo en masa de los productos de combustión.

Empleando las expresiones 12 y 13 y los datos de la tabla B.2 se encuentra lo reportado en la tabla B.3.

$$(12) \quad m_i = 0.001 \times n_i \times PM_i$$

$$(13) \quad PM_p = \sum_{i=1}^3 (f_{oi} \times PM_i)$$

$$PM_p = 28.69$$

TABLA B.3

Flujo Másico de los Productos de Combustión.

Componente	Composición (% peso)	Flujo (kg/min)
H ₂ O	0.0485	5.63
N ₂	0.8193	95.08
O ₂	0.0642	7.44
CO ₂	0.0576	6.69
CO	0.0104	1.21
	1.0000	116.05

4. Cálculo del volúmen de los productos de combustión

La presión estática dentro del horno de fundición es de --- -
 -3.3×10^{-4} atm (-0.13 pulg. C. A., ref. 2) y a la tempe--
ratura de operación (ver sección 1) así como los gmol totales
ver sección 2) que ocupan un volumen determinado por la expre
sión 14.

$$(14) \quad PV = nRT$$
$$V = 741771.9 \text{ l}$$

debido a que en la sección 1 se especificó que la base de cal
culo es un minuto para alimentación de combustible, el flujo-
en el horno es de $741.772 \text{ m}^3/\text{min}$.

5. Cálculo de la entalpia para los productos de combustión y
calor total.

A partir de las referencias 2 y 21 se calculan las entalpías para cada uno de los componentes a la temperatura de operación y con los flujos másicos (ver sección 3) se determina el flujo total de calor, empleando la ecuación 15 se obtiene lo reportado en la tabla B.4.

$$(15) Q_i = \dot{m}_i \times E_i$$

TABLA B.4

Flujo de Calor por Combustión			
Componente	\dot{m}_i (kg/min)	E_i (10^{-3}) (Joule/kg)	Q_i (10^{-3}) (Joule/min)
H ₂ O	5.63	3 197.76	18 003.39
N ₂	95.08	1 625.79	154 580.11
O ₂	7.44	1 501.39	11 170.34
CO ₂	6.69	1 671.77	11 184.14
CO	1.21	1 639.91	1 984.29
	116.05	-	196 922.28

6. Cálculo de la cantidad de aire de enfriamiento por dilución.

Se midió directamente en campo la temperatura de salida para los gases productos de combustión descargados por la chimenea y se encontró era de 850°C. Esto significa que actualmente los gases se enfrían de 1410°C a 850°C por efecto de pérdidas de calor en el cuerpo del horno y aire de dilución (ver esquema B.1), este aire entra por el espacio que existe

2.5 m por 1.40 m de cada lado

c. Temperatura a la descarga del tramo de acero al carbón; 850°C.

d. El aire de dilución es por tiro natural.

Tomando en cuenta que a la descarga de la chimenea se tendrá una composición muy similar a la del aire ambiente, ver tabla B.2 (gases combustión + aire exceso combustión + aire dilución) de la referencia 2 podemos encontrar que para $T = 850^{\circ}\text{C}$ el aire posee una entalpia de:

$$E_m = 898,384.94$$

por medio de un balance de materia y energía se llega a las expresiones 16 y 17.

$$(16) \quad Q_m = \frac{Q + Q_x}{m + m_x}$$

$$(17) \quad Q_x = m_x \times E_x$$

en donde se tienen dos ecuaciones y tres incógnitas. Además se conocen las condiciones de temperatura a que se encuentra este aire de dilución en la vecindad de la transición entre el refractario y el acero al carbón, mismas que son las siguientes:

$$T = 40^{\circ}\text{C}$$

$$P = 0.77 \text{ atm.}$$

$$E_x = 24\,562.56$$

las ecuaciones 16 y 17 se resuelven por prueba y error (iteración)

ción), siendo la solución las siguientes cantidades:

$$\begin{aligned}m_x &= 105.33 \\Q_x &= 2\,587.13 \times 10^3 \\Q_m &= 898837.6 \text{ Joule/kg.}\end{aligned}$$

bajo estas nuevas condiciones el flujo en masa es de:

$$\begin{aligned}m &= 116.05 + 105.33 \\m &= 221.38 \text{ kg/min.}\end{aligned}$$

este flujo másico convirtiéndolo a volumen empleando las expresiones 14 y 18 se obtiene:

$$\begin{aligned}(18) \quad n &= \frac{1000 \times m}{PM} \\V &= 913498.84 \text{ l} \\V &= 913.499 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Resumiendo, actualmente la descarga en la chimenea del horno de fundición se encuentra operando a las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned}m &= 221.38 \text{ kg/min} \\F &= 913.499 \text{ m}^3/\text{min} \\T &= 850^\circ \text{ C}\end{aligned}$$

7. Modificación del Flujo por Efecto de Succión del Ventilador.

El diseño para captar los gases de salida en la chimenea del horno es por medio de un capuchón que estará acoplado en la

mejor forma posible al ducto que actualmente se tiene instalado, para así evitar al máximo que por efecto de succión se vaya a tener una dilución secundaria con aire ambiente, más aún, la dilución que se tiene entre el refractario y el ducto de acero al carbón, es dificultosa tratar de evitarla, razón por la cual, se considerará un 15% más de exceso en masa con respecto al actual. Por todo lo anteriormente expuesto el nuevo flujo a manejar será:

$$m_x^e = 1.15 \times m_x = 121.13$$

$$m = 236.39$$

por lo tanto, la temperatura de mezcla será menor de 850°C - debido a este exceso, empleando la ecuación 16 se obtiene:

$$Q_m = 840,405.4$$

de la referencia 2 se encuentra que equivale a:

$$T = 798.5^\circ\text{C}$$

nuevamente empleamos las ecuaciones 14 y 18 para obtener:

$$V = 930\,743.82 \text{ l}$$

$$F = 930.744 \text{ m}^3/\text{min}$$

8. Cálculo del diámetro de ducto entre capuchón y enfriador (quencher).

La velocidad de diseño para gases que transportan partículas es de 1066.8 m/min, por medio de las ecuaciones 19 y 20 se encuentra:

$$(19) F = v \times A$$

$$(20) A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$D = 1.05$$

9. Determinación de pérdidas de calor por convección y radiación en ductería entre capuchón y enfriador.

De las referencias 2, 4 y 21, se obtienen las expresiones para calcular los coeficientes de transferencia de calor y -- por un balance de energía se encuentran las condiciones de temperatura y volumen a que llegan los gases al enfriador.

Para localizar las condiciones n referirse al esquema B.2 - (en esta única sección se trabajará con unidades de sistema inglés a menos que se indique lo contrario en nomenclatura).

$$T_3 = 1469.3^\circ \text{ F}$$

$$m_3 = 520.68 \text{ lb.}$$

Suponiendo

$$T_4 = 1415^\circ \text{ F y } T_w = 590^\circ \text{ F}$$

$$(21) \Delta E = E_3 - E_4$$

$$(22) Q = m_3 \times \Delta E$$

$$(23) \Delta T = \frac{(T_3 - T_0)(T_4 - T_0)}{T_3 - T_0}$$

$$(24) R_e = \frac{D \times M}{\mu} \left[\frac{\ln (T_3 - T_0)}{(T_4 - T_0)} \right]$$

por medio de gráfica y con ayuda de la expresión 24 se determinó el valor de j_H :

$$j_H = 250$$

sustituyendo datos en las expresiones 25 y 26

$$(25) \quad h_i = j_h \times \frac{k}{D} \times (P_r)^{\frac{1}{3}}$$

$$(26) \quad h_{io} = h_i \times \left[\frac{D_{ext}}{D_{int}} \right]$$

$$h_{io} = 2.073$$

para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación se emplearán las expresiones 27 y 28:

$$(27) \quad h_c = 0.27 \left[\frac{\Delta T}{D_{ext}} \right]^{0.25}$$

$$(28) \quad h_r = \epsilon \times \sigma \times \frac{(T_3^4 - T_4^4)}{(T_3 - T_4)}$$

donde $h_o = h_c + h_r$

obteniendose así:

$$h_o = 0.937 + 2.520 = 3.457$$

$$(29) \quad A_d = \frac{Q_o}{(U_o \times h_o)}$$

$$(30) \quad U_o = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

debido a que toda ésta secuencia de cálculo es iterativa, para corroborar lo supuesto es necesario comparar el resultado de la expresión 29 con el área disponible realmente a la trans

ferencia de calor, de esta manera tenemos:

$$A_r = 240.0 \text{ pie}^2$$

$$A_d = 242.8 \text{ pie}^2$$

10. Cálculo de la cantidad de agua para enfriamiento (quencher).

Los gases se enfriarán desde 768.3°C (1415° F) hasta 148.8°C (299.8°F), para ello se empleará agua limpia a 20°C (68°F) - en la siguiente cantidad a determinar, sustituyendo datos en las expresiones 21 y 22 se encuentra:

$$\Delta E = 667562.0$$

$$Q_o = 157\,803.6 \times 10^3$$

por medio de la expresión 31 se calcula el calor absorbido - por 1.0 kg de agua para ser evaporada.

$$(31) \quad Q_f = h_g (148.8^\circ\text{C}, 0.77 \text{ atm}) - h_f(20^\circ\text{C}, 0.77 \text{ atm})$$

$$Q_f = 2651.7 \times 10^3$$

la cantidad de agua para enfriamiento requerida estará de - terminada por la expresión 32:

$$(32) \quad W_t = \frac{Q_o}{Q_f}$$

$$W_t = 59.1 \text{ kg/min}$$

Esta masa de agua que se está adicionando a los gases para - enfriarlos ocupará un volumen que determinamos con las ecuaciones 7 y 14, para obtener:

$$V = 148\,629.0 \text{ l}$$

11. Cálculo de pérdidas de calor en ductería por convección y radiación entre el enfriador (quencher) y lavador de gases.

Al igual que en la sección 9 se sigue la misma secuencia iterativa para encontrar la temperatura de los gases a la entrada del lavador de gases, obteniéndose así los siguientes resultados (para localizar las condiciones al punto a referirse al esquema B.2):

Nota: En esta sección se emplearán unidades del sistema Inglés.

$$T_5 = 300^\circ \text{ F}$$

$$m_5 = 650.8 \text{ lb}$$

Suponiendo:

$$T_6 = 283^\circ \text{ F}$$

$$T_w = 240^\circ \text{ F}$$

$$m_6 = 650.8 \text{ lb}$$

Se obtiene: $hc = 0.766$

$$hr = 1.099$$

$$ho = 1.865$$

$$\mu_o = 1.444$$

$$A_T = 428.8 \text{ pie}^2$$

$$A_d = 440.2 \text{ pie}^2$$

12. Selección de Tamaño del Lavador de Gases (tipo venturi) y cálculo del volúmen de gases en la descarga del separador.

En la sección del lavador de gases es necesario conocer la -

distribución del tamaño de partícula que emite la fuente contaminante, para el caso de hornos en la industria de producción para fibra de vidrio la distribución y composición de partículas más típica es la mostrada en las tablas B.5 y B.6 (ref.2).

Una vez conociendo las condiciones de temperatura, presión, concentración y distribución del tamaño de partícula así como el tipo de gases a manejar, se fija una eficiencia mínima para capturar un tamaño específico y mayores, en el presente.

TABLA B.5

Distribución del Tamaño de Partícula para emisión en el Horno de Fundición

Diámetro Partícula Micras	Por Ciento peso	Por ciento peso Acumulado
16.55	0.60	100.00
14.85	2.60	99.40
13.10	4.30	96.80
11.90	3.00	92.50
11.30	2.30	89.50
10.75	3.80	87.20
10.20	4.70	83.40
9.60	3.70	78.70
9.05	1.60	75.00
8.45	13.10	73.40
7.55	12.70	60.30
6.40	12.00	47.60
5.22	10.21	35.60
4.07	4.90	25.39
3.20	4.10	20.49
2.62	5.50	16.39
2.03	2.00	10.89
1.60	3.60	8.89
1.3 y menores	5.29	5.29

caso la eficiencia se seleccionará al 90% mínimo sobre partículas de 3 micras y mayores.

Por efecto de lavado de gases con agua en una garganta (venturi) a la eficiencia citada, éste equipo provoca una caída de presión mínima de 432 mm C.A., al fluir los gases por la garganta y separador.

El venturi requiere de 26.5 l/min de agua en promedio por cada 28.3 m³/min de gases a la entrada, de tal forma que se requerirán de 482 l/min de agua.

TABLA B. 6

Composición Química de las emisiones particuladas (Análisis Cuantitativo)

Compuesto	Porcentaje en peso	
	Vidrio Ambar	Vidrio Claro
Silica, SiO ₂	0.03	4.10
Oxido calcio, CaO	1.70	19.20
anh, sulfúrico, SO ₃	46.92	30.50
anh. bórico, B ₂ O ₃	3.67	-
óxido arsénico, AS ₂ O ₃	7.71	-
Cloruro; Cl ⁻	0.01	-
óxido plomo, PbO	0.39	-
K ₂ O + Na ₂ O	29.47	36.5
Al ₂ O ₃	-	0.20
Fe ₂ O ₃	-	0.60
MgO	-	1.40
Pérdidas por ignición	10.10	7.50
	100.00	100.00

Notas: a. iones metálicos reportados como óxidos
b. referencia 2.

Los gases que entran al venturi se saturarán al 100% de tal manera que se modificará su temperatura y como consecuencia de ello su volúmen. Empleando la carta psicométrica de la Cd. de México se encuentra que al saturarse el aire tendrá una temperatura de:

$$T = 65.5^{\circ}\text{C}$$

$$H_{\text{sat}} = 0.37$$

Empleando las expresiones 33 y 34 se encuentra el volúmen de salida de los gases en el venturi:

$$(33) \quad G_H = 0.0821 \times \left[\frac{1}{PM_a} + \frac{H_{\text{sat}}}{PM_h} \right] \times \left[\frac{T}{P} \right]$$

$$(34) \quad F = G_H \times \eta_a$$

$$F = 454.87 \text{ m}^3/\text{min}$$

la eficiencia en peso (retención de partículas por efecto del lavado) del venturi será cuando menos de 14.81 kg/h, correspondiente al 90% mínimo y se estima que la emisión de partículas máxima a la atmósfera será de 5.89 kg/h;

$ef = (1 - 0.2049)(0.9)(20.7)$, ver sección IV.2. b y tabla B. 5.

13. Diseño Comparativo de Eficiencia entre un Lavador de Gases y un Ciclón.

Los colectores de polvo tipo ciclónico que fundamentalmente atrapan partículas de acuerdo a la fuerza centrífuga a la cual éste las somete, representan mayores ventajas con res-

pecto a los lavadores de gases, entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

- Colección de partículas en vía seca
- Fácil manejo de las partículas colectadas
- Puede operar con temperaturas superiores a los lavadores de gases tipo venturi
- Menor caída de presión
- Bajos costos de inversión e instalación
- Bajos costos de operación y mantenimiento y
- No requiere de equipo o servicios auxiliares

En este caso, el diseño de un ciclón de alta eficiencia no fué suficiente para cumplir con el límite máximo permisible por la Legislación Ambiental de México.

Las ecuaciones de diseño para este equipo son las representadas a continuación (Nota: las ecuaciones corresponden al sistema de unidades Inglés, ver simbología):

$$(35) \quad v_i = \frac{Q}{l_i \times W_i}$$

$$(36) \quad v_s = 2.055 \times \omega \times D_c^{0.067} \times v_i^{2/3} \times \left[\frac{\frac{l_i}{D_c}}{\left[\frac{1-l_i}{D_c} \right]^{1/3}} \right]$$

$$(37) \quad \omega = \left[\frac{4g\mu(S_p - S_f)}{3l_i^2} \right]^{1/3}$$

$$(38) \quad 1.25 = \frac{v_i}{v_s} \text{ óptimo}$$

$$(39) \quad \eta_i = 1 - C \cdot \left[\frac{\kappa l_i Q (\eta + 1)}{D_c^2} \right]^{\frac{0.5}{(\eta + 1)}}$$

$$(40) \quad t_i = \frac{\int_p (dpi)^2}{18 \mu}$$

$$(41) \quad K = 551.8$$

$$(42) \quad \eta = 1 - \left[1 - \frac{(12 D_c)^{0.14}}{2.5} \right] \left[\frac{T + 460}{530} \right]^{0.3}$$

$$(43) \quad \eta_t = \sum_{i=1} (m_i n_i)$$

$$(44) \quad \Delta P = 0.0030 \rho_f v_i^2 N_H$$

$$(45) \quad N_H = K_i \left[\frac{l_i \omega_i}{D_c^2} \right]$$

$K_i = 16$, sin bafles

$K_i = 8$, con bafles

Simbología y unidades exclusivamente para esta Sección

D_b Diámetro inferior del cono, pie ($D_b = 0.375 D_c$)

D_c Diámetro del ciclón, pie

D_o Diámetro del ducto de salida ciclón, pie ($D_o = 0.5 D_c$)

d_{pi} Diámetro de la partícula, pie

g Aceleración de la gravedad, 32.2 pie/seg.²

H_o Altura total del ciclón, pie ($H_o = 4.0 D_c$)

K Factor de configuración

K_i Factor de entrada por efecto centrífugo

L_{co} Longitud del cono, pie ($L_{co} = 2.5 D_c$)

L_{cy} Longitud del cilindro, pie ($L_{cy} = 1.5 D_c$)

l_i Altura de la entrada tangencial, pie ($l_i = 0.5 D_c$)

L_o Longitud del ducto de salida del ciclón, pie ($L_o = 0.5 D_c$)

m_i	Porcentaje en peso de la partícula i
n	Exponente vortex
n_H	Cabeza velocidad
Q	Flujo, $\text{pie}^3/\text{seg.}$
t_i	Tiempo de relajación, seg.
T	Temperatura de fluido, °F
v_i	Velocidad de entrada al ciclón, $\text{pie}/\text{seg.}$
v_s	Velocidad de saltación, $\text{pie}/\text{seg.}$
ω	$\text{Pie}/\text{seg.}$
W_i	Ancho de la entrada tangencial, pie ($W_i = 0.2 D_c$)
ΔP	Caída de presión en el ciclón, pulg. C.A.
ρ_f	Densidad del fluido, lb/pie^3
ρ_p	Densidad de la partícula, lb/pie^3
η_i	Eficiencia parcial
η_t	Eficiencia total
μ	Viscosidad del fluido, $\text{lb}/\text{pie}\cdot\text{seg.}$

Nota: Para mayores detalles ver referencias 1 y 3.

El flujo para el cual se diseñará el ciclón es de $17768.6 \text{ pie}^3/\text{min}$ (ver esquema B.2) a una temperatura de 283° F , los resultados obtenidos por las ecuaciones 35 y 45 se corrieron en un programa de calculadora HP-41C, el listado de la impresora se muestra anexo. En el esquema B.3 se indican las dimensiones del ciclón así como la tabla B.7 que muestra las eficiencias parciales y total para cada tamaño de partícula.

La eficiencia total en peso para el ciclón de alta eficiencia

sería de 44.2%, lo que significa que retendría sólo 9.15 kg/h y descargaría a la atmósfera una carga de partículas igual a 11.55 kg/h. Lo cual implica que no cumple con lo establecido por el reglamento, 9.96 kg/h.

	% Eficiencia	Emisión a la Atmósfera
Lavador de gases	90.0 mínimo	5.89 kg/h.
Ciclón	44.2	11.55 kg/h.
Límite Máx. Permisible	-	9.96 kg/h.

TABLA B. 8

"Comparación de Eficiencia para Ciclón y Lavador de Gases"

En la tabla B. 8 se muestran los datos comparativos para las eficiencias totales de los equipos para control de partículas; lavador de gases y ciclón.

14. Cálculo de la caída de presión en todo el sistema.

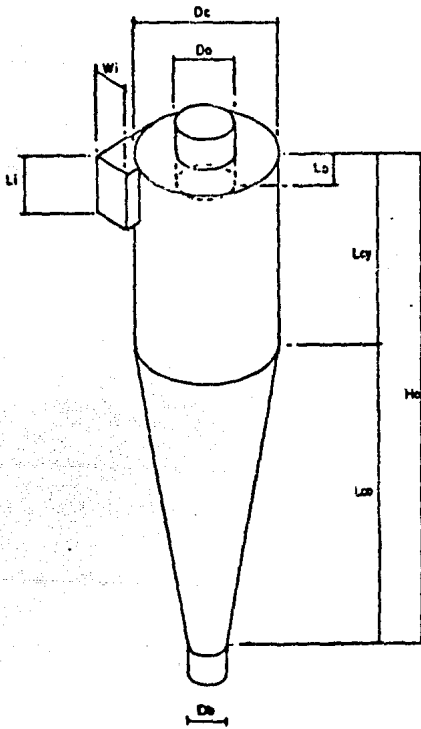
La caída de presión es provocada por rozamiento (fricción) de los gases con las paredes del ducto, y es función de la temperatura, presión y velocidad de transporte de los gases. Dichas caídas de presión se calcularon por secciones, referirse al esquema B. 2 para localizar puntos.

Sección a-b; con tablas de la referencia 14 se encuentra el equivalente circular para fijar un diámetro.

**CALCULO
DIMENSIONES
CICLON:**

DIAMETRO?	5.0000	RUN	MI?	0.8438	RUN	DPI?	0.1200	RUN
CALC DIM?	1.0000	RUN	DPI?	3.98-05	RUN	EF PAR=	1.71-05	RUN
ALT ENT=			EF PAR=	0.5442	***	MI?	0.4157	***
DIA SAL=			MI?	0.0300	RUN	DPI?	0.1021	RUN
LONG SAL=	2.5000	***	DPI?	3.71-05	RUN	EF PAR=	1.34-05	RUN
ALT CIL=	7.5000	***	EF PAR=	0.5359	***	MI?	0.3813	***
QMC ENT=	0.9998	***	MI?	0.0230	RUN	DPI?	0.0490	RUN
ALT CIC=	19.9950	***	DPI?	3.53-05	RUN	EF PAR=	1.05-05	RUN
DIA SAL POLVO=	1.8755	***	EF PAR=	0.5278	***	MI?	0.3489	***
LONG MAT=	12.3881	***	MI?	0.0380	RUN	DPI?	0.0410	RUN
FLUJO=	296.1433	RUN	DPI?	3.35-05	RUN	EF PAR=	0.6-06	RUN
VEL=	118.4069	***	EF PAR=	0.5193	***	MI?	0.3239	***
KEQ *VELOC*			MI?	0.0470	RUN	DPI?	0.0550	RUN
TEMP?	283.0000	RUN	DPI?	3.15-05	RUN	EF PAR=	6.66-06	RUN
PRESTION?	0.7700	RUN	EF PAR=	0.5093	***	MI?	0.2939	***
K?	16.0000	RUN	MI?	0.0370	RUN	DPI?	0.0200	RUN
CAD PRE=	11.1018	***	DPI?	2.97-05	RUN	EF PAR=	5.25-06	RUN
DEMS P?	143.4510	RUN	EF PAR=	0.4999	***	MI?	0.2679	***
DPI?	5.43-05	RUN	MI?	0.0160	RUN	DPI?	0.0360	RUN
EF PAR=	0.5995	***	DPI?	2.77-05	RUN	EF PAR=	4.27-06	RUN
MI?	0.0060	RUN	EF PAR=	0.4888	***	MI?	0.2469	***
DPI?	4.07-05	RUN	MI?	0.1310	RUN	DPI?	0.0529	RUN
EF PAR=	0.5812	***	DPI?	2.48-05	RUN	EF TOT=	0.0000	RUN
MI?	0.0260	RUN	EF PAR=	0.4715	***		0.4420	***
DPI?	4.3-05	RUN	MI?	0.1270	RUN			
EF PAR=	0.5603	***	DPI?	2.1-05	RUN			
			EF PAR=	0.4468	***			
			MI?					

Esquema B.3. Dimensiones del ciclón y tabla de eficiencias.



DATOS DE DISEÑO

$Q = 296.1$
 $V_i = 118.5$
 $T = 283.0$
 $K_i = 16$
 $P_p = 143.45$
 EFICIENCIA TOTAL = 44.20
 CAIDA DE PRESION = 11.1 pulg. C. A.

DIMENSIONES	
Cotas	Pies
Dc	5.0
Li	2.5
Wi	1.0
Lo	2.5
Do	2.5
Lcy	7.5
Lco	12.5
Ho	20.0
Db	1.9

Tabla B.7

TAMARO DE PARTICULA (micras)	% EFICIENCIA
16.55	59.95
14.65	58.12
13.10	56.03
11.90	54.42
11.30	53.59
10.75	52.78
10.20	51.93
9.60	50.93
9.05	49.99
8.45	48.88
7.55	47.15
6.40	44.60
5.22	41.57
4.07	38.13
3.20	34.89
2.62	32.39
2.03	29.39
1.60	26.79
< 1.30	24.69

$$Dq = 1.669$$

con la expresión 20 se calcula el área de flujo y de la expresión 19 se despeja la velocidad, el flujo a manejar es el obtenido en la sección 7.

$$v = 547.5$$

El factor de fricción por rozamiento y la caída de presión se calculan por las expresiones 3 y 4 del apéndice A, como los gases no se encuentran a condiciones estándar, es necesario efectuar la corrección por presión y temperatura para obtener condiciones actuales, emplear ecuación 7 del apéndice A. Los datos obtenidos se reportan en la tabla B.9 a condiciones actuales.

TABLA B.9
Caída de Presión por sección y Total en
Horno de Fundición

Sección	ΔP (mm CA)
a-b	0.051
b-c	0.356
c-d	14.834
d-e	22.327
Lavador de Gases	431.800
f-g	20.752
h-i	2.057
	492.177

15. Cálculo de la potencia necesaria para la bomba de agua del lavador de gases.

Se requieren manejar 482 l/min con una presión manométrica a la descarga en la garganta del lavador de 0.44 atm. (6.5 PSI). Los diámetros de las tuberías están en función de las velocidades recomendadas para agua por las referencias 4 y 10, las expresiones adecuadas para el cálculo son las siguientes:

$$(46) \quad z_1 + \frac{144P_i}{f_1} + \frac{v_1^2}{2g_c} = z_2 + \frac{144P_2}{f_2} + \frac{v_2^2}{2g_c} + h_L$$

$$(47) \quad P = 0.000216 \times f \times L \times f \times \frac{Q^2}{d^5}$$

Las expresiones 46 y 47 son válidas únicamente para el sistema Inglés de dimensiones, siendo su significado el siguiente:

- d Diámetro interno de la tubería, pulgadas
- f Factor de fricción, adimensional
- h_L Pérdidas por fricción, pies
- L Longitud de tubería, pies
- P Presión, lb/pulg.²
- Q Gasto volumétrico, GPM
- v Velocidad del flujo, pie/seg.
- Z Elevación referida a un punto, pies
- f Densidad del fluido, lb/pie³

finalmente para conocer la potencia de la bomba se aplica la expresión 48 y se obtiene:

$$(48) \quad \text{BHP} = \frac{\Delta P \times Q \times f}{247000 \times \eta}$$

donde: BHP Potencia demandada al freno
 P Expresada en pies
 η Eficiencia de la Bomba
 BHP = 5.6

Se requiere de un motor de 7.5 HP

16. Cálculo de la potencia requerida en la bomba para el enfriador (quencher).

Se manejará agua completamente limpia para el enfriamiento de los gases, para ello se colocarán cuatro espreas distribuidas a cada 90° cada una, dentro de la ductería que conduce los gases de combustión hacia el lavador tipo venturi, cada esprea manejará un flujo de 15 l/min y la dispersará en un ángulo de 120°, razón por la cual es necesario contar con una presión manométrica a la descarga de la esprea de 4.5 atm (66 PSI).

El diámetro del orificio de descarga para cada esprea es de 6.35mm. las cuatro espreas se encuentran conectadas a un anillo alimentador, éste a su vez es surtido con agua por una bomba que se encuentra colocada en la superficie contigua a la bomba del lavador venturi.

La secuencia de cálculo para determinar la potencia de la bomba es similar a la efectuada en la sección 15, los resultados

obtenidos son:

$$\text{BHP} = 2.4$$

$$Q = 59.1 \text{ l/min}$$

$$\text{Carga} = 64 \text{ m.}$$

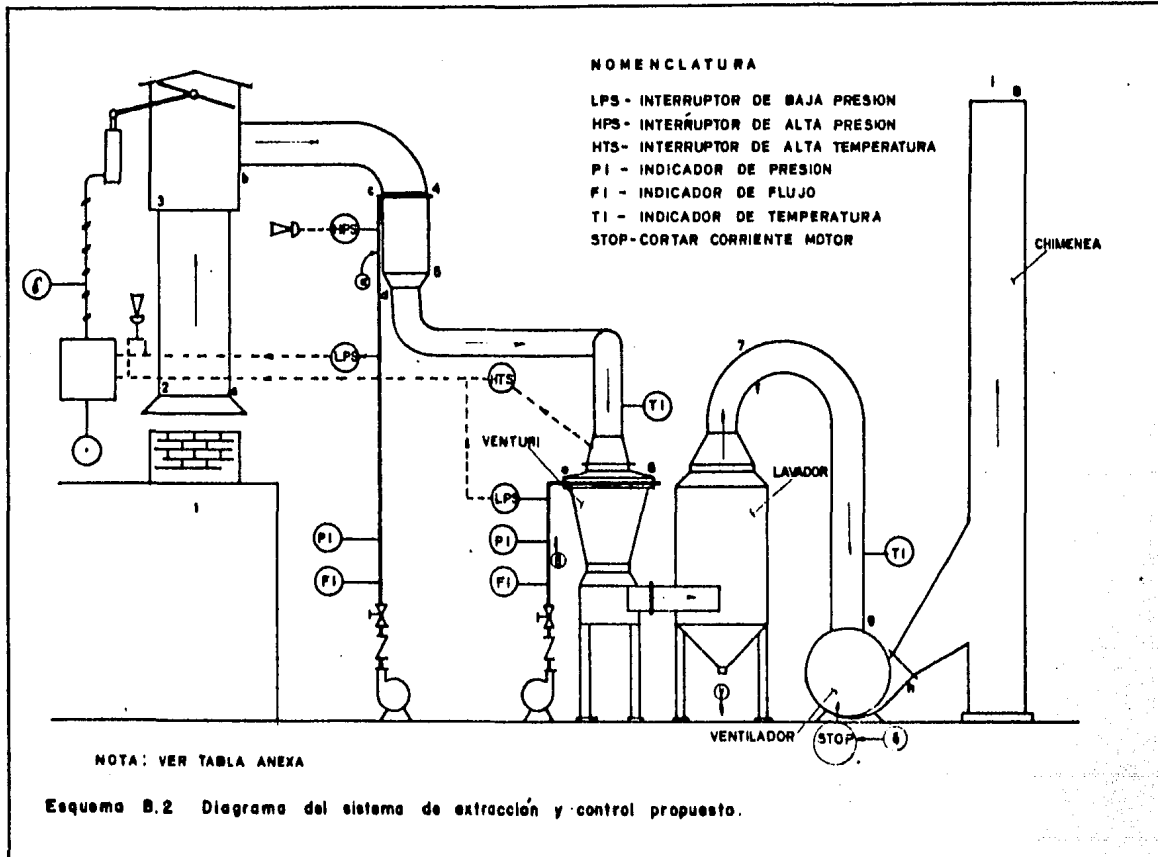
17. Cálculo de la potencia necesaria del ventilador centrífugo.

El flujo a manejar por el ventilador es el obtenido en la -- sección 12 de este mismo apéndice, y la presión estática necesaria es la calculada en la sección 14. Aplicando la ecuación 49 de la referencia 9 se encuentra la potencia requerida del ventilador.

$$(49) \quad \text{BHP} = \frac{2.122 \times 10^4 \times F \times PE}{\eta}$$

$$\text{BHP} = 71.5$$

18. Esquema B.2, "Diagrama del flujo del sistema de extracción y control propuesto"



PUNTO	H	Q		M		T		D	
	$\frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg aire}}$	m ³ /min	pie ³ /min	Kg/min	lb/min	°C	°F	m	pulg.
1	0.052	769.874	27 161.155	115.261	253.879	1410.0	2570.0	—	—
2	0.015	139.308	4 914.786	121.127	266.800	40.0	104.0	—	—
3	0.033	930.744	32 836.648	236.388	520.678	798.5	1 469.4	—	—
4	0.033	904.464	31 919.368	236.388	520.678	768.3	1 415.0	1.00	42
5	0.290	515.078	18 171.953	295.488	650.855	148.8	300.0	0.76	30
6	0.290	503.654	17 768.596	295.488	650.855	139.4	283.0	0.76	30
7	0.370	454.874	16 047.955	313.627	690.808	65.5	150.0	0.76	30
8	0.370	454.874	16 047.955	313.627	690.808	65.5	150.0	0.89	35
e	—	0.059	2.082	59.100	130.176	18.0	64.4	—	—
9	—	0.477	16.829	477.000	1050.661	18.0	64.4	—	—

NOTAS: « AGUA DE ENFRIAMIENTO QUE SE EVAPORA, NO RECUPERABLE

9 AGUA DE LAVADO, PARTE SE EVAPORA

γ DREN DE LODOS

F = 0.459 m³/min

D = 0.203 m (8 pulg.)

Tabla de balance de materia. Horno de Fundición

APENDICE "C"

MEMORIA DE CALCULO

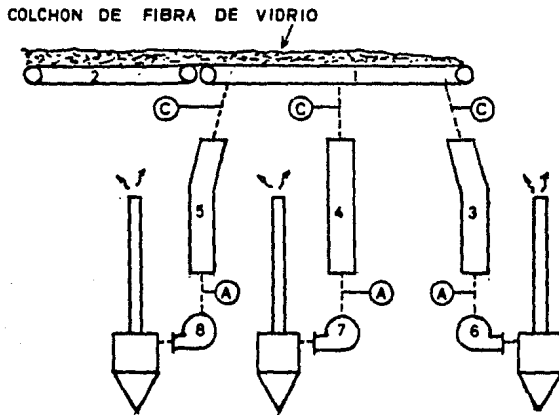
AREA

CAMPANA DE FORMACION

1. Determinación del flujo a manejar en el sistema.
2. Reporte de evaluación de partículas.
3. Selección de equipo.
4. Cálculo de volumen de salida en el lavador.
5. Cálculo de la potencia necesaria para la bomba de agua del lavador de gases.
6. Cálculo de la caída de presión total en el sistema.
7. Cálculo de la potencia necesaria para los ventiladores (norte y sur).
8. Diagrama de flujo con balance de materia y energía de todo el sistema.

1. Determinación del flujo a manejar en el sistema.

Para esta área se efectuaran varias mediciones de flujo en fechas diferentes, ya que los resultados obtenidos divergen bastante entre sí, la razón es que en esta área se producen once distintos productos y consecuentemente se presentan on ce condiciones de operación. Los reportes de visita efectuados en cada fecha se presentan en la tabla C.1, ver esquema C.1.



ESQUEMA C.1

"Sistema existente en el hood de formación"

Simbología

1. Banda transportadora metálica.

2. Banda transportadora
 3. Caja de lavado norte
 4. Caja de lavado centro
 5. Caja de lavado sur
 6. Ventilador centrífugo norte
 7. Ventilador centrífugo centro
 8. Ventilador centrífugo sur
- A y C Puntos de medición

TABLA C. 1
Mediciones de Flujo

Sección	Temperatura (°C)	Flujo Vol. m ³ /min	Flujo Másico kg/min	Fecha
Norte	85	714.66	549.44	25. V .82
Norte	85	691.88	531.93	25. V .82
Norte	85	715.28	549.92	25. V .82
Norte	85	735.25	565.27	25. V .82
Norte	69	787.11	932.83	15.VII.82
Norte	69	728.65	909.84	15.VII.82
Norte	70	1194.50	956.62	21.VII.82
Centro	49	241.54	205.04	14.VII.82
Centro	50	164.60	139.73	21.VII.82
Sur	51	690.03	585.77	15.VII.82
Sur	53	684.02	569.71	21.VII.82

NOTA: Los flujos se midieron en el punto A, indicado en el esquema C.1.

Las presiones estáticas a la succión en cada una de las secciones de la campana (norte, centro y sur) resultaron ser muy diferentes para cada producto, dependiendo del espesor del colchón que se estuviera produciendo, los resultados obtenidos en cada fecha se presentan en la tabla C.2 y esquema C.1.

En base al análisis efectuado de los resultados obtenidos en las tablas C.1. y C.2, se encontró que el sistema operaba a $2,126 \text{ m}^3/\text{min}$. tomando en cuenta las tres succiones, además se confirmó por parte de la planta que la única función de los ventiladores es proporcionar la presión estática requerida en la banda transportadora y no el manejar grandes volúmenes de aire.

Se propone operar unicamente con dos succiones y no con tres como opera actualmente, ver esquema C.1., de tal manera que se unan las succiones centro y sur para que manejen entre ambas $1,063 \text{ m}^3/\text{min}$ al igual que la norte que operará sola.

Resumiendo, se modificarán las succiones en la banda transportadora de tres que se tienen actualmente a dos y las condiciones de flujo serán iguales para ambas secciones:

$$\begin{aligned} F &= 1,063 \text{ m}^3/\text{min} \\ T_{bs} &= 69^\circ\text{C} \\ T_{bh} &= 40^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2. Reporte de Evaluación de Partículas.

Se efectuó una visita al campo para realizar un muestreo iso cinético a la descarga de gases en la chimenea norte de la - campana, dicho muestreo se llevó a cabo de acuerdo a las Nor mas Oficiales Mexicanas (ver referencias 5, 6 y 7).

TABLA C.2

Sección	Punto	F E C H A				
		21.VII.82	29.VII.82	5.VIII.82	18.VIII.82	18.VIII.82
NORTE	PE(A)	-	-539.75	-549.90	-	-
	PE(B)	-406.60	-	-	-387.35	-365.60
	PE(G)	-	- 19.05	- 59.94	-228.60	-193.68
	ΔP	-	-	-489.97	-152.40	-171.45
	Int.	112	-	108	120	120
CENTRO	PE(A)	-	- 19.05	-304.80	-393.70	-
	PE(B)	-114.30	-	-391.16	-	-355.60
	PE(C)	-	- 12.70	-	-330.20	-273.00
	ΔP	-	-	- 79.76	- 63.50	- 76.20
	Int.	68	-	84	70	70
SUR	PE(A)	-	-381.00	-	-	-
	PE(B)	-1041.40	-	-859.79	-977.90	-939.80
	PE(C)	-	- 12.70	-320.00	-387.35	-304.80
	ΔP	-	-	-539.98	-571.50	-635.00
	Int.	188	-	-	175	180

NOTAS:

- a. Las presiones estáticas están referidas a los puntos de medición del esquema C.1 (m.m. C.A.).
- b. La intensidad de corriente está expresada en amperes.
- c. ΔP es la caída de presión en la caja de lavado.

- d. (A) Válvula completamente abierta
- e. (B) Válvula abierta 3/4.
- f. (C) Presión estática a la entrada de la caja de lavado.
- * Lana Blanca de 381 m.m. de espesor
- ** Lana blanca de 25 m. m. de espesor.

los datos obtenidos en campo se reportan a continuación:

TABLA C. 3

-Flujo en la chimenea, m ³ /min.	981.6
-Velocidad, m/min.	670.7
-Temperatura bulbo seco, °C	69.0
-Temperatura bulbo humedo, °C	40.0
-Composición, de gases	
Nitrógeno	80.0
Oxígeno	20.0
-Concentración, cond. estándar, mg/m ³	426.60
-Emisión de partículas, kg/h	16.86
-Peso del proceso, kg/h.	1.25
-Emisión máxima permitida de art.21 del reglamento. (kg/h)	8.98

"RESULTADOS DE LA EVALUACION"

Resumiendo, en base a los resultados obtenidos su puede asumir que la emisión de partículas en chimenea está fuera de -

los límites establecidos por la Legislación Ambiental de México, vigente a la fecha.

3. Selección de equipo.

De los resultados de la tabla C. 3 se encuentra que la emisión de polvos está fuera de reglamento, además de que no se tomaron en cuenta las partículas mayores que no fué posible captar con la sonda, debido a su diámetro tan grande que en ocasiones llega a medir los cinco centímetros.

La distribución del tamaño de partícula de mayor porcentaje resultó ser para un diámetro de 9 micras y menores con un 64.77% de las partículas totales emitidas a la atmósfera.

Debido a que un gran porcentaje de partículas son menores a 9 micras, es necesario colocar un equipo para captación de partículas por vía húmeda.

Se colocarán dos unidades iguales, y operarán cada uno a las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} F &= 1063 \text{ m}^3/\text{min.} \\ T_{bs} &= 69^\circ\text{C} \\ T_{bh} &= 40^\circ\text{C} \\ C &= 426.60 \text{ mg/m}^3 \end{aligned}$$

Fibra de vidrio (3 a 9 micras, 64.77%)

Resinas fenólicas y aldehílicas

De la carta psicométrica se encuentra que los gases de entrada contienen un 7.1% de humedad.

4. Cálculo del volumen de salida en el lavador.

Los gases se saturan en el venturi, empleando las expresiones de la sección 12 del apéndice B se obtiene:

$$F = 963.7 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$T_{\text{sat}} = 35^\circ\text{C}$$

El requerimiento de agua para cada lavador es de $0.901 \text{ m}^3/\text{min}$, efectuando un balance de materia y energía similar al de la sección 10 del apéndice B se encuentra que se pierden por evaporación $0.0104 \text{ m}^3/\text{min}$ de agua, de tal forma que el lavador de gases estará drenando únicamente $0.891 \text{ m}^3/\text{min}$ de agua.

5. Cálculo de la potencia necesaria para la bomba de agua del Lavador de Gases.

Se requiere de una bomba de agua para cada lavador, además es necesario instalar una válvula de retención y otra de globo, la tubería será de 102.0 m.m. (4 pulg.) de diámetro nominal, se emplean velocidades recomendadas para el diseño de tuberías (ref. 10), empleando las expresiones de la sección 15 del apéndice B se encuentra la potencia necesaria de la bomba:

$$\text{BHP} = 5.06$$

se requiere de un motor de 7.5 HP

6. Cálculo de la caída de Presión Total en el Sistema.

Empleando las expresiones de la sección 3 del apéndice A, se encuentra que la caída de presión en ductería (incluyendo chimenea) a condiciones actuales es de:

$$P = 59.68 \text{ m. m. C. A.}$$

para la sección norte se requiere de una presión estática máxima en el colchón de fibra de vidrio (ver tabla C.2):

$$PE = 228.6 \text{ m. m. C. A.}$$

Debido a que los gases pasan por una garganta en donde se efectúa el lavado en el equipo, se provoca una caída de presión por estrangulamiento de:

$$P = 431.8 \text{ m. m. C. A.}$$

la presión estática total en el área norte equivale a la suma de las cantidades anteriores, pero es necesario dar flexibilidad al sistema, ya que se fabrican once productos diferentes y por lo tanto, once condiciones de operación distintas, de tal forma que la presión estática total en el área norte es de:

Ductería	59.68
Colchón fibra de vidrio	228.60
Lavador de Gases	431.80
Flexibilidad al sistema	<u>63.50</u>
	783.58 m. m. C.A.

Efectuando la misma secuencia de cálculo para el área sur se tiene lo siguiente:

Ductería	59.68
Colchón fibra de Vidrio	387.35
Lavador de Gases	431.80
Flexibilidad al sistema	63.50
	<hr/>
	942.33 m. m. C. A.

NOTA: Los datos anteriores son a condiciones actuales.

7. Cálculo de la potencia necesaria para los ventiladores (norte y sur).

La potencia necesaria para los ventiladores se determina de igual forma que en la sección 17 del apéndice B, únicamente para el área sur.

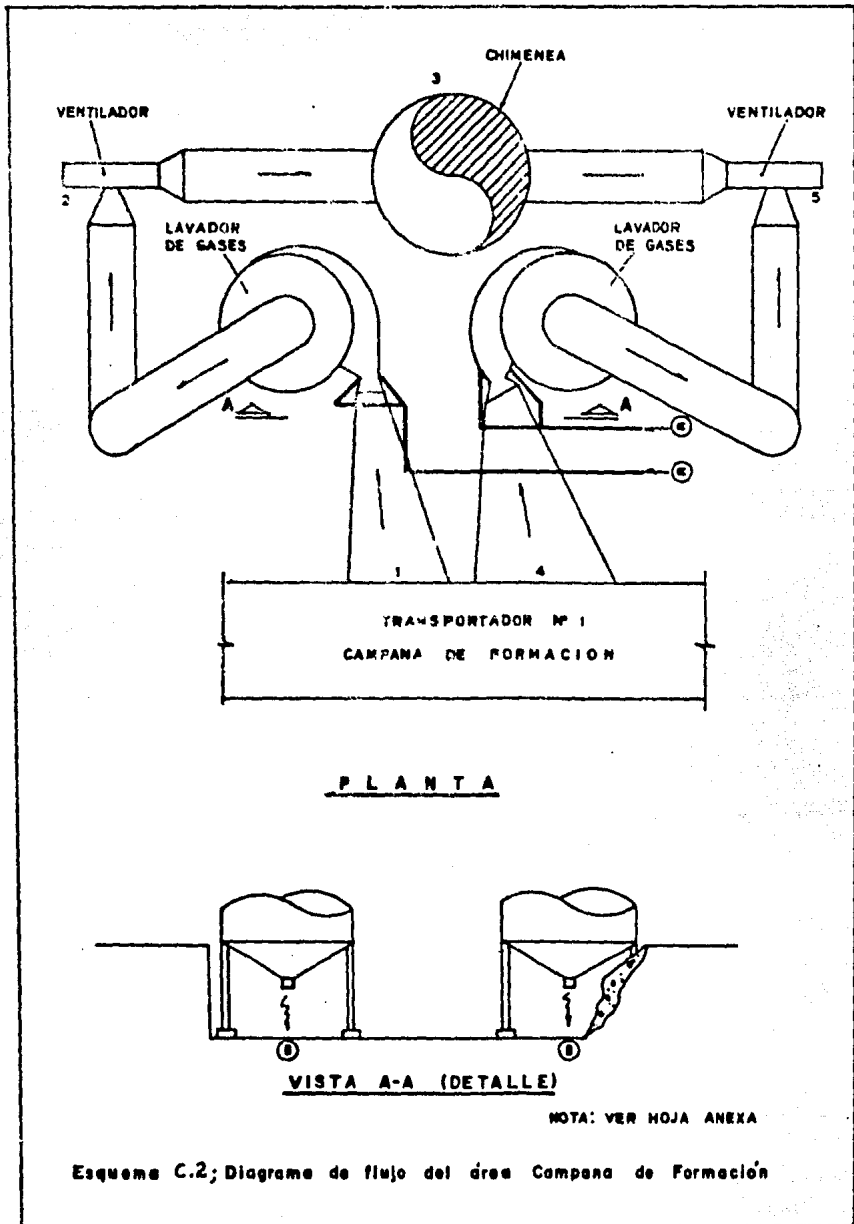
Para el área norte se propone colocar el ventilador que actualmente se encuentra en operación en el área sur, ya que reúne las especificaciones de flujo y presión estática requerida, los BHP necesarios se determinaron de la curva de operación del ventilador.

HP = 300 (norte)

potencia requerida para el ventilador del área sur:

HP = 300 (sur)

**8. Diagrama de Flujo con Balance de Materia y Energía de
Todo el Sistema.**



PUNTO	PE	Q		M		T		D	
	mm C. A. (max.)	m ³ /min	pie ³ /min	Kg/min	lb/min	°C	°F	m	pulg.
1	-228.60	1077.098	38 000.000	840.611	1851.565	69	156.2	1.1×0.9 ^a	43.3×35.4 ^a
2	-783.58	963.719	34 000.000	850.610	1873.591	35	95.0	1.200	47.20
3	5.00	1927.438	68 000.000	1 702.221	3 747.183	35	95.0	2.000	78.70
4	-387.35	1 077.090	38 000.000	840.611	1 851.565	69	156.2	1.1×0.9 ^a	43.3×35.4 ^a
5	-942.33	963.719	34 000.000	850.610	1 873.591	35	95.0	1.200	47.24
6	—	0.901	31.787	901.000	1984.581	18	64.4	0.102	4.00
8	—	0.891	31.434	891.000	1962.555	18	64.4	0.305	12.00
Y	—	0.901	31.787	901.000	1984.581	18	64.4	0.102	4.00
F	—	0.891	31.434	891.000	1962.555	18	64.4	0.305	12.00

NOTAS: a: GASTO TOTAL DE AGUA DE LAVADO EN EL AREA DE CAMPANA DE FORMACION: F = 1.802 m³/min

b: GASTO DE AGUA DE REPOSICION TOTAL: F = 0.020 m³/min

• PROMEDIO

Tabla de balance de materia. Campana de Formación

APENDICE "D"
MEMORIA DE CALCULO
AREA
ESTUFA DE CURADO

1. Determinación del flujo a manejar en campanas de entrada y salida en la estufa.
2. Cálculo del diámetro en ductos de las campanas de entrada y salida en la estufa.
3. Determinación del flujo a manejar en cada sección de la estufa.
4. Cálculo de Temperaturas y volúmenes de mezcla por secciones.
5. Selección del equipo de control anticontaminante y volumen de los gases de salida.
6. Cálculo de la caída de presión total del sistema.
7. Selección de ventilador.
8. Cálculo de la bomba de agua para el lavador de gases.
9. Esquema D.1, diagrama de flujo con balance de materia y energía de todo el sistema.

1. Determinación del flujo a manejar en Campanas de Entrada y Salida en la Estufa.

Se colocará una campana a la entrada de la estufa para captar los humos que escapan de ella, dicha campana estará encasetada y sólo habrá un área abierta suficiente para que pase el colchón de fibra de vidrio de mayor espesor que se produce (0.381 m ó 15 pulg.); las dimensiones de la campana son:

campana: 1.85 x 1.26 m

altura: 0.80 m (entre banda y campana)

la velocidad de captura es de 183 m/min, y el flujo a manejar se calcula por la expresión siguiente:

$$(1) \quad F = v_c \times A$$
$$F = 241.56$$

para la campana localizada en la salida de la estufa, se emplearán las mismas condiciones de diseño anteriores, de manera que el flujo a manejar será:

$$F = 241.56 \text{ m}^3/\text{min.}$$

2. Cálculo del Diámetro en Ductos de las Campanas de Entrada y Salida en la Estufa.

La velocidad de transporte en ductos es de 1067 m/min, de la ecuación 1 se despeja el área y por medio de la ecuación 2- se encuentra el diámetro del ducto:

$$(2) \quad D = \left[\frac{4 \times A}{\pi} \right]^{1/2}$$

$$D = 0.537 \text{ m}$$

Este diámetro de ducto es igual para ambas campanas.

3. Determinación del flujo a manejar en cada sección de la estufa.

Se denominarán sección norte, centro y sur a cada zona de la estufa en donde se recircula aire caliente para polimerizar la resina del colchón de fibra de vidrio, se realizaron mediciones de flujo en las chimeneas norte y centro en diferentes ocasiones, ver tabla D. 1.

TABLA D.1
Mediciones de Flujo

Sección	Temperatura °C	Flujo Vol. m ³ /min	Flujo Másico kg/min
Norte	140	116.0	78.1
Norte	300	117.0	56.2
Norte	355	108.1	48.5
Centro	140	190.3	128.0
Centro	400	180.2	73.9
Centro	335	113.8	51.0

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla D.1 se op-

tó por seleccionar las condiciones en que operaba con mayor flujo másico para cada sección y manejar así las condiciones máximas para la selección de flujo total en la estufa, los flujos para cada sección son los siguientes:

Sección norte F = 116.0

Sección centro F = 190.0

Sección sur F = 70.8

4. Cálculo de temperaturas y volúmenes de mezcla por secciones.

Debido a que las temperaturas de los gases en las campanas y secciones son diferentes entre sí, es necesario efectuar un balance de materia y energía al ir mezclando los gases de las diferentes secciones.

Las temperaturas para cada sección son las siguientes:

Campana entrada 37.7°C

Sección norte 140.0°C

Sección centro 140.0°C

Sección sur 154.4°C

Campana salida 37.7°C

Se calcula el flujo másico por medio de la densidad del gas (expresiones 3 y 4)

$$(3) \quad \rho = \frac{PM \times P}{R \times T}$$

$$(4) \quad m = F \times \rho$$

la entalpia de mezcla se calcula por medio de las expresiones 5 y 6.

$$(5) \quad Q = (E_1 \times m_1) + (E_2 \times m_2)$$

$$(6) \quad \Delta E_m = \frac{Q}{m}$$

De la carta psicométrica de la Cd. de México se obtiene el valor correspondiente de temperatura de mezcla, el nuevo volu--men se calcula por la expresión 3 y 4 a la temperatura de mezcla, los flujos obtenidos se reportan en el esquema D.1, al igual que las temperaturas.

5. Selección del equipo de control anticontaminante y volu--men de los gases de salida.

Se tomó una muestra de gases y se hizo pasar por un filtro, - se analizó para conocer la distribución del tamaño de partícula obteniendose que un 80.43% tienen un diámetro promedio de- 6 micras, además de humos y vapores orgánicos (resinas).

Para tener una buena captación de partículas, se requiere de un lavador de gases del tipo venturi, con un gasto de agua de $0.848 \text{ m}^3/\text{min}$.

Los gases de salida del lavador estarán totalmente saturados, este volumen se calcula empleando las ecuaciones de la sección 12 del apéndice B y carta psicométrica, obteniendose las si--

güientes condiciones de salida:

$$F = 813.2 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$T = 40.6^\circ \text{ C}$$

6. Cálculo de la caída de presión total del sistema.

Empleando las ecuaciones 3 y 4 del apéndice A se obtienen las caídas de presión parciales (por sección) y total en ductos, - ver hoja impresa anexa a cond. estándar del programa para calculadora HP-41CV para convertir a condiciones actuales se empleará como temperatura promedio 85°C

Ductería	48.6
Succión en sección sur	203.2
Lavador de gases	431.8
Flexibilidad al sistema	63.5
	<hr/>
	747.1 mm CA
	[actual]

7. Selección de ventilador

Se propone instalar en esta área el ventilador que actualmen te se encuentra en el área norte del hood, sus caracterfísti cas y curva de operación indican que es factible reutilizarlo.

Empleando las leyes de los ventiladores por medio de las ex-

ESTUFA DE CURADO			VELOCIDAD?			CODOS?		
			3,500.0000	RUN		0.0000	RUN	
			DIAMETRO=			2.0000	RUN	
			31.7059	***		0.0000	RUN	
K ENTRONQUE?			DIAMETRO?			0.0000	RUN	
0.1800	RUN		31.5000	RUN		0.0000	RUN	
K CODO?			VELOCIDAD=		LONGITUD?	85.0000	RUN	
0.2700	RUN		3,545.9000	***		PRES ESTATICA=		
FLUJO?			ENTRONQUES?			0.7077	***	
8,520.0000	RUN		1.0000	RUN		PRES EST COMB=		
VELOCIDAD?			CODOS?			2.0909	***	
3,500.0000	RUN		0.0000	RUN		FLUJO?		
DIAMETRO=				RUN		30,490.0000	RUN	
21.1262	***			RUN		VELOCIDAD?		
DIAMETRO?			LONGITUD?			3,500.0000	RUN	
21.0000	RUN					DIAMETRO=		
VELOCIDAD=			13.6000	RUN		39.9764	***	
3,542.2044	***		PRES ESTATICA=			DIAMETRO?		
ENTRONQUES?			0.2025	***		40.0000	RUN	
1.0000	RUN		PRES EST COMB=			VELOCIDAD=		
CODOS?			1.2198	***		3,494.8134	***	
2.0000	RUN		FLUJO?			ENTRONQUES?		
0.0000	RUN		21,950.0000	RUN		0.0000	RUN	
0.0000	RUN		VELOCIDAD?			CODOS?		
0.0000	RUN		3,500.0000	RUN		3.0000	RUN	
LONGITUD?			DIAMETRO=			0.0000	RUN	
31.0000	RUN		33.9155	***		0.0000	RUN	
PRES ESTATICA=			DIAMETRO?			0.0000	RUN	
0.7921	***		34.0000	RUN		0.0000	RUN	
PRES EST COMB=			VELOCIDAD=			LONGITUD?		
0.7921	***		3,482.6318	***		32.0000	RUN	
FLUJO?			ENTRONQUES?			PRES ESTATICA=		
12,644.0000	RUN		1.0000	RUN		0.7217	***	
VELOCIDAD?			CODOS?			PRES EST COMB=		
3,500.0000	RUN		0.0000	RUN		2.8206	***	
DIAMETRO=			0.0000	RUN		FLUJO?		
25.7362	***		0.0000	RUN		30,490.0000	RUN	
DIAMETRO?			0.0000	RUN		VELOCIDAD?		
25.5000	RUN		0.0000	RUN		3,500.0000	RUN	
VELOCIDAD=			LONGITUD?			DIAMETRO=		
3,565.1412	***		8.9000	RUN		39.9704	***	
ENTRONQUES?			PRES ESTATICA=			DIAMETRO?		
1.0000	RUN		0.1715	***		40.0000	RUN	
CODOS?			PRES EST COMB=			VELOCIDAD=		
0.0000	RUN		1.3912	***		3,494.8134	***	
	RUN		FLUJO?			ENTRONQUES?		
	RUN		30,096.0000	RUN		1.0000	RUN	
	RUN		VELOCIDAD?			CODOS?		
LONGITUD?			3,500.0000	RUN		0.0000	RUN	
14.0000	RUN		DIAMETRO=			0.0000	RUN	
PRES ESTATICA=			40.2303	***		0.0000	RUN	
0.2252	***		DIAMETRO?			0.0000	RUN	
PRES EST COMB=			40.0000	RUN		0.0000	RUN	
1.0173	***		VELOCIDAD=			LONGITUD?		
FLUJO?			3,540.4200	***		39.0000	RUN	
19,190.0000	RUN		ENTRONQUES?			PRES ESTATICA=		
						0.2649	***	
						PRES EST COMB=		
						3.0855	***	

presiones 7 y 8, se encuentra que la potencia necesaria para que el ventilador satisfaga las nuevas condiciones de operación es de:

$$(7) \text{ RPM}_2 = \text{RPM}_1 \times \left[\frac{F_1}{F_2} \right]^1 \times \left[\frac{PE_2}{PE_1} \right]^{3/4} \times \left[\frac{f_1}{f_2} \right]^{3/4}$$

$$(8) \text{ HP}_2 = \text{HP}_1 \times \left[\frac{PE_2}{PE_1} \right]^{5/2} \times \left[\frac{\text{RPM}_1}{\text{RPM}_2} \right]^2 \times \left[\frac{f_1}{f_2} \right]^{3/2}$$

$$\text{HP}_2 = 164$$

Las expresiones anteriores no toman en cuenta la eficiencia del ventilador, de ahí que la potencia demandada pudiera ser mayor, pero como el motor de potencia mayor inmediato al calculado es de 200 HP, se estima no habrá problemas por falta de potencia del motor para operar satisfactoriamente. Actualmente este ventilador se encuentra funcionando con 1278-RPM.

8. Cálculo de la bomba de agua para el lavador de gases.

Se requiere de un gasto de $0.848 \text{ m}^3/\text{min}$ y una carga dinámica de 19.7 m, con la expresión 9 se obtiene:

$$(9) \text{ BHP} = \frac{Q \times \Delta P \times f}{247000 \times \eta}$$

donde:

Q Galones por minuto

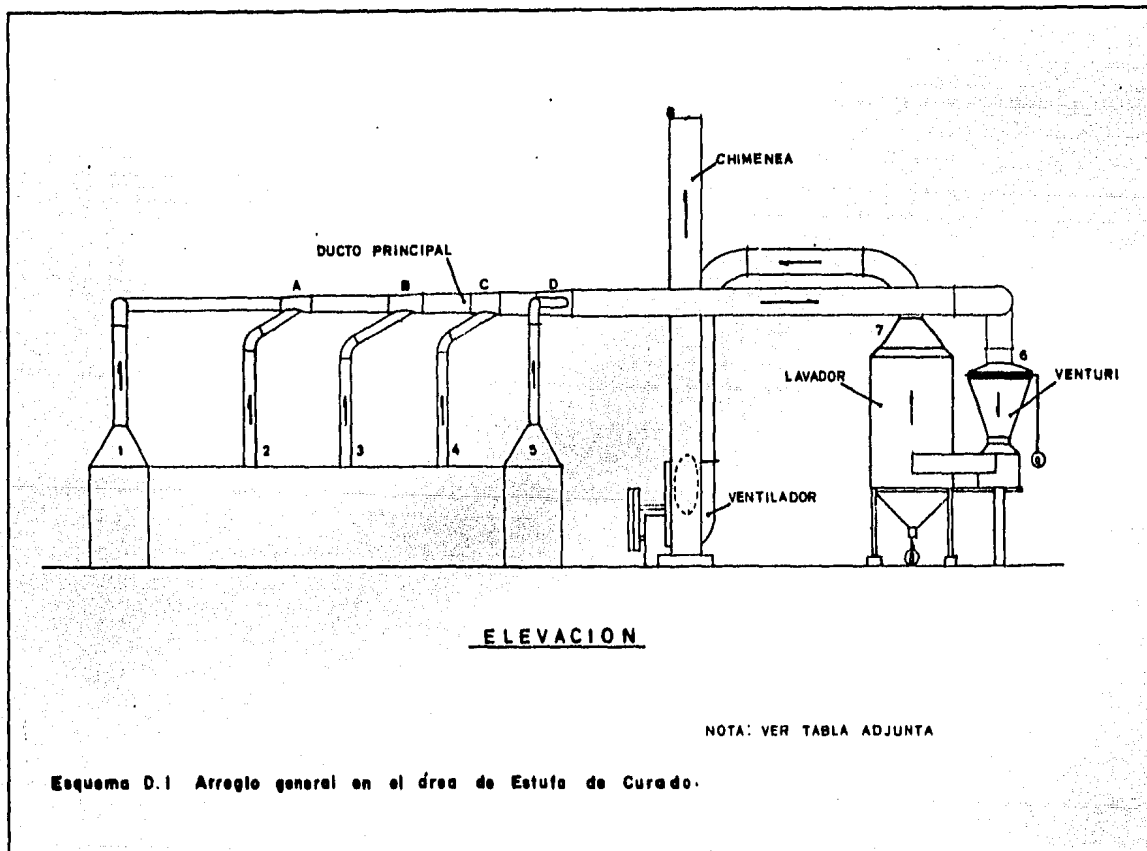
ΔP Carga dinámica en pies

ρ Densidad del fluido, lb/pie³

η Eficiencia de la bomba (61%)

BHP = 6.0

9. Esquema D.1 Diagrama de Flujo con Balance de Materia y Energía en todo el Sistema.



SECCION	Q		M		T		D	
	m ³ /min	pie ³ /min	Kg/min	lb/min	°C	°F	m	pieg.
1 - A	241.560	8 522.236	214.214	471.838	37.7	100	0.537	21.0
2 - A	116.162	4 098.195	77.525	170.760	140.0	284	-	-
A - B	358.407	12 644.160	291.739	642.598	62.7	145	0.648	25.5
3 - B	190.400	6717.313	127.079	279.910	140.0	284	0.470	18.5
B - C	547.960	19 190.915	418.818	922.507	85.0	185	0.800	31.5
4 - C	70.862	2 500.000	45.745	100.760	154.4	310	0.267	10.5
C - D	622.404	21 958.400	464.563	1 023.287	95.5	204	0.864	34.0
5 - D	241.560	8 522.236	214.214	471.838	37.7	100	0.533	21.0
D - 6	875.760	30 896.800	878.777	1 495.105	82.2	180	1.016	40.0
7 - 8	813.217	30 498.710	714.912	1 574.696	40.55	105	1.016	40.0

NOTAS : a AGUA DE LAVADO, PARTE SE EVAPORA : F = 0.648 m³/min (224 GMP)

b DREN DE LODOS: F = 0.812 m³/min (214.5 GMP)

Tabla de balance de materia Estufa de Curado.

APENDICE E

- E.1 Legislación Ambiental Mexicana.
- E.2 Legislación en otros países.
 - E.2.1. Estados Unidos de Norteamérica
 - E.2.2. Otros países.
- E.3 Fuentes y Control de Emisiones.
- E.4 Efectos de los Contaminantes.
- E.5 Factores de Emisión.

DISPOSICIONES LEGALES SOBRE EMISION DE GASES Y PARTICULAS A LA ATMOSFERA

En tiempos pasados, cuando aún el hombre no había descubierto el revolucionario mundo de la industria de las máquinas de producción a gran escala, la atmósfera de la tierra se encontraba prácticamente formando parte de un equilibrio ecológico, hasta que paulatinamente éste se fué perdiendo a consecuencia del desmedido desorden que el mismo hombre propició al no importarle la cantidad y tipo de desperdicios que arrojaban sus industrias al ambiente, dando origen así a la paciente pero perseverante contaminación atmosférica, - misma que, formada por partículas sólidas, vapores y gases - en su mayoría, afectarían y pondrían en peligro finalmente - no sólo la salud del mismo ser humano.

Como instrumento básico para poder controlar y abatir la -- contaminación atmosférica originada por el hombre (dejando al margen los efectos naturales que pudieran contribuir a - ésta), los diferentes gobiernos en todo el mundo se vieron obligados a establecer leyes y reglamentos que especificarían límites máximos tolerables para descargas de contaminantes vía aguas residuales, desechos sólidos (basura tipo industrial), gases (incluyendo material particulado que acompañe a éste), ruido y otras contaminaciones.

Para el presente tema en particular, únicamente se analizarán los aspectos correspondientes a emisiones a la atmósfera.

E.1. LEGISLACION AMBIENTAL MEXICANA

Actualmente en nuestro país se encuentra en etapa de desarrollo en cuanto a disposiciones y reglamentos para aire se refiere, aunque la última modificación y actualización se publicó en el Diario Oficial de la Federación día 27 de enero de 1984 en la cual se incluyeron Reformas y Adiciones a la Ley Federal de Protección al Ambiente (ref. 15).

La nueva Ley contempla:

- a. La protección atmosférica
- b. La protección de las aguas
- c. La protección del medio marino
- d. La protección de los suelos
- e. La protección del medio ambiente por efectos de energía térmica, ruido y vibraciones.
- f. Protección de los alimentos y bebidas por efectos del medio ambiente.
- g. La protección del ambiente por efectos de radiaciones ionizantes.

Específicamente señala que la descarga de contaminantes a la atmósfera, como polvos, vapores, humos, gases, materiales radiactivos y otros, deberán sujetarse a las normas reglamentarias así como instalarse o adoptarse los aditamen--

tos necesarios para los fines señalados en la ley.

En lo que a aire se refiere en la actualidad unicamente existe el siguiente Reglamento:

-Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica Originada por la Emisión de Humos y Polvos (publicado en el Diario Oficial de la Federación el 17 de Septiembre de 1971).

Respecto a humos y polvos, el Reglamento regula la emisión, por medio de sus fuentes, señalando que para establecer nuevas industrias cuyas actividades puedan producir contaminación atmosférica por humos y polvos o para ampliar las existentes, se requiere licencia de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

En estos documentos la filosofía y el procedimiento para actividades de control están descritos tanto desde el punto de vista técnico como legal, sin embargo, no hay reglamentación para el control de emisiones gaseosas por lo que este aspecto se cubre por la aplicación de los párrafos correspondientes a la Ley General de Salud de los Estados Unidos Mexicanos.

Considerando la Legislación Ambiental vigente, los parámetros reglamentados y que tienen interés industrial, son los

que muestran los valores máximos permitidos de emisión de polvos a la atmósfera, en función del peso del proceso y en relación al flujo de gas, ver (tablas E.1 y E.2).

E. 2 Legislación en otros Países.

III. 2. 1. Estados Unidos de Norteamérica

Una gran mayoría de reglamentos y valores máximos permisibles han sido establecidos por los Estados Unidos de Norteamérica y adoptados practicamente integros por otros países, ya que estos gobiernos carecen aún de la infraestructura para realizar dicho trabajo.

Así pues los reglamentos más importantes vigentes en el condado de Los Angeles, California (E. U. A.) son los siguientes:

a). Regla 50, Carta de Ringelmann.

Las Emisiones estándar de humo tienen un límite, en términos de la densidad de humo sobre la escala Ringelmann, la cual varía como sigue:

Nº. Escala	Porcentaje Opacidad
0 -----	0
1 -----	20
2 -----	40
3 -----	60
4 -----	80
5 -----	100

opacidades mayores que N°. 1 están fuera de lo reglamentado.

b) Regla 52, Material particulado.

Establece que el límite máximo permisible para la descarga de material particulado de este contaminante para cualquier fuente deberá ser como concentración máxima de 686.45 mg/m^3 de gas a condiciones de 15.5°C y 760 m.m. Hg.

c) Regla 54, Humos y Polvos

Establece el límite máximo permisible para la descarga de humos y polvos de acuerdo al peso del proceso de los materiales procesados por hora. El peso máximo permisible en kilogramos por hora es ponderado de acuerdo al peso de material procesado por hora, mismo que no deberá ser mayor a -- 18.16 kg/h. en donde sean procesados 27.24 ton./h o más.

Se entiende como peso del proceso al paso total de todos los materiales introducidos a cualquier proceso específico que sea capaz de causar una descarga a la atmósfera.

Los combustibles sólidos cargados son considerados parte del peso del proceso, pero los combustibles líquidos y gaseosos y el aire para combustión no lo son. El peso del proceso por hora es obtenido del resultado de dividir el peso del proceso total entre el número de horas en un proceso dado hasta la finalización del mismo, excluyendo el tiempo durante el cual el equipo se encuentra sin operar.

E.2.2 Otros Países.

El nivel de afectación del aire atmosférico sobre la salud del ser humano está definida por el estándar de calidad del aire el cual dice: la concentración de contaminante en la atmósfera en un punto de medición que no deberá ser mayor que la cantidad "X" especificada.

Los estandares de calidad de aire para material particulado suspendido se muestran en la tabla E.3.

Un estándar de emisión se define como: la cantidad de --

contaminante emitido por una fuente específica no deberá ser mayor que la cantidad "X. especificada. La cantidad puede ser expresada como una concentración en los gases efluentes.

Los estándares de emisión para material particulado total se muestran en la tabla E.4.

Otras fuentes de información diferentes a material particulado suspendido y respecto a estándares de emisión se pueden encontrar en las referencias indicadas a continuación:

Condiciones estándar; 24 horas promedio			
P A I S	A R E A	mg/m ³	OBSERVACIONES
E. U. A. (Texas)	Residencial	12.5	No excede más que el 10% de un día en un mes. Ref. B; 4-5 y 6
	Comercial	15.0	
	Industrial	17.5	
	Otros	20.0	
R u s i a		15.0	Ref. B; 4-8
P o l o n i a		20.0	Ref. B; 4-9
Checoslovaquia		15.0	Ref. B; 4-11
Canada (Ontario)	Resid.-rural	9.0	90% de un muestreo en 24 h. ref. B; 4-12
	Ind.- comercial	17.5	
México	N O R E G L A M E N T A D O		

TABLA E.1

Peso del Proceso Ton./h.	Emisión Máxima Permitida kg/h		Peso del Proceso Ton./h.	Emisión Máxima Permitida Kg/h.	
	Industria Nueva	Industria Existente		Industria Nueva	Industria Existente
0.025	0.489	0.653	6.0	19.281	23.708
0.050	0.780	1.040	8.0	23.382	31.176
0.100	1.239	1.652	10.0	27.153	36.204
0.200	1.974	2.632	15.0	35.625	47.500
0.300	2.589	3.452	20.0	43.200	57.600
0.400	3.141	4.188	25.0	50.166	66.888
0.500	3.468	5.864	30.0	55.572	74.096
0.750	4.788	6.348	35.0	57.462	76.616
1.000	5.805	7.740	40.0	59.127	78.836
1.250	6.741	8.988	45.0	60.564	80.752
1.500	7.617	10.156	50.0	61.926	82.568
2.000	9.237	12.316	60.0	64.269	85.693
2.500	10.725	14.300	70.0	65.556	87.408
3.000	12.120	16.160	80.0	68.052	90.736
3.500	13.437	17.916	100.0	71.154	94.872
4.000	14.694	19.592	500.0	95.456	127.248
4.500	15.900	21.200	1000.0	107.313	143.084
5.000	17.064	22.752	3000.0	130.080	172.650

La interpolación de los datos de esta tabla para peso -- de proceso hasta 28.5 toneladas por hora; para industria nueva debe hacerse usando la ecuación: $E=5.805 P(0.67)$ y para industria existente debe hacerse usando la ecuación $E=7.740 P(0.67)$. La interpolación y extrapolación de los datos para pesos de proceso mayores de 28.5 toneladas -- por hora para industria existente la interpolación y extrapolación de los datos para pesos de proceso mayores -- de 28.5 toneladas por hora debe efectuarse usando la ecuación: $E=100.864 P(0.11)-72.56$.

En donde E=relación de emisión kilogramos/hora y P= peso del proceso en toneladas/hora.

TABLA E.2

Volumen de Gas en la Fuente m^3 Normal por minuto	Concentración Industria Nueva mg/m^3 Normal.	Concentración Industria Existente mg/m^3 Normal
100	849.0	1132.0
125	795.0	1060.0
150	750.0	1000.0
175	714.0	952.0
200	684.0	912.0
300	600.0	800.0
400	543.0	724.0
500	510.0	680.0
750	444.0	592.0
1000	403.0	540.0
1500	357.0	476.0
2000	324.0	432.0
3000	285.0	380.0
4000	258.0	344.0
5000	240.0	320.0
7500	210.0	280.0
10000	192.0	256.0
15000	168.0	224.0
20000	154.2	205.6
30000	135.0	180.0
40000	123.0	164.0
50000	114.0	152.0

Tabla E.3.b. Concentración Total de Polvos Respirables,
Reportados a Condiciones Estándar.

P a í s	mg/m ³
Australia	10
Bélgica	10
Checoslovaquia	10
Finlandia	10
Rep. Fed. Alemania	8
Hungría	1000 partículas /cm ³
Italia	3.3
Polonia	10
Suiza	8
Rusia	4
E. U. A.	5
Yugoeslavia	5

- NOTAS:
- Se entiende como polvos respirables a las partículas que tienen un diámetro menor o igual a 7 micras.
 - Límites establecidos para partículas que posean menos que el 1% de SiO₂.
 - México; las partículas respirables son menores a 5 micras, ver Diario Oficial del 28 de mayo de 1984.

Tabla E. 4. Estandares de Emisión para Material particulado Total.

Condiciones Estándar

País	mg/m ³	Observaciones
Gran Bretaña	460	Partículas mayores a 10 micras
Rep. Fed. Alemana	115	Tamizado, Molienda, plantas envasadoras y otras fuentes similares de emisión.
Nueva Gales del Sur y Queens Land	460	Partículas mayores a 10 micras

NOTA: a. Checoslovaquia 5 kg/h, contenido máximo de SiO₂; 20%

País	Referencia B
Estados Unidos de Norteamérica	Pag. 4-14 a 17
Gran Bretaña	pag. 4 a 19
Rep. Fed. de Alemania	pag. 4 a 19
Japón	pag. 4 a 21
Checoslovaquia	pag. 4 a 21
Nueva Gales del Sur y Queensland	pag. 4 a 22

E.3 FUENTES Y CONTROL DE EMISIONES

Las leyes y reglamentos que han establecido los países para mejorar y mantener el equilibrio ecológico son la respuesta al problema de la contaminación atmosférica, aunque no sólo se concretan a ello, sino que también proponen programas y sistemas para legislar operaciones de procesos industriales según la siguiente clasificación:

- Fuentes móviles (automotores)
- Fuentes Estacionarias

Fuentes Móviles:

a. Emisiones

- a.1. Automóviles: hidrocarburos, monóxido de car-

bono y óxidos de nitrógeno.

a.2. Diésel: humos, olores, óxidos de nitrógeno y benzopirinas.

b. Controles

b.1. Automóviles: sopladores, dispositivos de control por succión y modificación de motores.

b.2. Diésel: mejorar las operaciones y control, mejorar combustibles y posiblemente dispositivos para control de extracciones.

Fuentes Estacionarias:

a. Polvos, humos y nieblas

a.1. Emisiones: cenizas, hollín, humos, óxidos férricos, partículas suspendidas en sustancias gaseosas, etc.

a.2. Controles: Camaras de Sedimentación separadores, lechos empacados, colectores, filtros de aire, lavadores de gases y precipitadores.

b. Gases y Vapores

b.1. Emisiones: dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, fluoruros, hidrocarburos y sulfuro de hidrógeno.

b.2 Controles: chimeneas (dispersión),
absorbedores o lavadores de gases,
incineradores, combustión catalíti-
ca y absorción.

c. Olores

c.1. Emisiones: Olores desagradables en
plantas químicas, molinos de pulpa
y papel, corrales ganaderos, ras-
tros, etc.

c.2. Controles: Dispersión o dilución,-
combustión y absorción.

E.4. EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES.

Los principales contaminantes y más importantes debido a la magnitud de la emisión de los mismos en fuentes móviles y estacionarias, han sido objeto de mayor estudio -- por parte de las autoridades gubernamentales de todo el mundo a consecuencia de los efectos que causan éstos sobre la salud de los seres humanos, ya que las investigaciones científicas de fondo han encontrado que son los - contribuyentes mayoritarios del desequilibrio ecológico- los siguientes compuestos químicos:

a. Dióxido de azufre.

a.1. Fuentes: Combustión de combustibles (carbón, petróleo, materiales celuloideos), procesos industriales.

a.2. Efectos principales: irrita y afecta la sensibilidad de las vías respiratorias, daños en plantas, corrosión y posibles efectos adversos sobre la salud.

b. Oxidantes.

b.1. Fuentes: Reacciones fotoquímicas atmosféricas - que involucran óxidos de nitrógeno, gases orgánicos, vapores y radiaciones solares.

b.2. Efectos principales: irrita y afecta la sensibilidad de las vías respiratorias, daños en plantas, provee indirectamente una reducción en el índice de visibilidad al igual que los aerosoles fotoquímicos, posibles efectos adversos sobre la salud.

c. Monóxido de carbono.

c.1. Fuentes: vehículos de gasolina, combustión y procesos industriales.

c.2. Efectos principales: reducción de la capacidad de fijar oxígeno en la sangre.

d. Hidrocarburos gaseosos totales.

d.1. Fuentes: combustión, procesos industriales y evaporación de hidrocarburos.

d.2. Efectos principales: reducción de la visibilidad, daños a plantas, las irritaciones sensoriales son efectos producidos en reacciones fotoquímicas que involucran hidrocarburos reactivos; el etileno es uno de ellos, ya que causa daños por sí sólo a las plantas.

e. Oxidos de Nitrógeno.

e.1. Fuentes: combustión, procesos industriales

e.2. Efectos principales: reducción de la visibilidad, daños a la vegetación, la irritación sensorial es producida por las reacciones fotoquímicas que involucran los óxidos de nitrógeno, éstos gases pueden también causar efectos adversos sobre la salud, el dióxido de nitrógeno puede causar un decremento en la vista.

f. Aldehidos alifáticos totales, formaldehidos y acroleína.

f.1. Fuentes: combustión, incineración de basuras y reacciones fotoquímicas atmosféricas.

f.2. Efectos principales: irritación sensorial, daños a la vegetación, reducción de la visibilidad y posibles efectos adversos sobre la salud.

g. Dióxido de carbono

g.1. Fuentes: procesos de combustión.

g.2. Efectos principales: Es empleado como un índice de contaminación en las operaciones de combustión.

h. Materia Particulada Suspendida.

h.1. Fuentes; combustión, procesos naturales e industriales.

h.2. Efectos principales: reducción de la visibilidad y ensuciamiento.

i. Sulfuro de Hidrógeno

i.1. Fuentes: carbón, destilación de alquitrán, refinación de petróleo y gas natural, fabricación de rayón viscoso y algunos procesos químicos.

i.2. Efectos principales: Olores desagradables y ofensivos a la salud.

j. Fluoruro de Hidrógeno

j.1. Fuentes: Calentamiento de minerales, arcillas y fundentes que contengan fluoruros y sean calentadas a altas temperaturas, plantas de reducción para aluminio y plantas productores de superfosfato.

j.2. Efectos principales: Daños a cítricos y otras --

plantas agrícolas, flores, afecta a los dientes y huesos del ganado cuando el forraje cosechado ha sido consumido.

k. Plomo

k.1 Fuentes: Motores de combustión interna, emisiones industriales, quemadores de campo y recubrimiento de maderas con pinturas a base de plomo.

k.2. Efectos principales: Envenenamiento por plomo, (muerte).

E.5. FACTORES DE EMISION

La gran mayoría de los procesos industriales en los que se manejan materiales sólidos particulados, normalmente presentan emisiones de polvo en los diferentes puntos de transferencia de los mismos, sea por ejemplo la descarga de una banda transportadora a tolva y/o viceversa, descarga de un elevador de cangilones a cribas y/o viceversa, etc. En estos casos es un tanto imposible evaluar la cantidad de los polvos emitidos y que permanecen suspendidos en el ambiente. Al respecto EPA (por sus siglas en idioma Inglés; Environmental Protection Agency), que es la Agencia para Protección Ambiental en E. U. A., ha investigado en forma - -

profunda y ha llegado a establecer valores promedio como resultado de los balances de materia y experiencias que ha obtenido como equipo de proceso específico en diferentes plantas industriales, tal es el caso que a continuación se presenta:

- Un horno para fundición de vidrio el cual carezca de equipo para control de polvos en la descarga de los gases (chimenea) productos de combustión emitirá 14.2 kg. de partículas por cada tonelada de producto obtenida (ref. 2, pag. 963 a 965).

Otras fuentes de información en las cuales pueden encontrarse reportados los factores de emisión para varias clases de proceso específicos son las siguientes: ref. B, E y F.

NOMENCLATURA

A	Area, m ²
C	Concentración, mg/m ³
CA	Columna de agua
D	Diámetro, m
E	Entalpia, Joule/kg.
F	Flujo volumétrico, m ³ /min
f	Fracción mol
f°	Fracción peso
G _H	Volúmen humedo, m ³ /kg.
g	Factor de fricción, adim.
H	Humedad absoluta, kg. agua /kg. aire seco
Ho	Humedad absoluta, kg. agua/kg. totales
HP	Potencia, caballos de fuerza
h _f	Entalpia del agua en estado vapor, Joule/kg.
h _g	Entalpia del agua en estado líquido, Joule/kg.
h _i	Coefficiente de película interna, BTU/h-°F-pie ²
h _{io}	Coefficiente de película interna referido al área externa, BTU/h-°F-pie ²
j _H	Factor de Colburn
K	Conductividad térmica, BTU/h°F-pié
L	Longitud; m
m	Masa, kg.
n	Número de moles, gmol.

P	Presión Absoluta, atm.
PE	Presión estática, m. m. CA
PM	Peso molecular, g/gmol
P_r	Número de Prandtl, adim.
Q	Flux de calor, Joule/min.
Q_f	Calor absorbido, Joule/kg.
Q_o	Calor cedido (enfriamiento), Joule/kg.
R	Constante universal de los gases, 0.08205 1-atm./gmol-°k
R_e	Número de Reynolds, adim.
RF	Relación de filtrado, $\text{pie}^3/\text{min.}/\text{pie}^2$
RPM	Revoluciones por minuto (velocidad angular)
T	Temperatura, °K
T_o	Temperatura de referencia, 298 °K
U _o	Coefficiente global de transferencia de calor, BTU/h- °F- pie^2
V	Volúmen del gas, l.
v	velocidad, m/min.
w_t	Agua requerida para enfriamiento, kg/min.

Super - Indices

e Exceso para diseño

Sub - Indices

a Aire seco

bh Bulbo humedo

bs Bulbo seco

c Captura

d	Valor de diseño
e	Estoquímétrico
ext	Externo
h	Agua
i	Componente i-ésimo
int	Interno
m	Mezcla
p	Promedio
q	Equivalente
r	Valor real
sat	Saturación
t	Transporte
w	Pared
x	Aire de dilución
1, 2, ...	Condiciones al punto n.

Letras Griegas

Δ	Diferencia
η	Eficiencia
ϵ	Emisividad, adim
ρ	Densidad, kg/m ³
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
μ	Viscosidad, kg/m - h
π	Constante pi, 3.1416
Σ	Serie de sumas

BIBLIOGRAFIA

1. Air Pollution Control Engineering -Basic Calculations for Particulate Collection.
-William Licht
Copyright 1980 by Marcel Dekker, Inc.
2. Air Pollution Engineering Manual,
Second Edition
Environmental Protection Agency.
3. Chemical Engineering
November 7. 1977
New Design Approach Bossts Cyclone Efficiency
Wolfgang H. Xock and William Licht.
4. Chemical Engineers Handbook,
Robert H. Perry and Cecil H. Chilton,
5 Edition
5. Determinación del flujo de gases en un conducto por medio del tubo pitot.
NOM - AA - 9 - 1973
6. Determinación de las emisiones de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto.
NOM - AA - 10 - 1973

7. Determinación de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión
NOM -AA- 35 - 1976
8. Emission factors
Compilation of air pollutant emission factors
Third Edition
1977
9. Fan Engineering
Buffalo Forge Company
Seventh Edition. 1970
10. Flow of fluids through valves, fittings and pipe technical paper No. 410
Crane
11. Guía de rata de relación de filtrado
Mikropul Corporation
12. Handbook of ventilation for contaminant control.
Henry J. McDermott
1981 Cuarta Edición.
13. Industrial Pollution Control Handbook
Herbert F. Lund
First Edition
McGraw Hill Book Company
1971
14. Industrial ventilation
American Conference of Governmental Industrial Higiениsts
Second Edition
1977

15. Ley Federal de Protección al Ambiente,
México, D. F. 1984.
16. Manual de Toxicología.
Editorial CECSA 1978
17. Occupational exposure limits for airborne toxic substances. Second (revised) Edition
International Labour office, Geneva.
1980.
18. Operation and maintenance for air particulate control
equipment.
Richard A. Young, Frank L., Cross, Jr.
1980
19. Operaciones de Transferencia de masa.
Segunda Edición.
Robert E. Treybal,
McGraw Hill
20. Pollution Engineering Practice Handbook
Paul N Chermisinoff and Richard A. Young,
Third Edition
1981
21. Procesos de Transferencia de Calor
1 ra. Edición, C. E. C. S. A.
Donald Q. Kern.

22. The industrial environmental.- Its evaluation and control U. S.

Department of Health, Education and welfare.

1973.