

00521  
21



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**“EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN COLECTOR DE POLVOS  
DE BOLSAS CON SACUDIMIENTO NEUMÁTICO EN  
UNA NUEVA LÍNEA DE EXTRACCIÓN EN LA  
FABRICACIÓN DE YESO”**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS MANCOMUNADA**

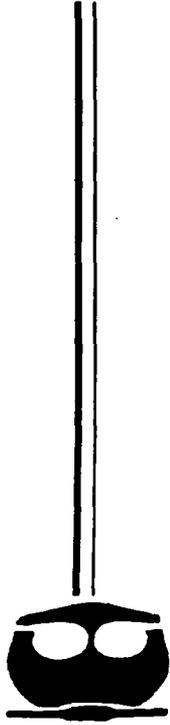
**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTAN:  
EDGAR G. BLANCAS MADRIGAL  
ERICK ORTIZ VÁZQUEZ**



**EXAMENES PROFESIONALES  
MÉXICO, FACULTAD DE QUÍMICA**

2003





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 esta 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.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente

Carlos Galdeano Bienzobas

Vocal

Juan Mario Morales Cabrera

Secretario

Rodolfo Torres Barrera

1er. Suplente

Rodolfo Ruiz Trejo

2do. Suplente

Alfonso Durán Moreno

Sitio donde se desarrollo el tema:

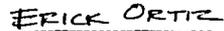
**GRUPO SPECCSA, S. A. DE C. V.**

Asesor del tema:

Sustentantes:

  
Ing. Rodolfo Torres Barrera

  
Edgar G. Blancas Madrigal

  
Erick Ortiz Vázquez

Supervisor Técnico

  
Ing. Julio Aguilar Bernal

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**"EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN COLECTOR DE POLVOS DE BOLSAS CON SACUDIMIENTO NEUMÁTICO EN UNA NUEVA LÍNEA DE EXTRACCIÓN, EN LA FABRICACIÓN DE YESO".**

**CONTENIDO:**

<b>1.0</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivo.....	5
1.2	Justificación.....	5
<b>2.0</b>	<b>Control de emisiones atmosféricas.....</b>	<b>6</b>
2.1	Descripción del proceso.....	9
2.1.1	Identificación de contaminantes.....	11
2.2	Equipos de control.....	16
2.2.1	Características de diseño y funcionamiento del sistema de control de partículas.....	27
<b>3.0</b>	<b>Evaluación técnica.....</b>	<b>33</b>
3.1	Sistema de control instalado originalmente.....	36
3.1.1	Descripción del proceso.....	37
3.1.2	Resultados de operación.....	39
3.2	Sistema de control rehabilitado.....	42
3.2.1	Descripción del proceso.....	42
3.2.2	Resultados de operación.....	44
<b>4.0</b>	<b>Evaluación económica.....</b>	<b>47</b>
4.1	Costo de inversión del sistema de control original.....	51
4.2	Costo de inversión del sistema de control rehabilitado.....	53
4.3	Costo de operación del sistema de control original.....	55
4.4	Costo de operación del sistema de control rehabilitado.....	55
<b>5.0</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>57</b>
<b>6.0</b>	<b>Anexo A.....</b>	<b>59</b>
<b>7.0</b>	<b>Anexo B.....</b>	<b>65</b>
<b>8.0</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>72</b>

### Índice de tablas.

Tabla I Técnicas de control aplicables al proceso de fabricación de yeso.....	7
Tabla II Características de las telas empleadas como filtros en los colectores.....	31
Tabla III Ventajas y desventajas de los filtros de bolsa.....	32
Tabla IV Componentes de los factores técnicos.....	35
Tabla V Lista de equipos del sistema original.....	36
Tabla VI Lista de equipos del sistema rehabilitado.....	42
Tabla VII Componentes de los factores económicos.....	50
Tabla VIII Comparación de los costos de inversión.....	54
Tabla IX Comparación de los costos de operación.....	56
Tabla X Comparación de los costos de producción.....	56
Tabla XI Límites permisibles de partículas a la atmósfera.....	62

### Índice de tablas de resultados de operación

Tabla 1 Resultados de operación de la línea original.....	39
Tabla 2 Resultados de operación del ventilador A.....	39
Tabla 3 Potencia del ventilador A.....	39
Tabla 4 Eficiencia del ventilador A.....	39
Tabla 5 Resultados de operación del sistema actual.....	44
Tabla 6 Resultados de operación del ventilador B.....	44
Tabla 7 Potencia del ventilador B.....	44
Tabla 8 Eficiencia del ventilador B.....	44

### Índice de tablas del Anexo B

Tabla A Factor de material.....	67
Tabla B Factor de aplicación.....	68
Tabla D Factor de finura.....	68

### Índice de figuras

Figura 1 Ventilador centrífugo.....	2
Figura 2 Ventilador centrífugo.....	20
Figura 3 Filtros usuales de tela de tipo vibratorio.....	24
Figura 4 Filtros usuales de tela de tipo vibratorio.....	25
Figura 5 Colector de impacto.....	26
Figura 5-A Vista diagramática de plano para ilustrar el movimiento de gas a través del colector de impacto.....	26
Figura 6 Colector de polvos con sacudimiento neumático instalado en el proceso.....	30
Figura 7 Diagrama de flujo original.....	38
Figura 8 Diagrama de flujo actual.....	43

### Índice de gráficas

Gráfica 1 Curva de operación de la línea A.....	40
Gráfica 2 Curva de operación del ventilador A.....	40
Gráfica 3 Curvas de operación del ventilador A.....	41
Gráfica 4 Curva de operación de la línea B.....	45
Gráfica 5 Curva de operación del ventilador B.....	45
Gráfica 6 Curvas de operación del ventilador B.....	46
Gráfica 7 Curvas de operación del sistema rehabilitado.....	46

### Índice de gráficas del anexo B

Gráfica C Temperatura efectiva.....	69
Gráfica E Carga efectiva de polvos.....	69

# **PAGINACIÓN DISCONTINUA**

**EDGAR.**

**AGRADECIMIENTO.**

**A mis Padres.**

Por todo el esfuerzo, el amor y la confianza que siempre depositaron en mí, que a pesar de mis tropiezos siempre estuvieron ahí para levantarme e impulsarme. Gracias.

**A mi hermano Daniel.**

Por ser siempre una guía, un ejemplo y porque me enseñaste que se puede superar cualquier barrera con esfuerzo y dedicación y por la gran admiración y cariño que siento por ti.

**A Nellie.**

Que tanto quiero, porque a pesar de los problemas quiero ser un ejemplo para ti y que sepas que mi amor por ti es infinito.

**A mis abuelos.**

Que tanto amor me dieron y por sembrar el camino que mis padres cosecharon.

**A mis primos Memo y Cesar.**

Porque a pesar de la distancia siempre hemos permanecido juntos.

**A mis amigos de la facultad Luis y Alfredo.**

Porque siempre me demostraron su amistad incondicional.

**A mis amigos Marino, Luis e Isaac.**

Que sepan que siempre estaré con ellos y que a pesar de los momentos difíciles sabemos que el camino es el trabajo, el estudio y la superación personal.

**A mi esposa Arlette.**

Por todos los momentos felices y se que siempre estarás viviendo dentro de mi corazón. Te amo.

**A mi hija Ariad.**

**Por ser todo y más, por ser mi fuerza, mi corazón,  
mi alegría y porque al conocerte abrí los ojos a una  
nueva vida llena de esperanza. Te amo.**

**A mis suegros.**

**Por su cariño y comprensión.**

**A mi hermano Erick.**

**Porque a pesar de todo, sabes que eres punto y aparte.**

**Gracias Jazmin y Cerezos.**

**A Dios por cuidarme, por mi familia, por mi esposa y  
por mi hija y por dejarme llegar hasta aquí. Gracias.**

**Gracias a mi asesor el Ing. Rodolfo Torres Barrera por  
su ayuda y dedicación.**

**Gracias a todos mis maestros de la Facultad y a mi  
Honorable jurado.**

**ERICK.**  
**AGRADECIMIENTO.**

**A mi Padre.**  
En su memoria.

**A mi Madre.**  
Mi agradecimiento infinito por el cariño,  
apoyo y confianza que en mi ha depositado.

**A mis hermanos:**

**Rafael.**  
Porque en todos estos años su compañía y  
buenos consejos me permitieron salir adelante.

**Hugo.**  
**Sergio.**  
Por su cariño y por ser cada uno tan especial.

**Daniela.**  
Porque su cariño me motiva a ser mejor cada día.

**A mis compañeros de la facultad por su amistad.**  
**Carlos.**  
**Luis.**  
**Luis Fernando.**

**A Edgar.**  
Porque pasamos muchos momentos buenos, otros no tan  
buenos y porque a pesar de todo seguimos siendo amigos.

**A Sara porque, aunque lejos siempre será mi amiga.**

**A Dios por su infinita bondad y misericordia y porque sin  
Él nada sería posible.**

**Gracias a mi asesor el Ing. Rodolfo Torres Barrera por su ayuda y dedicación.**

**Gracias a todos mis maestros de la Facultad y a mí Honorable jurado.**

## **1.0 INTRODUCCIÓN.**

### **RESEÑA HISTÓRICA.**

**Históricamente el yeso se conoce desde tiempos remotos, entre los materiales de construcción cuya obtención requiere la intervención del hombre y en general, se considera como el más antiguo.**

**Se obtiene sencillamente calentando a una temperatura no muy elevada y después de reducir a polvo a un mineral bastante frecuente en la naturaleza: el ajez o piedra de yeso.**

**Recientes descubrimientos arqueológicos han demostrado que el empleo del yeso se remonta al noveno milenio a. C. Enlucidos de yeso y cal sirvieron de soporte a frescos decorativos.**

**Se sabe que en la pirámide de Keops, rey de Egipto de la IV dinastía, 2800 años antes de nuestra era, contiene uno de los mas antiguos testimonios del empleo del yeso en las juntas de gran precisión de los bloques de unas 16 toneladas que integran el monumento.**

**El filósofo Teofrasto que vivió en los siglos III y IV a. C. Menciona la existencia del mineral en su "Tratado de la piedra" que parece ser el documento mas antiguo que hace mención del yeso. Cita yacimientos en Chipre, Fenicia y Siria. Indica que el yeso se empleaba como un enlucido, en la ornamentación, frescos, bajorrelieves y estatuas. Subraya la calidad y la potencia de los conglomerantes de él derivados y la posibilidad de recuperar los enlucidos o las obras de yeso, para someterlas a un nuevo cocimiento y emplearlos de otra vez.**

**A partir del siglo XII y hasta el final de la Edad Media, la albañilería y los enlucidos de yeso alcanzan gran aceptación. Ya se conoce el estuco de yeso y el yeso en los pavimentos.**

**En el siglo XVIII se generaliza el empleo del yeso en la construcción hasta el punto en que la gran mayoría de las viviendas utilizan este tipo de mineral en su fabricación.**

**Por el año de 1768, Lavoisier presenta a la Academia de las Ciencias el primer estudio científico de los fenómenos que presentan base a la preparación del yeso.**

En el siglo siguiente, los trabajos de diversos autores, entre los cuales destacan Van't Hoff y Le Chatelier permiten abordar una explicación científica de la deshidratación del yeso. Con base en ellos, se produjo una profunda transformación de los equipamientos.

### NATURALEZA.

El nombre del yeso proviene del griego "GYPSOS". Es la forma mineral del sulfato de calcio hidratado de fórmula  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . El yeso esta muy distribuido en la corteza terrestre y se presenta en varias formas, asociaciones y colores, la mayoría de los yacimientos de yeso se presentan estrechamente asociados con estratos de anhidrita o masas diseminadas de este mismo material, lo que sugiere el problema de origen geológico y la posible transformación de una forma en la otra después de formado el depósito.

Las impurezas que se observan en el material suelen ser: arcilla, materia orgánica, inclusiones de grano de arena y sulfuros, entre otros.

La composición promedio del sulfato de calcio es la siguiente:

Trióxido de azufre	46.60%
Cal	32.50%
Agua	20.90%

### ORIGEN.

En las condiciones naturales, el yeso se presenta por distintas formas.

- 1) En masas considerables se deposita por vía sedimentaria en el fondo de lagos salados y en los mares que van secando. El yeso, al igual que la halita ( $\text{NaCl}$ ), sólo puede desprenderse en las fases iniciales de la evaporación, cuando no es todavía muy alta la concentración de las demás sales disueltas según el principio de Usiglio. Así cuando dicha concentración llega a un nivel determinado, en particular tratándose de  $\text{NaCl}$  y  $\text{MgCl}_2$ , en lugar del yeso se forman cristales de anhidrita y luego otras sales más solubles.

Se presenta en cinco variedades principales:

- a) **Selenita:** Se presenta cristalizado, formado por láminas transparentes y semiflexibles con planos de estructura bien marcados.
  - b) **Fibroso:** Se presenta satinado, de estructura fibrosa con lustre sedoso.
  - c) **Yeso de roca:** Es una variedad de composición sólida de grano mas fino que el del alabastro.
  - d) **Alabastro:** Es compacto generalmente blanco, de grano muy fino a veces con tintes muy suaves de diferentes colores.
  - e) **Gypsita:** Formación suave que cuando se presenta impura, es terrosa e inconsistente y ligeramente consolidada.
- 2) Masas muy considerables de yeso se forman como consecuencia de la hidratación de la anhidrita en los depósitos sedimentarios bajo el efecto de las aguas superficiales, en un ambiente de bajo presión exterior.
- 3) En las regiones desérticas y semidesérticas es muy frecuente la presencia de yeso en filones y nódulos en la corteza de meteorización de las rocas de distinta composición.

Suele formarse también en las calizas bajo el efecto de las aguas enriquecidas con ácido sulfúrico o sulfatos disueltos en ellas. La adición de ácido sulfúrico al agua aumenta sensiblemente la solubilidad del yeso y por ello, en varios yacimientos este mineral suele ser mas común en la parte superior de las zonas menos primarias, en cuyas fisuras se encuentra asociado con otros sulfatos.

- 4) El yeso es relativamente raro como mineral hidrotermal, típico en los yacimientos de sulfuros formados a bajas temperaturas y presiones. En dichos yacimientos se observan, a veces, bajo la forma de grandes cristales en las cavidades y contiene inclusiones de calcopirita, pirita, esfalerita, entre otras.

## **EXTRACCIÓN.**

El sistema de explotación de un yacimiento de yeso, depende de la profundidad a la que se encuentra el mineral, y puede ser:

- 1) A cielo abierto
- 2) Por galerías

Dependiendo del sistema empleado y de las características del mineral, se utilizan equipos tales como picos, palas, barretas, pistolas neumáticas, cargadores, equipos de transporte, etc.

Una vez extraído el mineral se realiza una selección de campo que se práctica generalmente a la vista, aunque a veces es necesario apoyarse en análisis químicos, que nos indiquen su composición.

Es recomendable que el yacimiento se encuentre muy próximo al nivel del suelo, ya que de esta manera se evitará el incremento en los costos de excavación. Cuando se realiza una explotación a cielo abierto se utilizan equipos menos sofisticados (caso contrario en extracción a través de galerías) como barrenos, dinamita, hidrogeles. Con barrenos mas pequeños se lleva acabo la fragmentación de masas grandes y, finalmente, con machacadoras mecánicas o quebradoras de mandíbulas, se obtiene el tamaño de piedra deseado, que sometidos después a un molido, pasan a los hornos de calcinación.

### **1.1 OBJETIVO.**

**Evaluar la adición de una nueva línea de recolección de partículas en el proceso de fabricación de yeso.**

- > Comparación de los costos de inversión y de operación del sistema de control original y el rehabilitado.**
- > Evaluar los beneficios en la adición de una nueva línea de control.**

### **1.2 JUSTIFICACIÓN.**

**La presente tesis se realizó en una fabrica de yeso, la cual desde el inicio de sus operaciones solo contaba con una línea de recolección de partículas y debido al incremento de su capacidad de producción fue necesario implementar una nueva línea de recolección, el presente trabajo pretende evaluar los beneficios económicos y técnicos del nuevo sistema de control de partículas.**

## **2.0 CONTROL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS.**

La contaminación del aire consiste en las partículas o impurezas que se encuentran en suspensión o que son transportadas por una corriente de aire o de gas en movimiento, las sustancias contaminantes pueden presentarse en forma líquida (comúnmente conocidas como niebla), en forma de emanaciones gaseosas o como partículas sólidas de materia, incluido el polvo. Pueden producir, al menos uno de los cuatro siguientes efectos nocivos: pérdidas de productos valiosos, molestia atmosférica o peligro contra la seguridad, daños a la calidad de los productos fabricados o a la planta en su totalidad y al mantenimiento del equipo. Las partículas se clasifican en dos categorías según su tamaño: microscópicas o submicroscópicas. El diseño del equipo y la eficacia de recogida se encuentra directamente relacionado con el tamaño de las partículas. Las partículas del tamaño de una micra o mayores (una micra =  $1/25,400$  plg) son generalmente mas fáciles de recoger. Las de tamaño inferior (submicroscópicas) ofrecen más dificultad en su recogida. Una excepción la constituyen las moléculas de gas. Aunque son pequeñísimas (0,005 micras), generalmente se les puede separar con cierta facilidad mediante las torres de relleno.

A continuación en la tabla I se muestran las técnicas de control aplicables al proceso unitario de fabricación de yeso:

Industria	Proceso de operación	Contaminantes de Aire emitidos	Técnicas de control
<b>Y E S O</b>	Cantera, quebradoras primaria y secundaria transportador, almacenamiento	Partículas (polvo)	Sistema de extracción con recolectores mecánicos
	Proceso en seco y manejo de materiales	Partículas (polvo)	Sistema de extracción local, recolectores mecánicos y filtros de bolsas
	Molienda	Partículas (polvo)	Sistema de extracción local y filtros de bolsas
	Transporte neumático y almacenamiento	Partículas (polvo)	
	Operación del horno: horno rotatorio	Partículas (polvo), CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , hidrocarburos.	Filtro de bolsas

Tabla I. Técnicas de control aplicables al proceso de fabricación de yeso.

Las emisiones contaminantes de la atmósfera, originadas por fuentes fijas deberán ser evaluadas con el fin de reducirlas y controlarlas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

Las emisiones de olores, gases, partículas sólidas y líquidas a la atmósfera que se generen en fuentes fijas, no deberán exceder los valores máximos de emisión y de inmisión, por contaminantes y por fuentes de contaminación que se establezcan en las Normas Oficiales Mexicanas. (La norma que rige nuestro proceso se detalla mas adelante).

Los responsables de las fuentes fijas de jurisdicción federal, que emitan olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera estarán obligados a :

- I. Emplear equipos y sistemas que controlen las emisiones a la atmósfera, para que éstas no rebasen los límites máximos permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas.
- II. Integrar un inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera.
- III. Instalar plataformas y puertos de muestreo.
- IV. Medir sus emisiones contaminantes a la atmósfera, registrar sus resultados y remitir a ésta los registros cuando así lo solicite.
- V. Llevar a cabo el monitoreo perimetral de sus emisiones contaminantes a la atmósfera, cuando la fuente de que se trate se localice en zonas urbanas y suburbanas, cuando colinde con áreas naturales protegidas, y cuando por sus características de operación o por materias primas, productos y subproductos puedan causar grave deterioro a los ecosistemas, a juicio de la SEMARNAT.
- VI. Llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y control.
- VII. Dar aviso anticipado a la SEMARNAT del inicio de operación de sus procesos, en el caso de paros programados y de inmediato en el caso de que estos sean circunstanciales, si ellos pueden provocar contaminación.
- VIII. Dar aviso inmediato a la SEMARNAT en el caso de falla del equipo de control, para que ésta determine lo conducente, si la falla puede provocar contaminación.

Estos puntos se encuentran en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.

## 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

### ALMACENAMIENTO.

El proceso se inicia con la selección adecuada de la materia prima ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) la cual proviene del estado de Puebla. La extracción de la materia se realiza a través de un sistema de explotación a "cielo abierto" el cual conviene al proceso ya que el costo de extracción es menor. La materia prima cuenta con las siguientes características:

La materia prima llega vía terrestre al almacén que se encuentra ubicado a un costado de la planta, este almacén mide aproximadamente  $20 \text{ m}^2$ . Este almacén esta equipado con un sistema de bandas transportadoras que llevan la materia prima a un elevador de materia.

### TRATAMIENTO.

El elevador de materia conduce el material directamente a una tolva que se encuentra ubicada en la parte frontal y superior del horno. Esta tolva alimenta  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  a un horno rotatorio, el cual se encarga de eliminar la humedad de la piedra.

En el interior se lleva a cabo la siguiente reacción:



A la salida del horno la piedra ha cambiado sus características físicas debido a la pérdida de humedad.

En el horno parten dos líneas. Una de ellas lleva el material al molino (esta línea será detallada mas adelante) y la otra se encarga de recuperar el polvo generado en el interior, debido al movimiento mecánico del horno.

Este polvo va mezclado con los gases de combustión y se desplazan a contra flujo a lo largo de la línea. En la recuperación de estos polvos se emplea un colector de impacto que a su vez se divide en dos líneas (conocidas como línea uno y línea dos).

La cantidad de material que no fue recuperado en el colector de impacto se desplaza a través de la línea uno y línea dos. El material recuperado por la línea uno se realiza por medio de un colector de polvos de sacudimiento neumático y un ventilador de tipo centrífugo al final de la línea. Esta línea cuenta con una chimenea que permite tener un control de las emisiones contaminantes a la atmósfera

Esta piedra pasa directamente a un molino de listones que reduce la piedra a un tamaño de partícula de 60 mallas.

A la salida del molino están instaladas dos líneas, una de ellas se encarga de la recuperación del polvo residual que es transportado a un equipo de control (la cual es conocida como la línea dos), esta línea cuenta con un colector de bolsas de polvos con sacudimiento neumático y un ventilador de tipo centrífugo. A la salida de la línea dos esta instalada una chimenea que permite tener un control de las emisiones contaminantes emitidas a la atmósfera.

La otra línea se encarga de transportar el material procesado a un elevador de materia el lo conduce a un sistema de envasado que consta de dos tolvas Recolectoras.

Aquí se puede decir que el proceso de manufactura ha terminado.

### 2.1.1 IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES.

En la atmósfera se encuentran presentes una gran variedad de sustancias contaminantes. Entre estas las más importantes para evaluar la calidad de aire son las siguientes:

- ❖ Partículas suspendidas totales
- ❖ Plomo
- ❖ Monóxido de carbono
- ❖ Óxidos de azufre
- ❖ Óxidos de nitrógeno
- ❖ Hidrocarburos
- ❖ Ozono y otros oxidantes fotoquímicos

En los primeros seis casos se tratan de sustancias emitidas en forma directa por la combustión y otros procesos industriales, así como en la erosión, los incendios y otros fenómenos naturales; por ello se le conoce como contaminantes primarios. Por su lado el ozono pertenece a la categoría de los contaminantes secundarios éstos se producen en la atmósfera como resultado de reacciones fotoquímicas entre contaminantes primarios principalmente los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos.

El comportamiento fisicoquímico de los contaminantes desempeñan un papel crucial en la contaminación atmosférica. Las sustancias se dispersan en el aire donde pueden interactuar químicamente entre sí, con los componentes naturales de la atmósfera y con los materiales de la superficie.

$SO_2$  .

Entre los derivados del azufre, es el principal contaminante. La concentración normal en la atmósfera es de 0,2 ppb.

La actividad humana produce la mayor parte del  $SO_2$  presente en la atmósfera y entre ella la mayor cantidad proviene de las combustiones, sobre todo en la combustión del carbón. El petróleo contiene cantidades variables de azufre que, en la combustión de líquido produce  $SO_2$  .

Generalmente, las emisiones más importantes de  $SO_2$  a la atmósfera tienen lugar en las aglomeraciones urbanas (calefacción y vehículos automotrices), aunque ciertas industrias ubicadas en zonas agrarias pueden producir cantidades apreciables de gas (centrales térmicas, refinerías de petróleo, etc.).

El  $SO_2$  tiene un carácter reductor y como tal sufre una serie de transformaciones a partir del momento en que aparece en la atmósfera: esto quiere decir que no permanece estable, si no que se incorpora al ciclo del azufre en la biosfera.

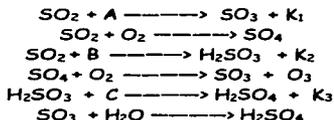
Bajo la acción de los rayos ultravioleta se verifica que:



Ante la presencia de vapor de agua el  $SO_2$  se transforma en ácido sulfuroso, con desprendimiento de calor, la reacción es catalizada por partículas sólidas con Mg o Fe nos da una reacción de :



El  $H_2SO_3$  no es estable y, debido a reacciones fotoquímicas (rayos UV, etc.) se transforma en  $H_2SO_4$



Hemos de indicar también que los niveles de  $SO_2$  en el aire son variables: desde 0,2 ppb en zonas no contaminadas, como se ha indicado antes, hasta niveles no contrastados por elevados en el valle de México.

$CO_2$  .

Inicialmente consideramos al anhídrido carbónico como un compuesto no contaminante pues es un componente del aire, es utilizado por los vegetales

en la fotosíntesis y en principios sus presencia en proporciones normales en suelos, aire y seres vivos no puede ser considerada como nociva.

La mayor parte del  $CO_2$  se produce en la respiración de la biocenosis y sobre todo, en la combustión de productos fósiles (petróleo y carbón).

El nivel de  $CO_2$  de la atmósfera esta aumentando de modo alarmante, fundamentalmente en los últimos decenios, debido al desarrollo industrial. Se habla de 278 ppm de  $CO_2$  presentes en el aire en 1950 de 340 ppm en 1987 y de 360 ppm en 1991, de las que los organismos fotosintéticos extraen  $11.10^{10}$  tm al año y a las que se aportan  $7.2.10^{10}$  tm al año procedentes de la respiración de los seres vivos y otro tanto procedente de las combustiones. Esto indica que el aumento anual de contenido de  $CO_2$  contenidos en la atmósfera es de 1 a 4 ppm.

La incidencia de aumento de contenido de  $CO_2$  en la atmósfera sobre la biosfera es inmensa, pues puede provocar desde alteraciones climáticas hasta perturbaciones en el desenvolvimiento normal de los seres vivos. Es a partir de esta situación cuando el  $CO_2$  puede ser considerado como compuesto que altera las características del medio atmosférico.

Los efectos sobre los seres vivos de una proporción variable de  $CO_2$  en la atmósfera han sido muy estudiados particularmente en lo que se refiere a investigaciones sobre vegetales y su posible incidencia en el crecimiento, desarrollo y productividad (acción perturbadora sobre la respiración y asimilación en la fotosíntesis). Por otra parte sabemos que al aumentar la contaminación de  $CO_2$  en la atmósfera, aumenta la energía que queda en la Tierra procedentes del sol, y ello lo hace en forma de calor. Este efecto (efecto invernadero) es causado por la transparencia del  $CO_2$  que por una parte permite pasar mejor a la radiación solar y por otra provoca una mayor retención de la radiación IR emitida desde la Tierra.

## CO.

EL monóxido de carbono existe en la atmósfera de todas las grandes ciudades, en las cuales su fuente principal es la combustión incompleta del carbón, del petróleo y otros combustibles orgánicos, ya sea en viviendas, en industrias o en gases de escape de los vehículos de motor: estos gases de escape pueden contener del 1 al 15% de CO.

El CO de la atmósfera no tiene una concentración fija, si no que está varía según el lugar. Normalmente oscila entre 0,020 y 1,5 ppm en lugares no contaminados, y puede sobrepasar las 100 y hasta las 320 ppm en la proximidad de los focos emisores( generalmente en ciudades con mucho tráfico de vehículos y ciertas condiciones climatológicas).

NO<sub>x</sub> .

Los compuestos del nitrógeno son nocivos para los animales y para la vegetación. Los compuestos de este elemento, como NO, NO<sub>2</sub> , N<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub> , etc., engendran reacciones fotoquímicas en la atmósfera, sobre todo en el caso de ciudades que tienen mucha luminosidad y contaminadas.

En el medio natural este tipo de contaminación no es importante excepto en casos aislados de algunas plantas de fabricación de fertilizantes y casos muy concretos de vías interurbanas de circulación de automóviles (debido a motores de explosión).

Sin embargo, esos productos en presencia de derivados de azufre, de humedad y de luz, sufren una serie de reacciones, que provocan las lluvias ácidas.

El N<sub>2</sub>O tiene una concentración media en la atmósfera de 0,25 ppm; por el contrario, el NO y el NO<sub>2</sub> , y los NO<sub>3</sub> , etc.: actúan de diversas formas.

El NO<sub>2</sub> se disocia por acción fotoquímica:



Y produce una coloración gris amarillenta en las ciudades con elevado índice de contaminación y reacciona con otros agentes contaminantes.

El NO<sub>2</sub> de la atmósfera se transforma en HNO<sub>3</sub> bajo la acción de vapor de agua de la atmósfera y el ácido se convierte a su vez en NO<sub>3</sub> NH<sub>4</sub> al reaccionar con el NH<sub>3</sub> del aire.

Ciertos productos nitrogenados como el NH<sub>3</sub> , y el HNO<sub>3</sub> puede producir contaminaciones locales en las proximidades de los lugares de fabricación.

## **HIDROCARBUROS.**

Tiene como fuente principal las combustiones incompletas de combustibles en las instalaciones fijas y de carburantes de los motores de explosión.

Se pueden considerar, en conjunto, cuatro grandes grupos de causas de emisión de hidrocarburos a la atmósfera:

- Transportes
- ✓ Vehículos automotrices
- ✓ Ferrocarriles
- ✓ Aeronaves
- ✓ Navegación
- Combustiones en instalaciones fijas
- ✓ Industrias
- ✓ Calefacción
- Manejo de los combustibles
- ✓ Refinerías
- ✓ Pérdidas de gasolina (evaporación)
- Fuentes Naturales (vegetación, emanaciones del suelo)

Los hidrocarburos producidos en las emisiones debidas a los transportes terrestres pueden ser ligeros o pesados. Los vehículos automotrices no queman totalmente los combustibles y emiten una parte atomizada ( benzo-3,4 pireno).

La cantidad de hidrocarburos vertidos en transportes depende fundamentalmente de:

- ✓ Tipo de combustible
- ✓ Tipo de motor
- ✓ Estado y edad del motor
- ✓ Características de la circulación

Las combustiones en instalaciones fijas, en este caso la naturaleza del combustible líquido o gaseoso es fundamental en el momento de calcular el volumen de emisiones de hidrocarburos a la atmósfera.

El fuel-oil, combustible muy utilizado en la industria y calefacciones, tiene varias características que pueden tener ciertas incidencias sobre la contaminación atmosférica:

- ✓ Viscosidad
- ✓ Punto de vertido o de fluidez
- ✓ Contenido en agua o sedimentos

## 2.2 EQUIPOS DE CONTROL

En el proceso de la fabricación de yeso, se emiten partículas sólidas contaminantes, provenientes de fuentes fijas de acuerdo a la NOM-ECOL-93, esta norma será detallada en el anexo A.

Para el control de estas partículas se emplean los siguientes equipos:

- ❖ Chimeneas
- ❖ Ventiladores
- ❖ Colector de polvos de bolsas con sacudimiento neumático
- ❖ Colector de impacto

### VENTILADORES.

Los ventiladores son generalmente identificados como máquinas que mueven gases o vapores a bajas presiones, por medio de aspas o impulsores rotatorios los cuales convierten la energía mecánica de rotación a energía de presión en el gas o vapor manejado.

Los ventiladores se clasifican en dos tipos básicos: centrífugos y axiales.

Los ventiladores centrífugos. Estos ventiladores continúan el flujo dentro de una cubierta en forma de caracol y producen presión por medio de dos fuerzas: la centrifuga que se genera al hacer girar la columna de gas encerrada entre las aspas, y la aceleración tangencial del gas mediante las aspas del impulsor. El flujo de aire de estos ventiladores es paralelo al radio de rotación y tienen básicamente cuatro diseños de impulsión: curvado hacia adelante, radial, curvado hacia atrás y del tipo aerodinámico.

Curvado hacia adelante. El impulsor tiene aletas o las cuales están curvadas hacia la dirección de rotación. Estos ventiladores requieren de poco espacio y no son ruidosos cuando están en operación. Su uso se enfoca mas hacia los servicios de calefacción y aire acondicionado. Este ventilador no es recomendado para polvos o partículas debido a que es muy sensible a la acumulación de partículas que podrían adherirse a las aletas cortas y curvadas y causarían un desequilibrio.

Impulsores radiales. Es el mas sencillo de los ventiladores centrífugos y tiene aletas que son rectas o están en una dirección radial, tiene una eficiencia mecánica del 50% al 60% menor que la de otros ventiladores centrífugos, es mas costoso porque su constitución es mas fuerte y tiene buena resistencia al impacto. La forma radial de las aletas puede resistir un aumento en el flujo de material que circula a través de ellas y esta misma forma radial les permite tener una mayor resistencia a la abrasión que cualquier otra forma de aletas.

Curvado hacia atrás. Las hojas de impulsión están inclinadas en forma opuesta a la dirección de rotación del ventilador y es esta característica lo que hace que sea el mas empleado de los ventiladores, presenta relativos bajos niveles de ruido y la forma de sus aspas es conveniente para un aumento de flujo. El aire sale de la rueda del impulsor a una velocidad mas baja que la velocidad tangencial de la rueda. Con esto se produce una presión estática de 15 pulgadas manométricas de agua o mayor. Estos ventiladores funcionan a velocidad media, tienen amplia capacidad de presión y volumen.

Ventiladores aerodinámicos. El ventilador de aletas aerodinámicas es de gran rendimiento debido a que la forma de sus aletas permite una corriente de aire mas uniforme, con menos torbellinos, a través del rodete. Se emplea normalmente en los casos de gran caudal y alta presión.

En las figuras 1 y 2 se muestra un ventilador centrífugo con sus diferentes terminologías.

La otra gran división de los ventiladores es la correspondiente a los ventiladores de tipo axial. Los ventiladores axiales son los que producen el flujo de aire paralelo a la flecha. Este se clasifica en tres diferentes tipos:

- Propela
- Aspas o guías

### ➤ Tuboaxial

**Propela.** Son usados para mover aire con presiones estáticas bajas y se usan comúnmente para ventilación general. Tiene aletas similares a las del diseño aerodinámico.

**Aspas o guías.** Este ventilador incluye aletas de guía que corrige el movimiento helicoidal impartido por la hélice. Al combinar la rueda del ventilador tuboaxial con las aletas de guía el flujo de aire es rectilíneo con ello se reduce la turbulencia lo cual mejora la eficiencia y las características de presión.

**Tuboaxial.** Es el ventilador mas sencillo de tipo axial, llamado veces ventilador de ducto. Consta principalmente de una hélice alojada en un cilindro, en la cual se recibe y se dirige el flujo de aire.

### COLECTOR DE POLVOS CON SACUDIMIENTO NEUMÁTICO.

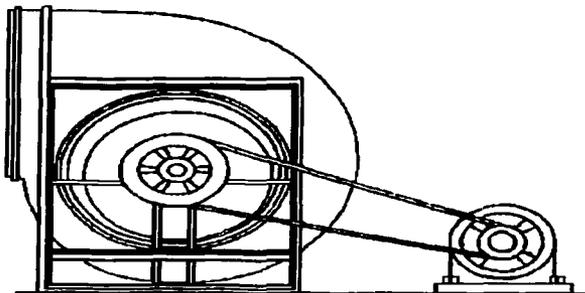
Definición de los colectores de tipo de bolsa.

El método mas antiguo conocido para la separación de polvo contenido en una gran corriente de gas es el filtro de tela. Un filtro de tela es un equipo donde el gas o aire con polvo es pasado unidireccionalmente a través de una tela, en donde las partículas de polvo son retenidas por el que llamaremos el lado sucio de la tela, mientras el aire o gases limpios pasan a través de la tela hacia el lado limpio de la tela. El polvo que se va depositando en la tela es removido de diferentes maneras, las cuales pueden ser por medio de sacudido mecánico, flujo reversible de aire, inyección de aire a presión, etc.

Teoría de la filtración con telas.

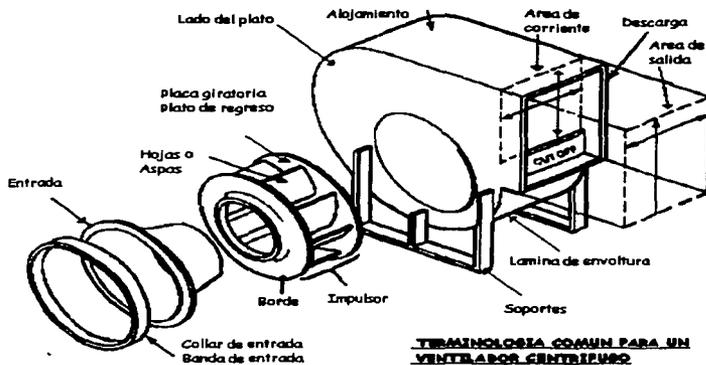
Los dos tipos básicos de medio filtrante utilizados en los colectores de polvo del tipo de telas, son las telas tejidas y los fieltros. Las telas tejidas están hechas con la intención de que operen como filtros de superficie, mientras que los fieltros son filtros de profundidad.

Las telas tejidas nuevas o muy limpias se encuentran relativamente abiertas, con lo que no prevendrían el que el polvo pase a través de las bolsas filtrantes durante el inicio de la operación de un colector. Sin



**Fig.1: Ventilador centrífugo**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig.2: Ventilador centrifugo**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

embargo, cuando la bolsa filtrante llega a estar saturada con el material que esta siendo colectado, se obtiene como resultado altas eficiencias de colección, debido a que la cama o torta filtrante formada por las partículas sólidas colectadas, capturan partículas submicrónicas que son mas pequeñas que los pasillos del tejido utilizado.

A medida que el polvo se acumula en la superficie de los filtros, la caída de presión a través de las bolsas aumenta; con objeto de mantener una caída de presión razonable, algún sistema de limpieza deberá ser utilizado para mantener la operación adecuada del colector.

Si los filtros de tela tejida se limpian con mucha frecuencia o por periodos muy prolongados, se destruye la cama que captura las partículas submicrónicas, lo cual hace que se reduzca la eficiencia del filtro, para volver a alcanzar la misma eficiencia, se deberá esperar que se forme de nuevo la cama o torta con el mismo material colectado.

Los niveles normales de operación para colectores que utilizan como medio filtrante telas tejidas, fluctúan de 0,3 a 0,91 m<sup>3</sup>/min m<sup>2</sup> de área de filtrado y con presiones diferenciales a través del filtro de 7,62 a 12,70 cm(3 a 5 pulgadas), columna de agua, bajo condiciones continuas de operación. Pueden obtenerse eficiencias de colección muy altas mayores a 99,9% en partículas de polvo de hasta 0,5 micras.

Los medios afelpados y los no tejidos (fieltros), son hechos con el objeto de trabajar como filtros de profundidad y generalmente se requieren cuando se debe operar a eficiencias de colección iniciales, mayores que con las telas tejidas. La alta eficiencia obtenida en los fieltros no depende del polvo depositado en las bolsas, como en el caso de las telas tejidas, si no de la densa composición de sus fibras. Las partículas de polvo aún en tamaño submicrónico no penetran en el filtro considerablemente.

Con el medio filtrante de fieltro el flujo normal de gas ocurre entre y los alrededores de las fibras, en vez de introducirse directamente a través de la tela. Sin embargo, si el ciclo de operación es lo suficientemente largo y la carga de polvo suficientemente grande, la torta poca a poco cubre la tela y crece sobre la felpa y así es como este medio también funciona como un filtro de superficie. Además la resistencia al flujo, por los fieltros, durante los ciclos de filtrado y de limpieza, es baja comparada con las telas tejidas ó con la resistencia causada por la acumulación de polvo en las mismas.

Como consecuencia se obtienen niveles de operación mucho más elevados que fluctúan de 1,21 a 4,56 m<sup>3</sup> / min m<sup>2</sup> ( 4 a 15 ft<sup>3</sup> / min ft<sup>2</sup> ) de área de filtrado con caídas de presión a través del filtro que varían de 7,62 a 12,7 cm ( 3 a 5 pulgadas ) columna de agua. Con objeto de mantener estos niveles elevados de funcionamiento, los filtros de fieltro se limpian con niveles de energía elevados y más frecuentemente que los filtros de telas tejidas.

En muchos casos, ambas telas, tejidas y fieltros, funcionan primero como filtros de profundidad y luego como filtros de superficie varias veces durante el ciclo de operación.

Los fieltros son telas más pesadas y mas costosas que los tejidos y su limpieza esta limitada a flujos inversos de alta presión o pulsaciones tipo jet, a intervalos muy frecuentes. Las telas tejidas, generalmente más flexibles que las de fieltro, pueden hacerse vibrar de alguna manera ó flexionar por medio de aire reverso o sacudimiento mecánico y así ser limpiadas.

En la tabla II se mencionan las características de distintas telas utilizadas como medio filtrante en los colectores.

En la tabla III se mencionan las ventajas y desventajas de emplear los filtros de bolsas en los colectores.

Forma del filtro.

Generalmente podemos decir que se existen dos formas de filtro:

- i) Plana
- ii) Tubular

Las bolsa planas usan como superficie de filtrado la exterior, por lo que se auxilian de un bastidor de malla de alambre para evitar el colapso. La ventaja que se puede obtener en este diseño es una alta superficie filtrante por metro cúbico de volumen que la bolsa circular o tubular obtiene por espacio cerrado. Pero debido al corto espacio que se tiene entre superficies filtrantes, se corre el peligro de que estas se taponen con materiales que tiendan a formar arcos (puntearse), por lo que es necesario remover cada bolsa para prevenir el taponamiento de estas.

Una clara desventaja del uso de este tipo de bolsas, es el contacto del filtro de tela contra el bastidor de alambre, lo que tiende a reducir la vida de la tela. Además el cambio de los filtros es complicado y tardado.

Los filtros de forma tubular pueden ser abiertos en un extremo y cerrados en el otro ó abiertos en los dos extremos.

Las condiciones de diseño son más variadas que en las bolsas planas y las formas tubulares se pueden clasificar en:

- > Multi-filtros
- > Uni-filtros
  - Entrada por arriba
  - Entrada por abajo
- > Dirección del filtrado (lado interior ó lado exterior).

En las figuras 3 y 4 se ilustra un colector de tela del tipo vibratorio.

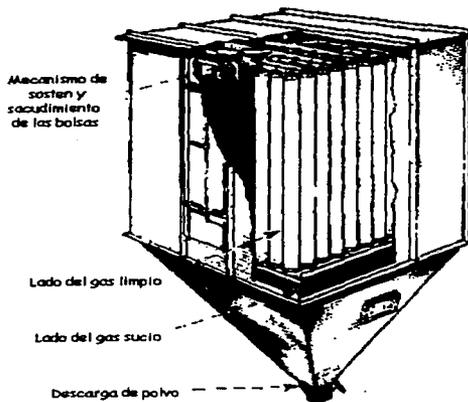
#### COLECTOR DE IMPACTO.

Para la recogida de las partículas de tamaño inferior a una micra, los separadores mediante choque llevan a cabo su cometido haciendo que el gas choque contra una placa, aspa o espiral. En esencia, estos separadores se sirven de la inercia de las partículas de polvo arrastrado por la corriente de gas, que son obligadas a seguir un curso lleno de obstáculos. A medida que el gas se desvía para salvar cada obstáculo, la inercia de las partículas las fuerza a seguir su curso original, chocando así contra la superficie de el obstáculo.

En las figuras 5 y 5a se ilustra un colector de polvos de impacto.

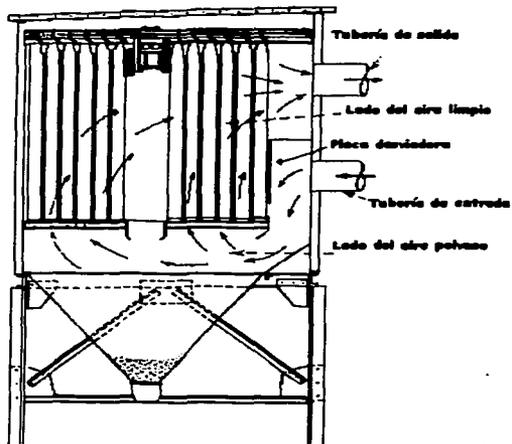
#### CHIMENEAS.

Las chimeneas que descargan a la atmósfera han sido el método industrial más común para deshacerse de los gases de desperdicio. La concentración a la que se ven expuestos los seres humanos, animales, plantas y estructuras a nivel del terreno se puede reducir considerablemente mediante la emisión a gran altura de los gases de desperdicio del proceso. A pesar de que las



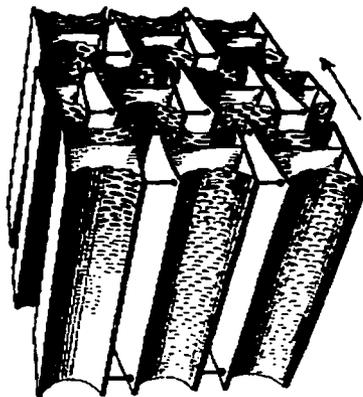
**Fig.3: Filtros usuales de tela de tipo vibratorio (vista de corte).**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig.4 : Filtros usuales de tela del tipo vibratorio (vista seccional).**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Fig. 5: Colector de impacto**



**Fig. 5-a: Vista diagramática de plano para ilustrar el movimiento del gas a través del colector de impacto**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

chimeneas altas pueden reducir la concentración de contaminantes a nivel del terreno, no se puede reducir por sí misma la cantidad de contaminantes liberados a la atmósfera. Sin embargo, en ciertos casos, su utilización puede ser el método más práctico y económico para tratar un problema de contaminación del aire.

Para determinar lo adecuado de una chimenea como medio para deshacerse de los gases de desperdicio, es necesario determinar la concentración aceptable a nivel del terreno del o los contaminantes. También debe considerarse la topografía de la zona, para que la chimenea pueda colocarse en forma adecuada en relación con los edificios o colinas que pudieran introducir un factor de turbulencia del aire en la operación de la chimenea. Otro aspecto importante son las condiciones meteorológicas que prevalecen en el área como, por ejemplo, vientos dominantes, humedad y lluvia. Por último, otro factor determinante es el conocimiento de los constituyentes del gas de desperdicio y sus propiedades.

### 2.2.1 Características de diseño y funcionamiento del sistema de control de partículas

El sistema de control con que cuenta la planta productora de yeso es un colector de bolsas con sacudimiento neumático o también conocida como sacudido por pulsaciones. En este método se emplea la acción de yet, producida al pasar el aire comprimido a través de venturis especialmente diseñados, localizados arriba de cada uno de los filtros. Este sistema se usa normalmente en filtros suspendidos donde la colección de polvo se efectúa en la superficie exterior del mismo.

El sistema de pulsaciones debidamente aplicado, causa la aceleración de las partículas colectadas hacia afuera, a medida que el polvo se acumula en la superficie exterior de las bolsas y la presión diferencial a través del colector aumenta, una limpieza periódica se lleva a cabo con la introducción instantánea de aire a alta presión a través de venturis. El aire primario comprimido induce un flujo de aire secundario mediante el efecto del venturi y produce una onda de choque en el interior de la bolsa cuyo flujo reversible es suficiente para limpiarlas.

Este sistema utiliza aire comprimido a presión entre un rango de 3 a 7 kg/cm<sup>2</sup> (42 a 100 lb/in<sup>2</sup>), los volúmenes son relativamente bajos, las telas

usadas son fieltros, debido a su alta resistencia, a la frecuencia y la intensidad de la limpieza. Debido a que solamente se requiere de 0.1 segundo para la limpieza y solo una fracción del área total del colector se limpia a la vez, se mantiene un flujo continuo a través del colector. Un programador de tiempo controla el ciclo de limpieza. Además tiene la ventaja de una caída de presión constante y una limpieza continua y automática ya que no se cuenta con partes móviles.

Las desventajas de este diseño son el rápido desgaste de los filtros, debido al uso de bastidores de alambre para evitar el colapso y el alto costo de reemplazo de los filtros.

En la figura 6 se ilustra el colector instalado en el proceso.

**EFICIENCIA DE RECOLECCIÓN.** La eficiencia de recolección inherente a los filtros de tela suele ser alta, para propósitos prácticos. Para la recolección de un polvo determinado. La eficiencia esta determinada generalmente por la selección de la tela filtrante, la velocidad de filtración, el método de limpieza y el ciclo de limpieza, dejando pocas variables de control, o ninguna, que puedan afectar aún más la eficiencia. Por lo general, la ineficiencia es resultado de bolsa con una instalación defectuosa, rotas o alargadas por cargas de polvo y caídas de presión excesivas. Cierta tipo de telas pueden ser inadecuadas para la filtración de un polvo en especial, pero esto es obvio casi siempre.

Los colectores con que esta equipada la planta son del tipo de sacudimientos neumático y cuentan con las siguientes características:

#### Línea A

- > Área 45.17 m<sup>2</sup>
- > 120 bolsas
- > Material de las bolsas: poliéster
- > Diámetro de las bolsas: 5 pulgadas
- > Longitud de las bolsas: 2,68 metros
- > Maneja un  $\Delta P$  de hasta 6 pulgadas de columna de agua
- > Abastecimiento de aire comprimido a 100lb/in<sup>2</sup> manométrica
- > La temperatura máxima de operación va de 217°C a 237°C

**Línea B**

- > Área 65,38 m<sup>2</sup>
- > 144 bolsas
- > Material de las bolsas: poliéster
- > Diámetro de las bolsas: 5 pulgadas
- > Longitud de las bolsas: 2,68 metros
- > Abastecimiento de aire comprimido a 100lb/in<sup>2</sup> manométrica
- > Maneja un  $\Delta P$  de hasta 6 pulgadas de columna de agua
- > La temperatura máxima de operación va de 217°C a 237°C

**Calculo del área de filtrado.**

Este calculo se basa en un método proporcionado por el fabricante. En el anexo B se detalla este procedimiento.

Colector A:

R.F.= Relación de filtrado

R.F. = AXBXCXDXE

A= Factor del material

A= 12

B= Factor del sistema

B= 1.0

C= Factor de temperatura

C= 0.76

D= Factor de finura

D= 0.9

E= Factor de carga de polvo(3750 ft<sup>3</sup> / min)

E= 0.94

$$R.F. = (12)(1.0)(0.76)(0.9)(0.94) = 7.71 \text{ ft}^3 / \text{min ft}^2$$

$$R.F. = (3750 \text{ ft}^3 / \text{min}) / (7.71 \text{ ft}^3 / \text{min ft}^2) = 486.04 \text{ ft}^2$$

$$R.F. = 45.17 \text{ m}^2$$

De igual forma se calcula el colector B.

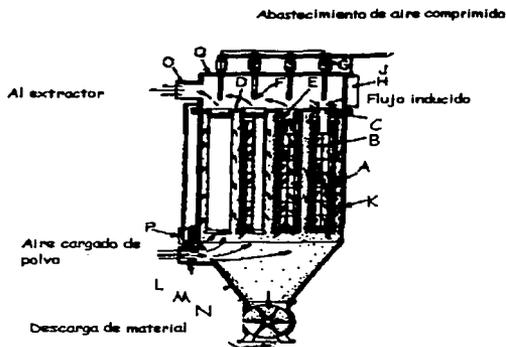


Fig. 4 . Colector de polvos con sacudimiento neumático instalado en el proceso: a) cilindros de filtro; b) sujetadores de alambre; c) collares; d) placa de tubo; e) boquilla venturi; f) boquilla u orificio; g) válvula de solenoide; h) medidor de tiempo; j) múltiple de aire; k) alojamiento del colector; l) entrada; m) tolva; n) obturador de aire; o) pleno superior.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TELA	Temperatura Continua	máxima °C Transitoria	Resistencia a los ácidos	Resistencia a los álcalis	Resistencia a la abrasión	Costo relativo
Algodón	82	107	Pobre	Muy bueno	Muy bueno	2
Polipropileno	88	93	Buena a excelente	Muy bueno	Excelente	1.5
Lana	93 - 102	121	Muy buena	Pobre	Regular a bueno	3
Nylon	93 - 107	121	Pobre a regular	Buena a excelente	Excelente	2.5
Orlón	116	127	Buena a excelente	Regular a bueno	Buena	2.75
Acrílico	127	137	Buena	Regular	Buena	3
Dacrón	135	163	Buena	Buena	Muy bueno	2.8
Nomex	204	218	Pobre a bueno	Buena a excelente	Excelente	8
Teflón	204 - 231	260	Excelente (excepto para fluoruros en que es pobre)	Excelente excepto para trifluoruros, cloruros y metales alcalinos fundidos que es pobre	Regular	25
Fibra de vidrio	260	288	Regular a bueno	Pobre a regular	Regular	6

**Tabla II. Características de las distintas telas empleadas como filtros en los colectores**

Fuente: Vetea, EPA 1979; Theodore Buonicore, 1976.

**VENTAJAS**

1. Eficiencia muy alta de recolección de partículas gruesas y finas
2. Relativamente insensible a las variaciones de corriente de gas: la eficiencia y la caída de presión casi no se ven afectadas por cambios grandes, en las cargas de entrada de polvo para filtros que se limpian continuamente
3. En muchos casos, el aire de salida del filtro se puede recircular a la planta (para conservación de energía)
4. El material recolectado se recupera seco, para su posterior procesamiento o colocación final
5. Por lo general, la corrosión y la oxidación no es problema
6. No hay riesgo de alto voltaje, el mantenimiento y las reparaciones son sencillas y permiten la recolección de polvos inflamables
7. El empleo de filtros fibrosos o granulares, permite una alta eficiencia de recolección de humos y contaminantes gaseosos submicrónicas
8. Se dispone de filtros de bolsas en muchas configuraciones, lo que da por resultado un a gran variedad de dimensiones de las bridas de entrada y salida, para adecuarse a los requerimientos de la instalación
9. Operación relativamente sencilla

**DESVENTAJAS**

1. Las temperaturas que excedan a 288 °C requieren material refractario especial o telas metálicas que pueden ser costosas
2. Ciertos polvos requieren posiblemente telas tratadas para reducir la filtración del polvo o, en otros casos, ayudara a la eliminación del polvo recolectado
3. Las concentraciones de algunos polvos en el recolector constituye un riesgo de incendio o explosión si penetran chispas o llamas por accidente: existe la posibilidad de quemar las telas si se recolectan polvos fácilmente oxidables
4. Requerimientos de mantenimiento relativamente altos (reemplazo de las bolsas, etc.)
5. A temperaturas elevadas se puede cortar la vida de la tela, así como en presencia de partículas ácida o alcalinas y componentes gaseosos
6. Los materiales gineoscópicos, la condensación de humedad y los componentes alquitranados adhesivos pueden causar el taponamiento o agrietamiento de la tela o bien requerir aditivos especiales
7. El reemplazo de las telas puede requerir protección respiratoria para el personal de mantenimiento
8. Requerimientos intermedios de caída de presión, característicamente del orden de 4 a 10 pulgadas de columna de agua

**Tabla III. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS FILTROS DE BOLSAS**

### 3.0 Evaluación técnica

Las investigaciones técnicas para un estudio se refieren a la participación de la ingeniería en el estudio para las fases de planeación, instalación e iniciación de la operación.

#### FACTORES TÉCNICOS.

**MERCADOS.** La investigación de mercados se hace generalmente por el departamento o división de la compañía especializado en mercadotecnia o investigación de mercados o se puede obtener de organizaciones consultoras especializadas en este aspecto establecidas independientemente y que proporcionan informes completos sobre cualquier producto, sus usos, formas, calidad, cantidades, datos de importación y de exportación, tarifas, arreglos comerciales, pruebas de consumo, producción y distribución. Esto se aplica no solo a los productos terminados, si no también a las materias primas y subproductos.

**DIAGRAMA DE FLUJO.** Para el ingeniero de diseño un bosquejo de flujo del equipo y materiales en proceso se considera como el primer paso esclarecedor. Esta es una transposición de las notas en informes de laboratorio sobre investigación y desarrollo a la terminología del ingeniero. Los diagramas de flujo presentan un cuadro de los flujos de material y de energía, operaciones de proceso y equipo, manejo de materiales, almacenamiento, futuras expansiones de la planta y requerimientos de agua, energía y combustible. De este cuadro resultan evidentes los departamentos, la posible secuencia y el número de unidades necesarias

**EQUIPO.** De todo el equipo se exige buen funcionamiento y servicio: mucha información valiosa para la selección del equipo se puede obtener de los mismos fabricantes. Gran parte del equipo para el manejo de materiales y para las operaciones y procesos unitarios es de medidas normalizadas y, siempre que sea posible, se prefiere este tipo de equipo a los de diseño especial, disminuyendo así sustancialmente el costo y facilitando la obtención de piezas de repuesto y aún de la duplicación de la unidad completa. Las grandes compañías han organizado y establecido sus propias normas para evitar la duplicación de gastos en diseños sobre piezas o equipos de uso repetido. No se debe dudar en afrontar cualquier problema que requiera de un diseño especial y el uso de materiales especiales aún cuando se considere que un diseño nuevo es un experimento tanto para el

fabricante como para el usuario. Los cambios en demandas y servicios para los diferentes artículos conducen tarde o temprano a la exploración de nuevos campos en el diseño de equipo. Los fabricantes dudan al usar un nuevo material en un diseño normal, ya que esto significa llevar a cabo un cambio en el equipo de proceso para cumplir satisfactoriamente un compromiso con el fabricante o acometer un estudio exhaustivo en planta piloto.

**DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA.** La distribución de la planta, es decir, el arreglo mas económico del equipo, sigue a la selección del tipo de equipo. La distribución del equipo varía según el caso, aún tratándose del mismo proceso, y generalmente suele ser una expresión de ciertas inclinaciones arquitectónicas del diseñador, que no siempre resultan en una organización tan económica y practica como sería posible si las distribuciones y arreglos de plantas similares que se publican en la literatura fuesen estudiadas y se concretasen a llevar a cabo mejoras sobre lo realizado, si tales cambios se consideran necesarios. Los accesorios e instrumentos de regulación son esenciales para una operación efectiva del equipo y un buen flujo de proceso. La operación de un proceso propuesto se debe estudiar cuidadosamente; frecuentemente la distribución adecuada del equipo o del proceso conduce a un ahorro material en trabajo.

**EDIFICIOS.** El proceso químico y el manejo de materiales regulan los requisitos generales en el diseño de los edificios. Se estudia cuidadosamente la distribución y disposición del equipo y se considera entonces el edificio necesario para alojar aquellas partes que requieren protección contra la intemperie. En las construcciones químicas se presta especialmente atención a los cimientos, tanto para el equipo como para el edificio, a las instalaciones sanitarias y de plomería, el tipo de piso que se utiliza, la construcción de la estructura, paredes y techo, el manejo de humos, las posibilidades de explosión, la iluminación, la ventilación, el drenaje, la calefacción, el aire acondicionado, la protección contra incendios y la orientación de la subestación eléctrica. Los tipos de edificios y los servicios necesarios para cada uno pueden ser suministrados por los fabricantes de construcciones industriales las construcciones sirven como protección tanto para el equipo como para los operadores.

**LOCALIZACIÓN.** Por regla general, los puntos siguientes se consideran vitales en la localización de las plantas: proximidad al mercado, materias primas, transporte, disponibilidad de mano de obra, de agua y de electricidad, interrelaciones económicas con otras industrias y necesidades

Esta tabla incluye algunos de los puntos a tomar en cuenta en la evaluación técnica

<b>FACTORES TÉCNICOS</b>		
<b>MERCADO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usos y formas</li> <li>- Calidad</li> <li>- Disponibilidad</li> <li>- Importaciones-Exportaciones</li> <li>- Acuerdos comerciales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tarifas</li> <li>- Cantidad</li> </ul>
<b>DIAGRAMA DE FLUJO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flujo de materiales</li> <li>- Flujo del proceso</li> <li>- Balance de materia</li> <li>- Balance de energía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almacenamiento</li> <li>- Expansión</li> <li>- Mano de obra</li> </ul>
<b>EQUIPO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipos de servicio</li> <li>- Diseño normal</li> <li>- Diseño especial</li> <li>- Materiales de construcción</li> <li>- Distribución</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accesorios</li> <li>- Riesgos</li> </ul>
<b>EDIFICACIONES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cimientos</li> <li>- Drenajes</li> <li>- Tipos de construcción</li> <li>- Iluminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energía</li> <li>- Sanidad</li> <li>- Riesgos</li> </ul>
<b>LOCALIZACION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mercado</li> <li>- Transporte</li> <li>- Materias primas</li> <li>- Mano de obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energía</li> <li>- Terreno</li> <li>- Servicios</li> <li>- Agua</li> </ul>
<b>DESARROLLO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación del proceso</li> <li>- Investigación de materiales</li> <li>- Selección del proceso</li> <li>- Pequeña escala</li> <li>- Planta piloto</li> </ul>	

**Tabla IV. Componentes de los factores técnicos**

específicas de la planta. Hay otros factores en la localización de la planta y el proceso que son de verdadera importancia (existen como auténticas responsabilidades) para el ingeniero de diseño de plantas químicas comerciales para la fabricación de productos y formulaciones químicas, y estos son los factores de tipo de ordenanzas locales, terreno, mejoras públicas, servicios, disposición de desperdicios y condiciones climáticas. Todos los factores que entran en el problema de localización de una planta o industria afectan también la selección de la ubicación dentro de la localidad y deben ser considerados por el ingeniero de diseño.

En la tabla IV se mencionan los puntos a tomar en cuenta en la evaluación técnica.

### 3.1 Sistema de control instalado originalmente

<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
SB-01	Sistema de bandas
TVA-01	Tolva de alimentación
TVE-01	Tolva de envasado
HR-01	Horno rotatorio
TC-01	Tanque de combustible
VA-01	Ventilador atomizador
CI-01	Colector de impacto
MM-01	Molino de martillos
MD-01	Molino de discos
EM-01	Elevador de materia
CP-01	Colector de polvos
CH-01	Chimenea
VC-01	Ventilador centrifugo

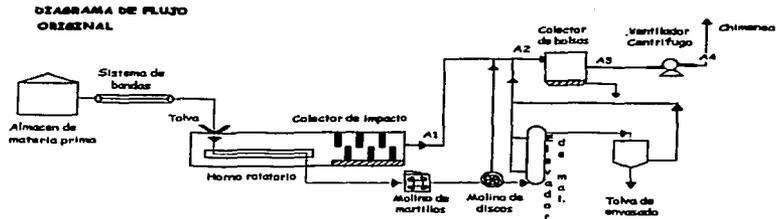
**Tabla V. Lista de equipos que integran la planta productora de yeso**

### 3.1.1 Descripción del proceso original

Originalmente el proceso de elaboración del yeso estaba compuesto por una sola línea denominada como la línea uno. Este sistema de equipamiento consistía en una banda transportadora de material proveniente del almacén, la cual conducía directamente el materia a la tolva de alimentación ubicada en la parte superior del horno. La tolva se encarga de regular el flujo de entrada de material al horno. Este horno es del tipo rotatorio y se encarga de eliminar la humedad a la piedra de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , a la salida de este se encuentran dos molinos, uno de martillos y otro de discos; los cuales se encargan de reducir la piedra a un tamaño de partícula de tres micras. A la salida del molino de discos se encuentra una línea que conduce a un elevador de materia que transporta las partículas de polvo de yeso. Este elevador transporta el material a una tolva de envasado. En esta tolva el yeso es directamente colectado por sacos con capacidad para cincuenta kilogramos.

En el interior del horno y del elevador de materia se genera una gran cantidad de polvo que es recuperado por una línea de extracción la cual se compone de un colector de impacto, un colector de bolsas con sacudimiento neumático y un ventilador de tipo centrifugo. Al final de la línea se encuentra una chimenea que se encarga de recuperar partículas contaminantes provenientes de la combustión y del proceso.

A continuación, en la figura 7 se muestra un diagrama de flujo del proceso original.



**Fig. 7 Diagrama de flujo original**

### 3.1.2 Resultados de operación

#### RESULTADOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ORIGINAL :

PUNTO DE MUESTREO	TEMPERATURA (°C)	DELTA P (Inch de c.d.a.)	VELOCIDAD (ft / min)	AREA (ft <sup>2</sup> )	FLUJO (ft <sup>3</sup> / min)
A1	139	0.888	1244.44	2.16	2688
A2	105.1	2.2	1737.11	2.16	3750
A3	104.6	8.6	2545.37	2.16	5498
A4	102.4	9.5	2228.68	2.58	5750

Tabla 1. Resultados de operación de la línea original.

ABERTURA (posición de la válvula)	FLUJO (ft <sup>3</sup> / min)	PRESIÓN ESTÁTICA (Inch de c.d.a.)
3	3502	8.66
4	4625	8.92
5	6428	7.86
6	7044	6.96
7	7900	5.54

Tabla 2. Resultados de operación del ventilador "A".

Watts = Potencia eléctrica = voltaje \* amperaje \* raíz 3 \* frecuencia

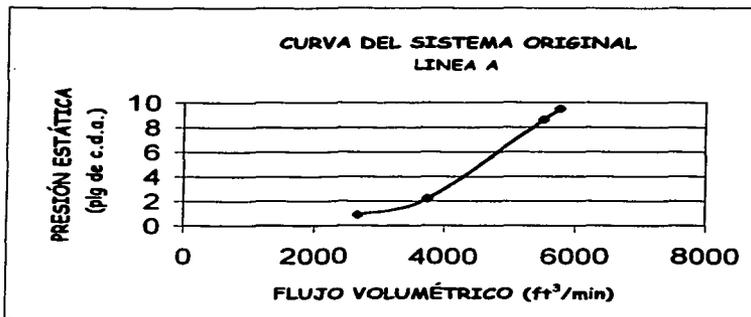
ABERTURA	AMPERAJE	VOLTAJE	RAÍZ DE 3	FRECUENCIA	WATTS	HP
3	16	220	1.732	0.85	5182	6.94
4	20	220	1.732	0.85	6477	8.68
5	21	220	1.732	0.85	6800	9.11
6	22	220	1.732	0.85	7125	9.55
7	23	220	1.732	0.85	7449	9.98

Tabla 3. Potencia del ventilador "A".

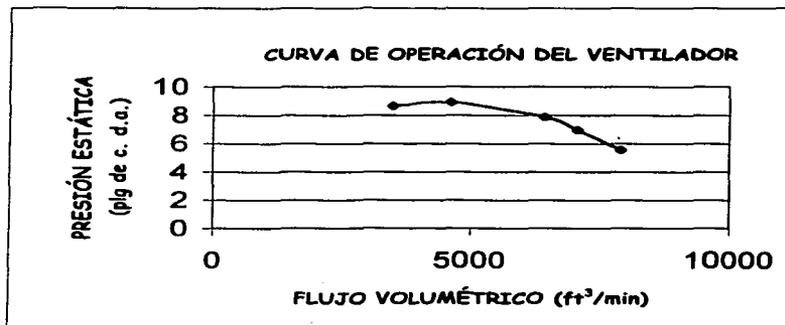
$$\eta = (Q \cdot SP) / (CF \cdot HP)$$

ABERTURA	FLUJO (ft <sup>3</sup> / min)	PS (Inch de c.d.a.)	CF	HP	EFICIENCIA
3	3502	8.66	6356	6.94	68
4	4625	8.92	6356	8.68	74.5
5	6428	7.86	6356	9.11	87.2
6	7044	6.96	6356	9.55	80.7
7	7900	5.54	6356	9.989	68.9

Tabla 4. Eficiencia del ventilador "A".

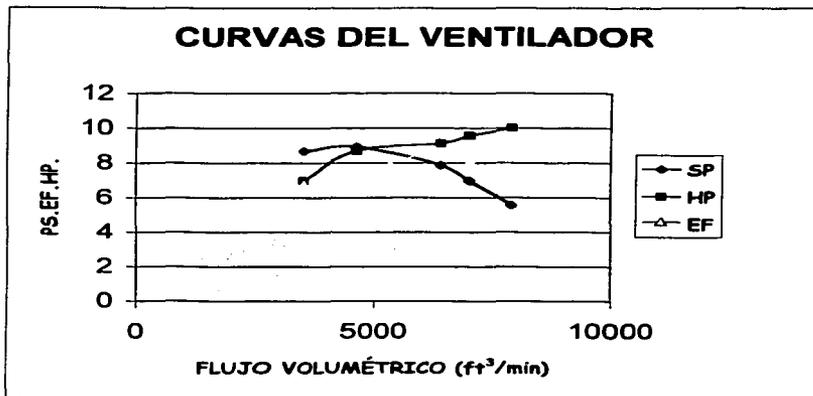


Gráfica 1. Curva de operación de la línea A.



Gráfica 2. Curva de operación del ventilador.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Gráfica 3. Curvas de operación del ventilador

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.2 Sistema de control rehabilitado

<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
SB-01	Sistema de bandas
TVA-01	Tolva de alimentación
TVE-01,02	Tolva de envasado
HR-01	Horno rotatorio
TC-01	Tanque de combustible
VA-01	Ventilador atomizador
CI-01	Colector de impacto
MM-01	Molino de martillos
MD-01	Molino de discos
EM-01	Elevador de materia
CP-01,02	Colector de polvos
CH-01,02	Chimenea
VC-01,02	Ventilador centrífugo

Tabla VI. Lista de equipos que integran la planta productora de yeso

#### 3.2.1 Descripción del proceso

El proceso original fue modificado para obtener una mayor producción. La modificación consiste en la instalación de una nueva línea de extracción. Esta línea se encarga de recuperar el yeso a través de los nuevos equipos de extracción, y se conforma por una tolva de envasado, un colector de polvos de bolsas con sacudimiento neumático, un ventilador de tipo centrífugo y una chimenea. Estos equipos son de igual dimensión y características que los de la línea original. La línea adicional es conocida como la línea B.

A continuación en la figura 8, se muestra un diagrama de flujo del proceso actual.

**DIAGRAMA DE FLUJO ACTUAL**

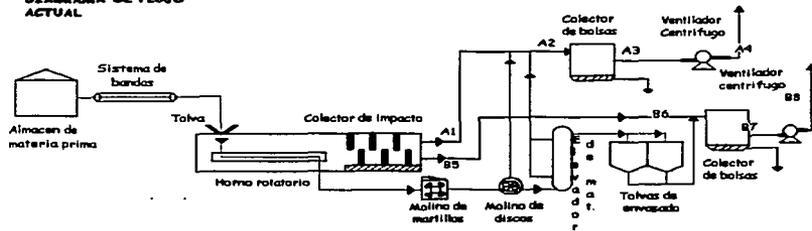


Figura 6. Diagrama de flujo actual

### 3.2.2 Resultados de operación

#### RESULTADOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA MODIFICADO :

PUNTOS DE MUESTREO	TEMPERATURA (°C)	DELTA P (Inch de c.d.a.)	VELOCIDAD (ft / min)	AREA (ft <sup>2</sup> )	FLUJO (ft <sup>3</sup> / min)
B5	141	1.25	9074	0.54	4900
B6	96.4	2.5	2546	2.16	5500
B7	79.2	6.75	3125	2.16	6750
B8	79.5	9.12	2810	2.58	7250

Tabla 5. Resultados de operación del sistema actual.

ABERTURA (posición de la válvula)	FLUJO (ft <sup>3</sup> / min)	PRESIÓN ESTÁTICA (Inch de c.d.a.)
3	3502	8.66
4	4625	8.92
5	6428	7.86
6	7044	6.96
7	7900	5.54

Tabla 6. Resultados de operación del ventilador "B".

Watts = Potencia eléctrica = voltaje \* amperaje \* raíz 3 \* frecuencia

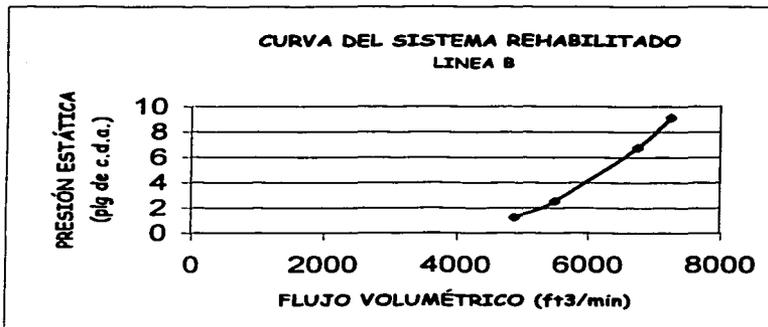
ABERTURA	AMPERAJE	VOLTAJE	RAIZ DE 3	FRECUENCIA	WATTS
3	16	220	1.732	0.85	5182
4	20	220	1.732	0.85	6477
5	21	220	1.732	0.85	6800
6	22	220	1.732	0.85	7125
7	23	220	1.732	0.85	7449

Tabla 7. Potencia del ventilador "B".

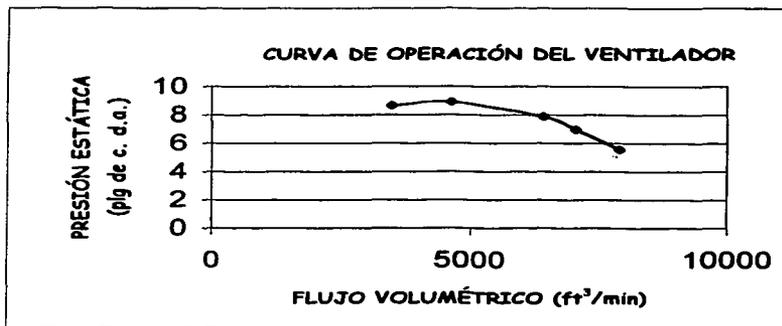
$$\eta = (Q \cdot SP) / (CF \cdot HP)$$

ABERTURA	FLUJO (ft <sup>3</sup> / min)	PS (Inch de c.d.a.)	CF	HP	EFICIENCIA
3	3502	8.66	6356	6.94	68
4	4625	8.92	6356	8.68	74.5
5	6428	7.86	6356	9.11	87.2
6	7044	6.96	6356	9.55	80.7
7	7900	5.54	6356	9.989	68.9

Tabla 8. Eficiencia del ventilador "B".

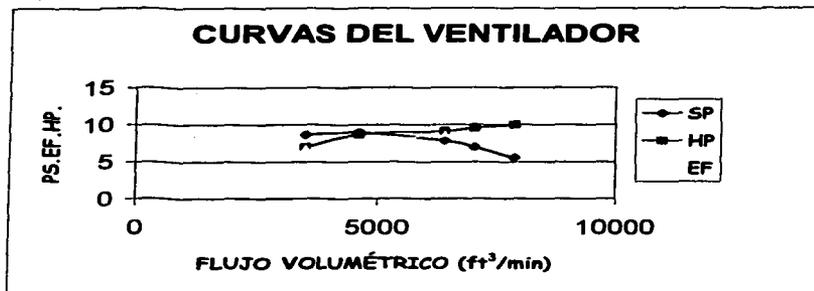


Gráfica 4. Curva de operación de la nueva línea B

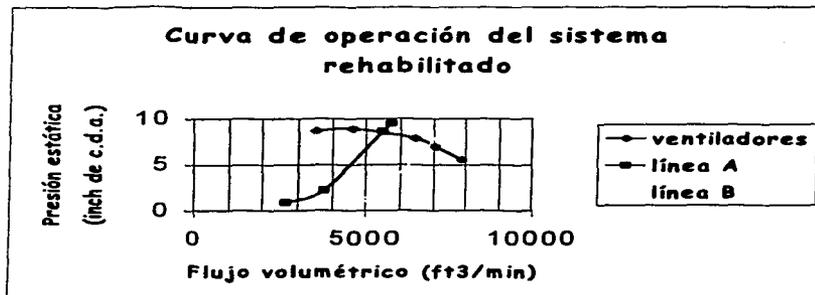


Gráfica 5. Curva de operación del ventilador B.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Gráfica 6. Curvas de operación del ventilador B.



Gráfica 7. Curva de operación del sistema rehabilitado.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

#### **4.0 Evaluación económica**

##### **Introducción.**

La decisión de la gerencia de una compañía de comercializar un proceso se basa casi enteramente en la evaluación económica hecha con los esfuerzos conjuntos de vario grupos pertenecientes a la compañía. Estos grupos incluyen a los de contabilidad y finanzas, mercadeo y ventas y a los de ingeniería de diseño y de operación.

Los métodos para preparar una evaluación económica son numerosos y varían de una compañía a otra. En algunos casos puede recurrirse a unos procedimientos rápidos de estimación como base para justificar mayores gastos en un proyecto. Cuando se va a tomar una decisión final para comercializar un proyecto se necesita una información mucho mas exacta que para los estudios preliminares.

En este capítulo se pretende mostrar el costo de operación y de inversión del sistema de control original y del sistema de control rehabilitado, en base a esto se puede establecer una comparación económica entre ambas líneas y así mostrar los beneficios obtenidos al rehabilitar el sistema original.

El método empleado para la estimación de costos se baso en la cuantificación de los equipos que conforman el sistema. El costo de estos equipos se obtuvo de información bibliográfica y de proveedores.

Se entiende por costos todos los recursos y esfuerzos que se invierten para producir un bien o servicio. Se reconocen dos categorías principales: costos de inversión y costos de operación.

Se tiene en cuenta que el valor varia por posibles cambios en los precios o bien por la utilización de diferentes porcentajes de capacidades de producción.

Los elementos de costo de un proyecto son:

a) Gastos técnicos de operación:

➤ Preparación del terreno donde se realizo el proyecto

- Depreciación de edificios y de instalaciones
- Depreciación de maquinaria y de equipo
- Patentes
- Registro de marcas
- Derecho de propiedades industriales
- Licitaciones

b) Compras:

- Materias primas directas
- Materiales indirectos
- Materiales de mantenimiento
- Combustibles o energéticos
- Suministros para talleres
- Suministros para almacenes
- Suministro para oficinas Materiales de embalaje

c) Gastos de personal:

- Sueldos
- Prestaciones
- Prestaciones e incentivos
- Comisiones
- Honorarios
- Gastos de representación
- Aportación al seguro social y otros

d) Impuestos y obligaciones:

- Impuestos y obligaciones directos
  - Obligaciones de licencia y concesiones
  - Impuesto predial
  - Impuestos y obligaciones municipales, y regionales
- Impuestos y obligaciones indirectos:
  - Impuestos sobre el valor agregado (I. V. A.)
  - Impuestos sobre servicios prestados
  - Impuestos sobre la renta
  - Impuestos locales
- Impuestos y derechos de registro:

- **Derechos de registro de actas y contratos**

- **Derechos aduanales**
- **Impuestos mercantiles**
- **Cuotas e impuestos para organizaciones internacionales**

**e) Trabajos, suministros y servicios ajenos:**

- **Arrendatarios**
- **Mantenimiento y reparaciones**
- **Trabajos realizados por compañías externas en base de contratos**
- **Suministro de agua, gas y energía eléctrica**
- **Regalías pagadas sobre patentes, licencias, marcas**
- **Estudios, investigaciones y documentaciones**
- **Pagos efectuados a agentes**
- **Horarios varios**
- **Primas de seguros**

**f) Transportes y viajes:**

- **Transporte de personal**
- **Gastos de viaje y reubicación de personal**
- **Flete y transporte de las compras realizadas**
- **Flete y transporte de ventas**

**g) Diversos gastos administrativos:**

- **Publicidad**
- **Suministro de oficinas**
- **Teléfono, telex, correos**
- **Documentos jurídicos**
- **Subvenciones y aportaciones**
- **Costos de asesoría y reuniones**

**Fecha base.**

**Para la actualización del costo de la planta (proceso anterior), se empleó la relación:**

**Costo presente = costo original X (índice a tiempo presente / índice a tiempo original)**

La fecha base de comparación es Enero de 2002, fecha donde se cuenta con los datos más recientes para la planta modificada. Por ello, los datos de la planta anterior (Diciembre de 1995) son escalados a dicha fecha de comparación.

Los índices de costos empleados para hacer la escalación son:

Valor del índice de costos en Diciembre de 1995: 156,92

Valor del índice de costos en Enero de 2002 : 354,66

Datos de INEGI.

La tabla VII incluye algunos de los puntos a tomar en cuenta en la evaluación económica:

FACTORES ECONÓMICOS		
C O S T O S	INDISPENSABLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materias primas</li> <li>- Combustibles y energía</li> <li>- Agua</li> <li>- Mano de obra</li> <li>- Supervisión</li> <li>- Ventas</li> </ul>
	FIJOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación técnica</li> <li>- Depreciación</li> <li>- Impuestos</li> <li>- Seguro</li> </ul>
	EQUIPO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desembolso de capital</li> <li>- Reparaciones- mantenimiento</li> <li>- Depreciación</li> <li>- Obsolescencia</li> </ul>
	INMUEBLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capital necesario</li> <li>- Reparaciones</li> <li>- Mejoras</li> <li>- Valor publicitario</li> </ul>
RIESGOS		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento en el seguro</li> <li>- Aumento en el costo de fabricación</li> <li>- Deterioro de la calidad</li> <li>- Pérdidas de producción</li> <li>- Pérdidas de horas-hombre</li> <li>- Reclamación por incapacidad</li> </ul>

Tabla VII. Componentes de los factores económicos

#### 4.1 Costos de inversión del sistema de control original

Los métodos para preparar una evaluación económica son numerosos y varían de una compañía a otra. El método empleado para esta evaluación se baso en el costo del equipo, este costo se consulto directamente con los proveedores. Se empleo el método de estimación tipo M (chemical engineering) porque se considera el mas adecuado a los requerimientos de la evaluación.

Costos de inversión:

##### 1. Costo de equipo puesto en la planta obtenidos de referencias

Alimentador de mesa oscilante	90,000.00
Tolva de alimentación	12,000.00
Tolva de envasado	70,000.00
Horno rotatorio y colector de impacto	2,450,000.00
Tanque de combustible	6,400.00
Ventilador de alta presión para el quemador	11,000.00
Molino de discos	75,000.00
Molino de martillos	130,000.00
Elevador de materia	136,000.00
Colector de polvos con sacudimiento neumático	39,000.00
Chimenea	13,000.00
Ventilador centrífugo	<u>12,000.00</u>
Total	<b>\$3,044,400.00</b>

2. En base al costo total del equipo, obtenemos a través de un factor el costo de equipo instalado:

$$3,044,400 \times 1.43 = 4,353,492.00$$

##### 3. Tubería del proceso:

Sólido-fluido

10% del punto dos: 435,349.20

##### 4. Instrumentación

5% del punto dos: 217,674.60

**5.Desarrollo del terreno y las construcciones****parte a la intemperie:****40% del punto dos: 1,741,396.80****6. Servicios auxiliares (electricidad)****35% del punto dos: 1,523,722.20****7. Líneas exteriores****Intermedia:****10% del punto dos: 435,349.20****8.Costo total de la planta física****Suma de los puntos 2,3,4,5,6,7: 8,706,984.00****9. Ingeniería y construcción****25% del punto 8: 2,176,746.10****10. Contingencias****10% del punto 8: 870,698.40****11. Factor de tamaño****5% del punto 8: 435,349.20****12.Costo total de la planta o capital fijo****suma de los puntos 8,9,10,11****TOTAL: \$12,189,777.60**

#### 4.2 Costos de inversión del sistema de control rehabilitado

##### 1. Costo de equipo puesto en la planta obtenidos de referencias

Tolva de envasado	140,000.00
Colector de polvos con sacudimiento neumático	80,000.00
Chimenea	28,000.00
Ventilador centrífugo	20,000.00
Total	\$268,000.00

2. En base al costo total del equipo, obtenemos a través de un factor el costo de equipo instalado:

$$268,000.00 \times 1.43 = 383,240.00$$

##### 3. Tubería del proceso

Sólido-fluido

$$10\% \text{ del punto dos} = 38,324.00$$

##### 4. Instrumentación

$$3\% \text{ del punto dos: } 11,497.20$$

##### 5. Desarrollo del terreno y las construcciones

Parte a la intemperie:

$$20\% \text{ del punto dos: } 76,748.00$$

##### 6. Servicios auxiliares (electricidad)

$$5\% \text{ del punto dos: } 19,162.00$$

##### 7. Líneas exteriores

corta:

$$5\% \text{ del punto dos: } 19,162.00$$

##### 8. Costo total de la planta física

Suma de los puntos 2,3,4,5,6,7

SUBTOTAL: \$548,033.20

##### 9. Ingeniería y construcción

$$20\% \text{ del punto 8: } 109,606.64$$

##### 10. Contingencias

$$10\% \text{ del punto 8: } 54,803.32$$

**11. Factor de tamaño**  
5% del punto 8: 27,401.66

**12. Costo total de la planta o capital fijo**  
Suma de los puntos 8,9,10,11  
**TOTAL: \$739,844.82**

Tabla comparativa de costos de inversión:

Planta Original	Planta Rehabilitada
\$27,550,513.15	\$739,844.82
Costo escalado a Enero de 2002	Costo de Enero de 2002

**Tabla VIII. Comparación de los costos de inversión**

#### 4.3 Costo de operación del sistema de control original

Salarios y sueldos para obreros y empleados anual	490,080.00
Mantenimiento	682,651.56
Materia prima	1,729,987.03
Energéticos:	
Combustoleo 510,000.00 lt/año	311,100.00
Energía eléctrica 562,800 kw anual	148,663.84
Depreciación anual:	
Equipo industrial	304,440.00
Edificaciones	50,011.08
Instalaciones	<u>62,513.85</u>
Total	\$3,779,447.36

#### 4.4 Costo de operación del sistema de control rehabilitado

Salarios y sueldos para obreros y empleados anual	672,000.00
Mantenimiento	443,906.89
Materia prima	5,916,000.00
Energéticos:	
Energía eléctrica	480,000.00
Combustoleo	820,800.00
Depreciación anual:	
Equipo industrial	<u>26,800.00</u>
TOTAL	\$8,935,506.89

Tabla comparativa de costos de operación:

Planta Original	Planta Rehabilitada
8,542,052.00	8,935,506.89
Costo escalado a Enero del 2002	Costo en Enero de 2002

**Tabla IX. Comparación de los costos de operación**

Costo de producción de la tonelada de yeso:

Planta Original	Planta Rehabilitada
371.39 \$/ton	256.76 \$/ton

**Tabla X. Comparación de los costos de producción**

## **CONCLUSIONES:**

**En México la industria del yeso constituye a una de las más avanzadas debido a su gran demanda por la industria de la construcción, y su importancia económica puede medirse no sólo por su capital invertido, si no que también representa una fuente de ocupación que da empleos a obreros y a personal especializado.**

**La creación de este tipo de empresas además de dar fuentes de trabajo seguras impulsa el desarrollo económico del país.**

### **Enfoque Técnico.**

**Desde el punto de vista técnico podemos decir que con el aumento de una nueva línea, no se modifica el proceso de fabricación del producto; es decir, cuenta con las mismas características físicas y químicas.**

**Esta línea consta de un colector de bolsas con sacudimiento neumático, una tolva de envasado, un ventilador centrífugo y una chimenea con características iguales a las del sistema original.**

**Con la adición de una nueva línea de recolección los resultados obtenidos fueron favorables porque obtuvimos una mejor eficiencia en el sistema, así como una mejora en el tiempo de vida medio de las bolsas, debido a que en el sistema original toda la carga de recolección se efectuaba en un solo colector, ahora aunque la producción se haya incrementado la carga de recolección la llevan a cabo dos colectores lo que nos permite una mayor durabilidad y eficiencia en las bolsas.**

**Es importante señalar que aunque se aumento la producción, las emisiones contaminantes se mantienen dentro de los rangos especificados por las normas oficiales mexicanas.**

### Enfoque Económico.

Se puede decir que con una pequeña inversión (comparada con la original de \$27,550,513.15) con valor de \$739,844.82 correspondiente a la nueva línea, los beneficios económicos obtenidos son considerables.

Con esta nueva línea el costo de producción por tonelada es 1.44 veces más barato que en el proceso original.

Se puede concluir a grandes rasgos que la inversión en la nueva línea resulto ser un acierto, porque con una pequeña inversión y con la experiencia obtenida en el proceso se lograron grandes beneficios.

En la parte correspondiente a los colectores observamos que el tipo de colector conocido como colector con sacudido por pulsaciones, funciona adecuadamente, sólo que su desempeño podría mejorarse utilizando un tipo de bolsas filtrantes con características más adecuadas al proceso. Las bolsas con las que opera el colector son de poliéster y funcionan adecuadamente hasta una temperatura de aproximadamente 150 °C y un medio alcalino moderado. Se ha observado que el tiempo de vida medio de las bolsas de poliéster no es el óptimo debido a que se desgastan antes de lo esperado. Este problema puede ser por la alta alcalinidad del medio y por la temperatura que desarrolla el proceso.

Es por estas razones que podemos recomendar el cambio a un nuevo tipo de bolsas filtrantes con características similares a las anteriores. Las bolsas NOMEX manejan temperaturas de hasta 232 °C y una buena resistencia a los álcalis, y en general de son de mayor calidad.

Este tipo de bolsas resultan ser más caras que las de poliéster, es por eso que en una inversión inicial su costo es caro, pero a largo plazo el beneficio económico es considerable, ya que estas bolsas tienen un tiempo de vida medio mayor.

## ANEXO A

**NORMAS.**

De acuerdo con la Norma Oficial mexicana NOM-043-ECOL-93, publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 22 de octubre de 1993, refiere que tendrán que ser evaluadas las partículas sólidas provenientes de fuentes fijas, esta norma es aplicable al caso de la fabricación de yeso.

Para el control de emisiones a la atmósfera, la fábrica de yeso el "Tigre" cuenta con equipo que se rige por la norma:

Norma Oficial Mexicana NOM-CCAT-006-ECOL/1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

**CONSIDERANDO.**

Que las fuentes fijas generan contaminantes como son las partículas sólidas que al combinarse en la atmósfera con otros, deterioran la calidad del aire, por lo que es necesario su control a través del establecimiento de niveles máximos permisibles de emisión que aseguren la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

**PREFACIO.**

En la elaboración de esta norma oficial mexicana participaron:

- Secretaría de Desarrollo Social
- Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal
- Subsecretaría de Energía
- Secretaría de Salud
- Departamento del Distrito Federal
  
- Gobierno del Estado de México
- Petróleos Mexicanos
- Comisión Federal de Electricidad
- Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, A. C.
- Asociación Nacional de la Industria Química, A. C.

- Cámara Minera de México
- Cámara Nacional de la Industria de Aceites, Grasas y Jabones
- Cámara Nacional de la Industria de la Transformación
- Confederación Patronal de la República Mexicana
- Instituto Politécnico Nacional
- Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial
- Pinturas de Leraplas, S. A.
- Procter & Gamble, S. A. de C. V.

#### OBJETIVO.

Esta norma Oficial Mexicana establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

#### CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria para los responsables de las fuentes fijas que emitan partículas sólidas a la atmósfera, con la excepción de las que se rigen por las normas oficiales mexicanas específicas.

#### ESPECIFICACIONES.

Para efectos de esta norma se consideran zonas críticas por las altas concentraciones de contaminantes de la atmósfera que registran. Las siguientes:

Las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, los centros de población de Coatzacoalcos-Minatitlán, Estado de Veracruz; Irapuato-Celaya-Salamanca, Estado de Guanajuato; Tula-Vito-Asasco, Estados de Hidalgo y México; Corredor Industrial de Tampico-Madero-Altamira, Estado de Tamaulipas y la zona fronteriza norte.

niveles

FLUJO DE GASES (m <sup>3</sup> /min)	ZONAS CRÍTICAS (mg/m <sup>3</sup> )	RESTO DEL PAÍS (mg/m <sup>3</sup> )
5	1536	2304
10	1148	1722
20	858	1287
30	724	1086
40	641	962
50	584	876
60	541	811
80	479	719
100	437	655
200	326	489
500	22	333
800	182	273
1000	166	249
3000	105	157
5000	84	127
8000	69	104
10000	63	95
20000	47	71
30000	40	60
50000	32	48

máximos de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas a las que nos referimos anteriormente, de acuerdo con el flujo de gases son los que se establecen en la tabla XI.

TABLA XI

Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas:

La interpolación y la extrapolación de los datos no contenidos en la tabla para zonas críticas, está dada por las ecuaciones siguientes, según la Norma Oficial Mexicana.

Para zonas críticas:

$$E = (3020/C)^{0.42}$$

Para el resto del país:

$$E = (4529.7/C)^{0.42}$$

Donde:

E = Nivel máximo permisible, en miligramos por metro cúbico normal.

C = Flujo de gases en la fuente, en metros cúbicos normales por minuto.

La emisión esta referida a condiciones normales de temperatura 298 °K (25 °C) y presión de 101,325 pascales (760 mm Hg), base seca.

Para los efectos de cuantificación de las emisiones de partículas sólidas a la atmósfera, deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas respectivas.

#### VIGILANCIA.

La Secretaría de Desarrollo Social por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, los Gobiernos del Distrito Federal, de las entidades federativas y, en su caso, de los municipios, en sus respectivas jurisdicciones, son las autoridades competentes para vigilar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana.

#### SANCIONES.

El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General de Equilibrio Ecológico y la

**Protección al Ambiente, su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y demás ordenamientos jurídicos aplicables.**

**VIGENCIA.**

**La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.**

## ANEXO B

### **Determinación de la relación de filtrado.**

Para obtener la relación de filtrado es necesario emplear cinco factores que se multiplican entre si para dar un resultado satisfactorio:

Factores:

**"A" FACTOR DE MATERIAL.** Es una función del material propiamente dicho, combinando los muchos factores que afectan la filtración. Este factor puede determinarse mediante pruebas de laboratorio, pero resulta mucho mejor la experiencia en multitud de industrias sobre un determinado material, ya que con frecuencia se requieren periodos de operación mas largos para llegar a un equilibrio adecuado. El caso que generalmente se utiliza es la operación a la temperatura ambiente, con polvo en un tamaño promedio de 1 a 50 micras y una carga de aproximadamente 10 granos por pie<sup>3</sup> originaria de polvo de desecho.

**"B" FACTOR DE APLICACIÓN.** Obviamente una operación es un proceso químico, con sus consecuentes alteraciones y deberá tratarse en forma diferente a la simple operación de recolección aislada de un material molesto este factor pretende clasificar las aplicaciones de ,los usos mas comunes.

**"C" FACTOR DE TEMPERATURA.** La experiencia ha demostrado que se requiere mas área filtrante a medida que aumente la temperatura, como se demuestra en la curva C. La explicación de esto consiste en el 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 asintótica hasta un valor de aproximadamente 0,7 a 250 °F (121 °C).

**"D" FACTOR DE FINURA.** Depende del tamaño del material. En general los humos tienen un factor A bajo debido a su finura.

**"E" FACTOR DE CARGA DE POLVO.** Esta es la curva típica de rendimiento de un colector con sacudimiento neumático, calculada la curva con base a una presión diferencial constante. Generalmente se vuelve asintótica 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 pie cúbico, un determinado colector puede manejar mas material sin que se rebaje la proporción de pies cúbicos por minuto de volumen a pies cuadrados de área

filtrante (o sus equivalentes métricas). La razón probable de esto consiste en el hecho de que el aire se satura a u punto donde no pude contener mas polvo, por lo cual la superficie filtrante recibe una acumulación limitada por la saturación de l aire en relación al tiempo de operación de la unidad.

A continuación se muestran las tablas y gráficas empleadas para seguir este método:

TABLA "A" :

15(*)	12(*)	10(*)	9(*)	6(**)
Polvo de cartón	Asbestos	Alúmina	Fertilizantes de fosfato	Carbón activado
Cacao	Polvo mate	Cemento	Amoniaco	Negro de humo
Concentrados para animales	Material fibroso y celulosa	Pigmentos de cerámicas	Coque	Leche en polvo
Harina	Residuo de fundición	Arcilla y polvillos	Tierra de Diatomaséa	Jabones
Granos	YESO	Carbón	Tinturas	Humos y otros product dispersos
Tabaco	Sal	Carbonatos	Polvo metálico	
Aserrin	Arena	Azúcar	Oxido metálico	
	polvo de arenilas	Polvo de cantera	Silicatos	

(\*) Material. Física y químicamente estables en general.

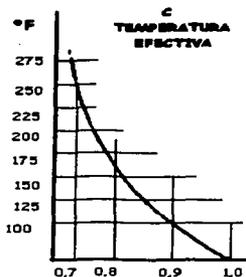
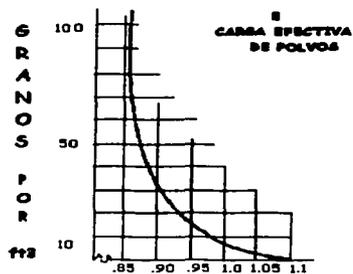
(\*\*) Incluye también a aquellos sólidos que en su estado físico o químico son inestables a causa de : naturaleza higroscópica, sublimación y/o polimerización.

TABLA "B" :

USO / APLICACIÓN	FACTOR "B"
<b>RECOLECCIÓN DE DESPERDICIOS</b> Descarga o alimentación en puntos de transferencia, transportadores, lugares de empaques, etc.	1.0
<b>RECOLECCIÓN DE PRODUCTO</b> Transporte neumático de molinos secadores de dispersión, clasificadores.	0.9
<b>FILTRACIÓN DE GASES DE PROCESO</b> Secadores de dispersión, secadores de calor, reactores, etc.	0.8

TABLA D:

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

**FACTOR C****FACTOR E**

La gráfica "C" muestra el efecto de la temperatura en cuanto a su relación a la cantidad de materia textil filtrante requerida.

La gráfica "E" muestra el efecto de la carga de polvo e indica la curva típica de comportamiento de un colector con limpieza a base de chorro de aire o anillos limpiadores sopladores.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

**Determinación del área de filtrado.****Colector A:**

$$R.F. = A \times B \times C \times D \times E$$

**R.F. Relación de filtrado**

**A Factor del material**

**B Factor del sistema**

**C Factor de temperatura**

**D Factor de finura**

**E Factor de carga de polvo**

$$A = 12$$

$$B = 1.0$$

$$C = 0,76$$

$$D = 0,9$$

$$E = 0,94 \text{ a } 18 \text{ granos/ft}^3$$

$$R.F. = (12)(1.0)(0,76)(0,9)(0,94) = 7,71 \text{ ft}^3 / \text{min ft}^2$$

$$A.F. = Q / R.F.$$

**A.F. = Área de filtrado**

**Q = Flujo de gas**

$$Q = 3750 \text{ ft}^3 / \text{min}$$

$$A.F. = (3750 \text{ ft}^3 / \text{min}) / (7,71 \text{ ft}^3 / \text{min ft}^2)$$

$$A.F. = 486,03 \text{ ft}^2$$

$$A.F. = 45,17 \text{ m}^2$$

**Colector B:**

$$A = 12$$

$$B = 1.0$$

$$C = 0,77$$

$$D = 0,9$$

$$E = 0,94 \text{ a } 18 \text{ granos/ft}^3$$

$$R.F. = (12)(1.0)(0,77)(0,9)(0,94) = 7,81 \text{ ft}^3 / \text{min ft}^2$$

$$A.F. = Q / R.F.$$

A.F. = Área de filtrado

Q = Flujo de gas

$$Q = 5500 \text{ ft}^3 / \text{min}$$

$$A.F. = (5500 \text{ ft}^3 / \text{min}) / (7,81 \text{ ft}^3 / \text{min ft}^2)$$

$$A.F. = 703,59 \text{ ft}^2$$

$$A.F. = 65,38 \text{ m}^2$$

**BIBLIOGRAFÍA:**

Perry Robert H. et. al. Manual del Ingeniero Químico, México, McGraw-Hill / Interamericana de México S.A. de C. V. México 1998

Dana, Edward & Ford E. William, Tratado de Mineralogía, Ed. Continental, México, 1979

Heilbroner, L. Robert & Thurow C. Lester, Economía Prentice-Hall, México

Carnicer, Royo E. Ventilación Industrial Ed. Paninfo S.A. España 1991

Max S. Peters & Timmerhaus D. Klaus, Plant Design And Economics for Chemical Engineers Mc Graw-Hill 1991

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Información económica mexicana, México, 1995

Lund E. Manual para el control de la contaminación del aire Mc Graw-Hill 1990

Seoanez Calvo Mariano, Ingeniería del Medio Ambiente Ed. Mundi-Prensa, España 1996

Masters M. Gilbert, Environmental Engineering and Science Prentice Hall, 1998 USA

Hernández Goribar E. Fundamentos de aire acondicionado Mc Graw-Hill 1991

Clifford R. Modern Heating Ventilating and Air Conditioning Prentice-Hall, 1996 USA

Dryden Charles & Vilbrandt Frank, Análisis de costos  
Mc Graw-Hill, 1994

Committee on Industrial Ventilation, Industrial Ventilation  
21 ed. American Conference of Governmental Industrial Hygienist, Inc.