

300617

# UNIVERSIDAD LA SALLE L



ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

## DESARROLLO DE UN SISTEMA DE VENTILACION Y RECUPERACION DE POLVO PARA SISTEMAS DE ENVASE DE CEMENTO

T E S I S      P R O F E S I O N A L  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO      MECANICO      ELECTRICISTA  
CON      AREA      PRINCIPAL      EN      :  
I N G E N I E R I A      I N D U S T R I A L  
P R E S E N T A :  
GUILLERMO      ARTURO      /CANO      CHABOLLA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

2002



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.

INDICE POR CAPITULOS.

I.	INTRODUCCION.	1.
II.	METODOS Y EQUIPOS MAS USUALES EN LA CAPTACION Y SEPARACION DE POL VOS INDUSTRIALES.	8.
III.	TIPOS DE VENTILADORES INDUSTRIA- LES Y SUS APLICACIONES.	35.
IV.	DESCRIPCION DE ENVASADORAS DE CEMENTO EN SACOS.	47.
V.	ALCANCE Y DESARROLLO DEL PROYECTO.	50.
VI.	ANALISIS ECONOMICO.	87.
VII.	CONCLUSION.	98.
	BIBLIOGRAFIA.	100.
	INDICE ANALITICO.	101.

TESIS CON  
TALLA DE ORIGEN

I. INTRODUCCION.

El control de los polvos industriales que son producidos durante el manejo, transformación o fabricación de materiales, no es consecuencia de la industrialización, sino que es la consecuencia tanto de mejores condiciones de higiene y salubridad en el área de trabajo, como de mantenimiento y conservación de máquinas e instalaciones, así como de recuperación de pérdidas en los procesos.

El problema es en algunos casos de gran magnitud, por ejemplo, basta citar que en la fabricación de cemento, en un horno para clinker, con una producción diaria de quinientas toneladas, se producen diez toneladas de polvo de tamaño de tres micras. La captación y separación de este polvo es posible, lo que aumentaría la producción en un 2 % si se llevará al cabo, así como también resolvería problemas de mantenimiento y brindaría mejores condiciones de trabajo.

En el aspecto de higiene industrial, el polvo se supone que es el causante directo de la silicosis, la cual generalmente es producida por partículas de polvo derivado de la sílice con dimensiones de entre una y tres micras, las que llegan y se estacionan en los pulmones y que después de un período extenso, el cual puede ser incluso de varios años, el individuo manifiesta las lesiones producidas y es entonces cuando la silicosis existe, no es reversible y es de dudosa estabilización y con el transcurso del tiempo puede dar lugar a complicaciones pulmonares e incluso cardiovasculares, la fabricación del cemento es considerada actualmente como un gran causante de silicosis.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Una de las herramientas fundamentales, utilizadas para el análisis de problemas complejos, como es el de la emisión de polvos, ha sido el enfoque de sistemas, mediante el cual, no se busca una solución parcial a un problema concreto sino el encontrar las relaciones básicas entre los elementos que conforman una situación dada para lograr su intervención armónica y con ello la solución integral al problema.

En forma simplificada, podemos describir al sistema de nuestro interés, conformado por tres elementos básicos: la fuente, el medio y el receptor, entendiendo por fuente, toda actividad o proceso que en alguna forma adicione a nuestra atmósfera elementos ajenos a ella. Así, podremos clasificar a las fuentes en tres grupos básicos, las industriales, las vehiculares y las naturales; cada una de ellas será responsable de la presencia de diversas sustancias contaminantes en nuestra atmósfera.

El medio constituido por la atmósfera, será el responsable del transporte o difusión de los contaminantes así como el escenario donde estos contaminantes sufrirán cambios que lo transformarán en sustancias inertes o en productos más peligrosos que los que les dieron origen; este medio se verá afectado por las condiciones tanto meteorológicas (dirección y velocidad de los vientos temperatura, humedad, radiación solar, etc.) como geográficas (altitud, topografía, localización, etc.) del área en cuestión.

Los receptores, seres humanos, animales, vegetales y materiales, recibirán los productos contaminantes fundamentalmente por la respiración, en el caso de los primeros y por depositación en los últimos, en el caso, del ser humano, esta situación hace ver que, en realidad, se verá expuesto a los contaminantes de origen atmosférico por múltiples vías, inhalación, ingestión, etc.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De la breve descripción que hemos realizado podemos determinar que el control del problema podrá realizarse en cualquiera de sus elementos; así, podremos controlarlo en la fuente al contolar las emisiones, controlarlo en el medio mediante la administración de la calidad del aire y controlarlo en el receptor mediante aislamiento o protección directa. Dado que esta última solución se deberá aplicar únicamente en casos extremos, el control de la contaminación atmosférica se ha orientado, en todos los países con este problema, hacia uno de los dos enfoques básicos siguientes: por un lado, el llamado Administración de la calidad del aire y por el otro, al control de las emisiones dentro de la política de la mejor tecnología disponible. En México se ha buscado un enfoque basado en una norma de calidad del aire que permita una aplicación dinámica de una reglamentación de emisiones.

Dentro de este enfoque, los planteamientos que deberán considerarse para una estrategia integral de control de la contaminación atmosférica serán los instrumentos jurídicos, el proceso administrativo y los incentivos fiscales y financieros, ya que solo conjuntando acciones promocionales a las medidas punitivas se podrá lograr un resultado efectivo en el control de la contaminación.

Podemos considerar que el primer antecedente jurídico nacional sobre el control de la contaminación ambiental fue el "Reglamento para los Establecimientos Industriales o Comercios Molestos, Insalubres y Peligrosos" promulgado por el General Lázaro Cárdenas en noviembre de 1940. En este reglamento se definían y reglamentaban las industrias y comercios que en alguna forma provocaban problemas al vecindario; así, se definían como establecimientos molestos por polvos, chispas o humos a aquellos "cuyas emanaciones penetren en habitaciones vecinas o ensucien sus muros o techos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El 12 de marzo de 1971 el Lic. Luis Echeverría, presidente de la República, expide el decreto en el Diario Oficial sobre la Ley Federal para prevenir y controlar la Contaminación Ambiental, la cual tiene como función el prevenir y controlar la contaminación y el mejoramiento, conservación y restauración del medio ambiente en la República Mexicana.

Es en dicha Ley en el capítulo segundo, artículo 10 en donde se especifica claramente que las descargas de contaminantes en la atmósfera, como polvos, vapores, humos, gases, materiales radiactivos y otros, deberá de sujetarse a las normas que se especifiquen en los reglamentos correspondientes y que deberán de ser instalados o adaptar los aditamentos necesarios a fin de controlar dichas emisiones.

En adición a esta Ley, el Código Sanitario promulgado en 1973, dedica su Título III al Saneamiento del Ambiente y en él, el Capítulo II a la preservación de la calidad de la atmósfera.

El instrumento jurídico específico con que cuenta actualmente la Administración Pública para prevenir y controlar la contaminación es el reglamento para la prevención y control de la Contaminación Atmosférica originada por la Emisión de Humos y Polvos, expedido el día 8 de septiembre de 1971 por el Lic. Luis Echeverría, donde se fijan los límites de emisiones de polvo en relación al volumen de gas en la fuente, en el artículo 31 se establece que en toda operación, proceso o actividad industrial se deberá adoptar y aplicar el sistema de control que se haya establecido para la emisión de polvos fugitivos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Si bien es cierto que este reglamento fué adecuado en su momento, la experiencia recabada durante los años de su aplicación ha hecho ver diversos defectos del mismo; entre ellos destacan:

Falta de regionalización: Los valores fijados como límites de emisión son de carácter federal; esta situación ha dado como resultado que el industrial no tome en cuenta el factor ambiental para localizar su industria y, por lo mismo, el reglamento no ha coadyuvado los programas de desconcentración.

Falta de discriminación de la composición química de las partículas: El reglamento fija los límites de emisión de polvos sin tomar en cuenta la composición química de los mismos, por ello la industria podría emitir en la misma magnitud polvo inerte o sustancias tóxicas.

Falta de definición en la limitación de emisiones de polvos fugitivos; al respecto los artículos 31 y 32 indican que la industria buscará controlar estas emisiones; sin embargo, no da una indicación mas específica sobre ellas.

La implantación de un programa de control del saneamiento atmosférico en un país en desarrollo como México debe de considerar que, si bien es cierta la necesidad de crecimiento del país, ésta no deberá de minimizar las acciones de preservación del medio ambiente; por otra parte, esta instrumentación deberá orientarse fundamentalmente en 3 direcciones; dos de ellas, enfocadas a acciones de control específico de las fuentes industriales y vehiculares y la tercera orientada a la evaluación de la calidad del aire con objeto de retroalimentar las acciones de control centrandolas en el logro de resultados positivos. Las acciones de control, tanto de fuentes industriales como vehiculares, se ven a su vez cristalizadas en tres momentos temporales, el pasado, mediante la vigilancia a la

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

industria establecida y a los vehiculos en circulaci6n; el presente, en la gesti6n de licencias de instalaci6n de industria y la certificaci6n de vehiculos nuevos; el futuro, en programas de planeaci6n urbana-industrial y de transporte.

A su vez, la certificaci6n de vehiculos nuevos busca el que las nuevas producciones vehiculares tengan aditamentos adecuados para el control de emisiones, dentro de este tipo de programas se certifican prototipos de la producci6n vehicular y se supervisa mediante pruebas de auditoria en la lnea de producci6n.

Las acciones de planeaci6n, soluciones a futuro del problema de la contaminaci6n atmosf6rica, deben incluir la zonificaci6n l6gica y racional de las ciudades, localizando las 6reas de acuerdo con estudios meteorol6gicos previos y buscando aislar las 6reas industriales de las 6reas urbanas mediante cinturones ecol6gicos. Por otra parte, la vialidad y las redes de transportaci6n masiva deben buscar el reducir los tiempos y trayectorias de traslado; acciones tendientes a la creaci6n de subcentros de poblaci6n autosuficientes inciden muy favorablemente en la soluci6n de este problema.

La evaluaci6n de la calidad del aire requiere de la instalaci6n y operaci6n de redes de monitoreo, la cual se basa en la recabaci6n de informaci6n demogr6fica, meteorol6gica y geogr6fica de la zona en estudio.

En el aspecto de incentivos fiscales, ya desde agosto de 1972, el Ejecutivo Federal, promulg6 un acuerdo en base al cual se otorga subsidio al industrial que importe equipos de control de emisiones previo dictamen de la Subsecretaria de Mejoramiento del Ambiente. En marzo de 1981, el acuerdo anterior fue sustituido por un nuevo decreto que amplia la cobertura a la adquisici6n de equipo de control de fabricaci6n nacional asi como a equipos de medici6n y a sistemas integrales de control.

REGIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por otra parte, en dicho Decreto también se promueve con importantes estímulos la fabricación en México del equipo de control de contaminación.

En apoyo a lo anterior, en julio de 1981 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Acuerdo de creación del Fondo Nacional para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental; por medio de este fondo el Gobierno piensa dar un apoyo definitivo al industrial para la solución de su problemática ambiental.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## II. METODOS Y EQUIPOS MAS USUALES EN LA CAPTACION Y SEPARACION DE POLVOS INDUSTRIALES.

Los métodos mas usuales para la captación y separación de polvos industriales se pueden resumir dentro de 5 grupos:

1. Cámaras de precipitación por gravedad.
2. Separadores Centrifugos.
3. Separadores en seco.
4. Separadores en húmedo.
5. Separadores electrostáticos.

### II.1. CAMARAS DE PRECIPITACION POR GRAVEDAD.

La finalidad de estas cámaras consiste en producir la precipitación del polvo al disminuir la velocidad - de transporte por el paso de la cámara, su funcionamiento se basa en la siguiente fórmula:

$$V = Q/A$$

donde:

V = velocidad expresada en metros.

Q = volumen expresada en metros cúbicos entre segundos.

A = Area transversal de la sección expresada en metros cuadrados.

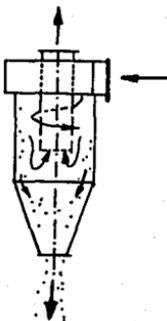
De la cual podemos darnos cuenta que para poder disminuir la velocidad del flujo del aire al pasar por la cámara de precipitación es necesario aumentar el area de ésta, por lo que el principal inconveniente de este tipo de separadores es que resultan cámaras de dimensiones excesivamente grandes, lo cual hace difícil y costoso este tipo de separadores. La finalidad de disminuir la velocidad del flujo del aire es con el fin de lograr que la masa de aire no logre arrastrar a las partículas de polvo, las que por su propio peso caen y son separadas del aire.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## II.2. SEPARADORES CENTRIFUGOS.

Dentro de esta clasificación se encuentran los ciclones, los cuales reciben su nombre por el efecto circular al que someten el flujo del aire, simulando un ciclón.

La separación de las partículas de polvo del aire se lleva a cabo gracias a la fuerza centrífuga que adquieren las partículas al ser sometida la masa de aire al movimiento circular. Este principio es mas facil de comprender si vemos la siguiente figura:



La masa de aire tiene como acceso al ciclón una envolvente que la somete a un efecto circular en donde las partículas debido a la fuerza centrífuga tratan de alejarse con respecto al centro del movimiento circular, punto en donde se efectúa la extracción del aire del ciclón, así mismo el área del ciclón se aumenta considerablemente provocando que la velocidad del flujo de aire se reduzca lo que ocasiona que las partículas se precipiten y sean recolectadas en el fondo del ciclón.

Los ciclones convencionales tienen su mayor campo de acción en la separación de polvo grueso ( 20 a 30 micras) mientras que en los ciclones de alto rendimiento se logra una separación de polvos con el siguiente rendimiento aproximadamente:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Separación de polvo hasta de 5micras	50% eficiencia
Separación de polvo de 5-10micras	80% eficiencia
Separación de polvo de 10-15micras	93% eficiencia
Separación de polvo mayor a 15micras	99% eficiencia

La diferencia del rendimiento entre los ciclones radica en lo siguiente: los ciclones de alto rendimiento actúan con mayor acción centrífuga porque cuanto menor es el diámetro del ciclón, tanto mayor es el grado de separación con lo que se logran mayores rendimientos.

También es frecuente el uso de los ciclones en batería, es decir, uno a continuación de otro, en donde el primer ciclón se le considera como un concentrador de polvo y los siguientes como separadores selectivos.

Los ciclones son utilizados también como pre separadores o separadores selectivos, haciendo pasar el flujo de aire por ellos antes de pasar por otro tipo de separadores como de mangas o de tipo húmedos, teniendo como finalidad el separar las partículas mas gruesas del aire y con esto facilitar y mejorar el rendimiento de las mangas así como su conservación.

Existen también separadores centrífugos de tipo tubular los cuales consisten en una serie de tubos que en realidad son pequeños ciclones, los cuales estan basados en la teoría de que a igual velocidad del aire los ciclones de menor diámetro tienen un mayor rendimiento, aunque en la práctica esta teoría se ve afectada por otros factores que intervienen en la separación.

### II.3. SEPARADORES EN SECO.

Dentro de esta categoría se encuentran aquellos separadores que emplean un medio filtrante en un medio seco, tales como bolsas o mangas, paneles o placas de tejidos o materiales naturales, sintéticos o metálicos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Aunque los ciclones realizan la separación de polvos en seco no se consideran dentro de esta clasificación por no tener un medio que actúe como filtro. La mayoría de estos separadores permiten la recuperación de polvos y su returno al proceso ya que el polvo no es alterado o es mínimo el cambio o el efecto que se produce en el mismo durante su transporte. La importancia del returno al proceso del material radica en el tipo de polvo que se está manejando, por ejemplo, en el caso de polvo de metales preciosos, la recuperación del material es sumamente importante, dado el alto valor económico que estos tienen.

### II.3.1. SEPARADORES DE MANGAS.

Este tipo de separadores emplean como medio filtrante mangas o bolsas. Estas mangas son generalmente de tejidos o tela, y una ventaja de este tipo de separadores es que se selecciona el tipo de tela o tejido que se vaya a emplear como medio filtrante de acuerdo a la capacidad de reten ción o filtración que se desee y a las características del polvo a manejar. También existe como desventaja que hay que tener en cuenta que en este tipo de medios filtrantes estamos usando material que es altamente inflamable, por lo que se tiene que tomar en cuenta que el polvo que se maneje en estos separadores no vaya a producir que las mangas se incen dien. En los casos en que se necesite emplear este tipo de separadores y exista la posibilidad de que alguna partícula de polvo provoque un incendio en las mangas se emplean pre-separadores que pueden ser ciclones o cámaras de precipitación por gravedad, para evitar que se produzca un incendio en las mangas.

Si nos imaginamos un filtro de mangas nos damos cuenta de que con el tiempo se llegarían a tapar las bolsas y la resistencia que presentarían al paso del aire sería mayor e incluso se podría llegar a anular la corriente de aspiración, por lo que estos separadores cuentan con

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

sistemas de limpieza, de los cuales existen diversos tipos como los siguientes:

#### II.3.1.1. SISTEMA DE LIMPIEZA POR AIRE REVERSO.

Este tipo de limpieza consiste en invertir el flujo del aire que pasa por las mangas, para lo cual se necesita una entrada auxiliar de aire limpio, en algunos casos el mismo exhaustor es utilizado para manejar el volumen necesario para la absorción de polvo así como también para el aire de limpieza, en otros casos se suministra aire a presión en el separador por medio de un ventilador de alta presión - (turboventilador) o por medio de un compresor para efectuar la limpieza de las mangas.

Para llevar a cabo este tipo de limpieza es necesario un mecanismo que al abrirse cierre automáticamente la salida del aire filtrado por esa cámara y permita el paso del aire de limpieza en sentido inverso al filtrado lo que hace que las partículas de polvo se desprendan de la superficie de las mangas, es necesario hacer notar que para que esto se lleve a cabo necesitamos hacer que el separador deje de filtrar en una cámara o parte del mismo, o sea que en este tipo de separadores no siempre se trabaja a una capacidad del 100% en su área de filtrado ya que mientras una parte se encuentra filtrando una porción del mismo se encuentra en el proceso o paso de limpieza.

Estos separadores debido a los medios filtrantes que emplean presentan resistencia al paso del aire, cuando se emplean mangas o bolsas nuevas la resistencia puede ser hasta de 40 mm. C.A. y cuando las mangas han estado ya en uso por algún tiempo la resistencia puede ser elevada hasta 200 mm. C.A. siendo necesario entonces que el periodo de limpieza o sacudido sea más frecuente. La resistencia normal que debe presentar un separador de este tipo es variable según la marca y tipo de mangas que se estén empleando, pero generalmente la resistencia media debe oscilar entre 60 y 160 mm. C.A. en condiciones de trabajo normales. En la actualidad

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

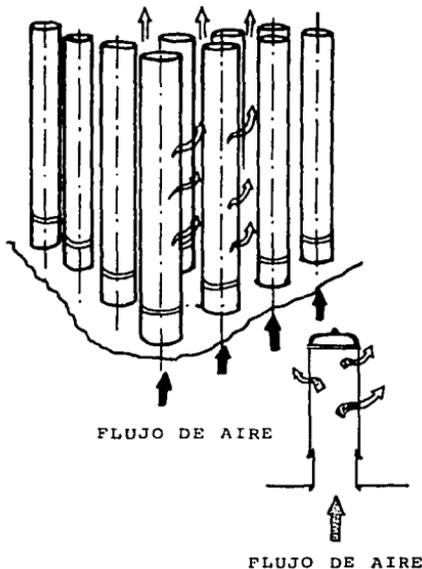
los sistemas de limpieza se regulan por medio de tableros electrónicos de control, en los cuales se puede ajustar - los tiempos de acción y de pausa con lo que se puede obtener el mas alto grado de eficiencia en este tipo de separadores y con lo que su funcionamiento se automatiza completamente.

En este tipo de separadores cuyo sistema de limpieza es por medio de aire reverso generalmente éste debe de ser inyectado al separador a una presión mayor que la existente dentro del separador para lograr la mayor eficacia en el desprendimiento de las partículas que se hayan adherido en la superficie de las mangas.

Filtro de baja relación limpiado por aire reverso.

Un filtro de baja relación se utiliza para la filtración de adentro hacia afuera, lo que quiere decir que las partículas se acumulan en el interior de las bolsas (fig. 1). Las bolsas o mangas se encuentran sujetas a la parrilla en su parte inferior y suspendidas de un dispositivo tensor en su parte superior. Los gases con partículas entran al separador por debajo de la parrilla a través de la tolva, entrando a la bolsa por la parte inferior del compartimiento del colector, y pasan a través de las mangas de adentro hacia afuera, los gases fluyen entre las bolsas y salen del compartimiento por la parte superior. Todos los gases con partículas se obligan a pasar a través de la boca relativamente pequeña y circular de la manga en la parrilla, la que por su diseño limita la relación aire-tela, ya que una velocidad de entrada excesivamente rápida podría provocar invariablemente el desgaste de la bolsa en la parte inferior de la misma, dando como resultado una drámatica reducción en la vida útil de la bolsa. Para reducir este riesgo las mangas estan equi

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



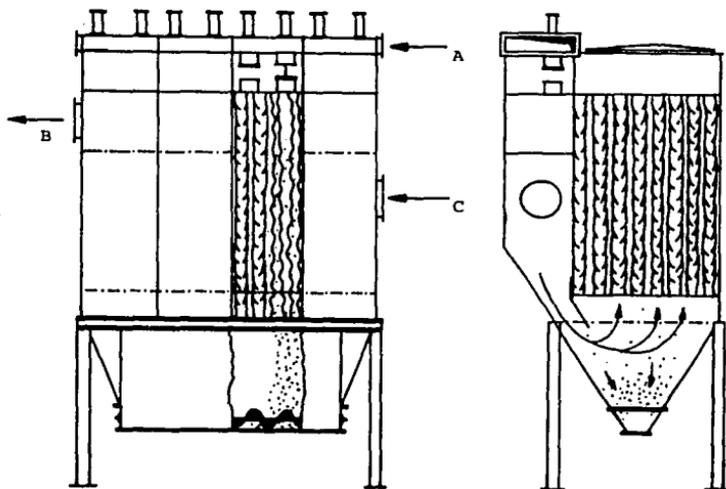
DISEÑO DE BAJA RELACION. FILTRACION DE ADENTRO HACIA AFUERA.

padas con cuellos de acero para protegerlas contra la abrasión. Cuando la capa de polvo ha adquirido un espesor que provoque que la caída de presión a través del filtro alcance cierto límite, el polvo debe de ser separado de la superficie de las bolsas, lo cual se lleva a cabo mecánicamente al ser aplicadas a éstas un contraflujo de aire. Es importante que en el proceso de limpieza quede cierta cantidad de polvo en las mangas con el fin de que facilite la adhesión del polvo a la superficie de éstas y se acumule una nueva capa de polvo, para mantener cierta eficiencia de colección en la bolsa limpiada.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Durante el período de limpieza la cantidad de polvo que se elimina por unidad de tiempo continuamente disminuye por lo que el período se tendrá que regular de acuerdo a la cantidad de polvo que contenga el aire que se este manejando. El diseño de un separador de baja relación con sistema de limpieza por aire reverso se puede apreciar en la siguiente figura:

- A: ENTRADA AIRE DE LIMPIEZA
- B: SALIDA AIRE FILTRADO
- C: ENTRADA AIRE SUCIO.

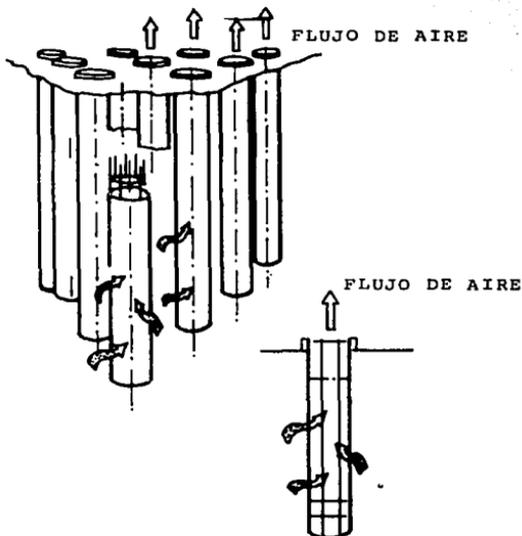


SEPARADOR DE BAJA RELACION CON SISTEMA DE LIMPIEZA  
POR AIRE REVERSO.

El sistema de limpieza se lleva a cabo al hacer que las bolsas se colapsen mediante el contraflujo de aire logrando que la capa de polvo que se había acumulado sobre la superficie de las bolsas o mangas cayendo al fondo de las bolsas para después ser depositado en las tolvas recolectoras, en donde después de cierto tiempo el

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

polvo se asienta y se abren y cierran las compuertas de entrada de aire sucio y de aire limpio respectivamente para que el proceso de filtrado se reestablezca en esa parte del filtro. Los filtros de limpieza por medio de aire reverso pueden ser usados como tipo de presión o succión, es decir con el ventilador principal antes o después del filtro,



**DISEÑO DE ALTA RELACION. FILTRACION DE AFUERA HACIA ADETRO.**

Un filtro de alta relación emplea una filtración de adentro hacia afuera, lo que significa que las partículas de polvo se acumulen sobre la superficie exterior de las mangas, en este caso las bolsas son cerradas en la parte inferior lo que produce que el aire fluya de la parte exterior de la bolsa hacia la interior, quedando depositadas en la parte exterior las partículas, el gas limpio fluye

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

hacia arriba y hacia afuera de la parte superior del compartimiento. Cada bolsa está soportada en el interior por una jaula de metal o canastilla, cuya función es evitar que la bolsa se colapse durante la filtración de los gases. Este tipo de filtración permite un flujo mayor por unidad de superficie de tela, aunque la salida del aire por la parte superior de la bolsa es a una velocidad relativamente alta el gas se encuentra limpio y por consiguiente el grado de abrasión es menor que en un filtro de baja relación.



PULSO EXPULSADO

ALTA PRESION

5-6 Bar

(70-90 lb/pulg)

PULSO DIRECTO

BAJA PRESION

1-2 Bar

(15-30 lb/pulg)

PRINCIPIOS PARA LA LIMPIEZA POR PULSOS.

**PULSO EXPULSADO.** El flujo del aire secundario es de 6 a 7 veces mayor que el del aire primario.

El impulso es lento

Se utiliza bolsa corta.

**PULSO DIRECTO.** El aire primario se expande directamente en el material de filtración. solo 1 a 2 veces el aire primario expulsado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**PULSO DIRECTO.** Los impulsos son cortos y rápidos.  
Al ser los impulsos más profundos permiten el uso de bolsas con mayor longitud.

Los filtros de mangas con una relación más alta de aire-tela por lo general utilizan como material de filtración un tipo de tela fieltro, con el objeto de mantener la caída de presión del sistema a un nivel razonable, sin embargo el uso de telas fieltro permite que las partículas se incrusten con mayor severidad en el material de las bolsas lo que obliga a tener un método más efectivo de limpieza, la cual se logra por la técnica de pulsos por medio de aire comprimido, la cual consiste en provocar un contraflujo de aire que ensanche la bolsa y provoque la separación del polvo ya que la presión a la que es expulsado es mayor a la que se logra con un sistema de limpieza normal. El concepto tradicional del tipo de filtro por pulsos de aire se basa en una fuerte corriente o chorro de aire comprimido que se introduce en las bolsas a través de boquillas que están localizadas en la abertura superior de la bolsa y el sentido de la corriente es el inverso a el flujo de filtración como en los sistemas anteriores. En la parte superior de cada bolsa se utiliza un tubo venturi para inyectar aire adicional a las bolsas. El pulso de aire junto con el que se inyectó, viajan dentro de la bolsa hacia abajo y la separan de la jaula que la sostiene desalojando el polvo que se depositó en el exterior de la bolsa. La presión del aire en los tanques que suministran el aire para limpiar es tan elevado como de 5 a 7 atmósferas y su función se controla por medio de una válvula que se coloca después del tanque.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### II.3.1.2. SISTEMA DE LIMPIEZA POR SACUDIDO MECANICO.

Este sistema de limpieza consiste en hacer que por medio de un mecanismo cuyo movimiento puede ser manual o automático las bolsas o mangas sufran un movimiento brusco y que con esto se logre el desprendimiento de las partículas que se hayan podido adherir a la superficie de las mangas. Hay que hacer notar que para que este tipo de limpieza sea mas eficiente, es necesario que el filtro o separador se encuentre parado o que la velocidad y presión de succión al momento de efectuar el sacudido sea menor a la de operación para facilitar el desprendimiento de las partículas que se hayan podido adherir al medio filtrante. En la actualidad existen diversas formas de sacudido pero las de mayor empleo son las de golpe o por vibración. Esto se logra montando los medios filtrantes sobre un bastidor o marco soporte que es el que por medio de un golpe o vibración transmitida por un motovibrador sufre el movimiento y éste a su vez lo transmite a las mangas con lo que se lleva a cabo el desprendimiento de las partículas. También son usadas pero para pequeñas concentraciones y cantidades de aire, separadores de sacudido manual, el cual se lleva a cabo mediante un dispositivo que es una palanca o pedal, en este caso se tiene que tener cuidado en hacer que los periodos de limpieza no sean muy espaciados ya que con esto se puede hacer que el motor del exhaustor se sobrecargue.

Con este tipo de limpieza no se logra que el desprendimiento de las partículas que con fuerza se hayan adherido en la bolsa o que se hayan incrustado sea muy efectivo por lo que la velocidad del flujo del aire dentro del separador y al hacer pasar éste por las bolsas deberá de ser muy baja para evitar que las partículas de polvo se incrusten o se adhieran demasiado a las bolsas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### II.3.1.3. SISTEMA DE LIMPIEZA POR MEDIO DE AIRE REVERSO Y SACUDIDO MECANICO.

Este sistema de limpieza es una combinación de los dos anteriores y es empleado dada su mayor eficiencia en el filtrado de materiales de baja densidad y para conseguir un mayor grado de limpieza en las bolsas o medios filtrantes.

### II.3.2. ELEMENTOS FILTRANTES.

Dentro del diseño y selección de un separador en seco la parte mas importante es la selección de los elementos filtrantes que son la parte del separador que va a servir para evitar y retener el paso del polvo. Para lograr una buena selección de medio filtrante es necesario considerar las características del polvo a manejar así como las condiciones en las que se va a manejar, en particular la velocidad. La velocidad es un concepto muy importante que se debe considerar, ya que si el aire es manejado a una velocidad baja, lo mas seguro, dependiendo de las características del material es que ésta no vaya a ser suficiente para poder transportar las partículas de polvo, pero también si manejamos la masa de aire con polvo a una velocidad muy alta existe el inconveniente de acarrear mas material del que se quiera extraer así como también las partículas de polvo se incrustan con mayor fuerza en los medios filtrantes haciendo mas difícil el desprendimiento de éstas o haciendolo imposible. La velocidad también es un factor determinante en la vida útil de las mangas o medios filtrantes, se ha comprobado que ha velocidades mas bajas se logra en determinados casos incrementar la vida útil de las mismas hasta en un 100%.

En la selección del material filtrante, no unicamente se considera el material de éste sino el tipo de tejido que se vaya a emplear, ya que cada tipo presenta una resistencia diferente al paso del aire y en cada tipo varía la filtración que se obtenga. La resistencia que los medios filtrantes presenten al paso del aire deberán de mantenerse dentro de límites razonables ya que el utilizar medios con

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

una resistencia elevada obliga a utilizar un exhaustor de mayor eficiencia lo que incrementa el costo del sistema de extracción. La resistencia que presentan los medios filtrantes cuando son nuevos es mínima pero conforme se van utilizando se empiezan a obturar con las partículas de polvo y si la limpieza o sacudido de las mismas no se lleva a cabo a intervalos regulares pueden llegar al taponamiento total.

La relación aire/tela que se usa para definir la cantidad o gasto del aire que estamos manejando entre el área de tela que el separador presenta se utiliza como factor esencial en las características de un separador. Es muy frecuente encontrar en el caso de los separadores de sistema de limpieza por medio de aire reverso que se mencionen 2 relaciones aire/tela, relación aire/tela bruta y relación aire/tela neta. Esto es debido a que como anteriormente se expuso este tipo de separadores no emplean el 100% de su capacidad filtrante. La relación aire/tela que se debe de emplear para la adecuada selección debe de ser la relación neta.

Como resultado de experiencias industriales se ha llegado a establecer para algunos polvos industriales las relaciones aire/tela mas adecuadas dependiendo del material y concentración estimada. Para el cemento que es el caso de este estudio se recomienda emplear:

CASO	RELACION AIRE/TELA
altas concentraciones	menor a 1.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -min.
medias concentraciones	entre 1.0 y 2.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -min.
bajas concentraciones	entre 2.0 y 3.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -min.

Estas relaciones dependen del tipo de separador y material filtrante a emplear ya que varían de acuerdo al tipo y frecuencia de limpieza, ya que entre mas segura y frecuente sea se puede usar un área filtrante menor lo que económicamente y en cuestiones de espacio puede ser un factor importante.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Entre las características del polvo que influyen dentro de la elección del medio filtrante mas adecuadamente figuran: tamaño, estado higrométrico, temperatura de la corriente de aire, agresividad química, capacidad de aglutinamiento, la toxicidad, la concentración estimada, la abrasividad y el método de limpieza.

**TAMAÑO.** Como es lógico pensar si manejamos polvo muy fino, necesitamos emplear un medio filtrante mas cerrado como puede ser un fieltro, pero al usar este tipo de material las perdidas por la resistencia que presenta van a ser mayores.

**HUMEDAD.** Las telas afelpadas en muchos casos mejoran el rendimiento de la filtración, sin embargo cuando el aire aspirado presenta un porcentaje considerable de humedad puede ser perjudicial ya que se pueden formar apelmazamientos sobre la superficie del medio filtrante y con esto aumentar la resistencia y dificultar la limpieza.

**TEMPERATURA.** Es un factor que se tiene que considerar para seleccionar el elemento filtrante ya que al manejar aire a temperaturas elevadas se tiene que seleccionar materiales que resistan la temperatura que se vaya a manejar.

**AGRESIVIDAD QUIMICA DEL POLVO.** Hay que tener en cuenta el deterioro que pueda causar el polvo y el aire debido a su agresividad química y seleccionar materiales de elevada resistencia.

**TOXICIDAD DEL POLVO.** Cuando se esta filtrando polvo con un alto índice tóxico es necesario tener un alto rendimiento de filtración para evitar daños a las personas o a los equipos o zonas adyacentes.

#### II.3.2.1. MATERIALES FILTRANTES.

Los materiales mas usados en la actualidad son los tejidos a base de fibras vegetales o sintéticos. La fibra vegetal mas empleada es el algodón. Es aconsejable que la orientación de las fibras sea perpendicular a la dirección de la corriente del aire. El tejido de algodón tiene suficiente

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

resistencia hasta 80 °C de donde empieza a disminuir, no presenta una gran resistencia química. Se emplea para la filtración de granos finos menores a 1 micra de tamaño.

La selección correcta de fibras y telas para ser aplicadas en la colección de polvos resulta ser un factor determinante para lograr la mas alta eficiencia de los equipos. Las fibras que se emplean actualmente en la industria se pueden clasificar de la siguiente manera:

FIBRAS NATURALES:    Vegetales  
                                  Animales  
                                  Minerales

FIBRAS HECHAS POR EL HOMBRE:  
                                  Sintéticas  
                                  Artificiales

De estos grupos se desprende como el más importante el de las fibras sintéticas, ya que han demostrado considerables ventajas sobre todas las demás para ser utilizadas en el campo de la filtración.

Dentro de la gran variedad existente de este tipo de fibras, actualmente se cuenta con una amplia gama para la fabricación de tejidos especiales para ser utilizados en colectores de polvo, los que permiten satisfacer en la mayoría de sus casos las necesidades y requerimientos de la industria actual.

La razón por la que las fibras naturales han sido prácticamente desplazadas por las sintéticas, obedece a que el desarrollo de éstas últimas así como los tratamientos químicos y térmicos de que son susceptibles, ha permitido superar a las naturales. Lo anterior es aplicable básicamente a la lana y el algodón, fibras que han sido sustituidas por el poliéster y la fibra acrílica entre otras.

Las razones son muy simples y para poder ampliar esta información, a continuación se pueden apre-

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ciar las características y ventajas que ofrecen unas fibras sobre otras:

RESISTENCIA A: LANA ALGODON POLIESTER ACRILICAS

TENSION.	mala	buena	excelente	buena
ABRASION.	mala	mala	buena	regular
TEMPERATURA. *	90°C	100°C	135°C	140°C
ACIDOS.	regular	mala	buena	buena
HUMEDAD.	excelente	buena	buena	buena
ESTABILIDAD DIM.	buena	regular	excelente	regular
FLEXIBILIDAD.	excelente	buena	regular	excelente

\* Temperatura de operación recomendada.

Para otros efectos de comparación a continuación podremos apreciar por grupos y por orden descendente las fibras generalmente utilizadas para filtración y la superioridad de unas comparadas con otras en cuanto a sus características generales. Esta tabla puede servir como buen índice para seleccionar la fibra adecuada a nuestras necesidades.

RESISTENCIA A LOS ACIDOS. A LOS ALCALIS. A LA TENSION.

TEFLON	TEFLON	NYLON
POLIPROPILENO	POLIPROPILENO	VIDRIO
VIDRIO	NYLON	POLIESTER
ACRILICAS	NOMEX	POLIPROPILENO
POLIESTER	VIDRIO	NOMEX
NOMEX	POLIESTER	ACRILICAS
NYLON	ACRILICAS	TEFLON

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<u>RESISTENCIA A LA ABRASION</u> <u>(HUMEDA Y SECA)</u>	<u>RESISTENCIA AL CALOR</u> <u>(SECO)</u>	<u>RESISTENCIA AL CALOR</u> <u>(HUMEDO)</u>
NYLON	VIDRIO	VIDRIO
POLIPROPILENO	TEFLON	TEFLON
POLIESTER	NOMEX	NOMEX
NOMEX	POLIESTER	ACRILICAS
ACRILICAS	ACRILICAS	NYLON
VIDRIO	NYLON	POLIESTER
TEFLON	POLIPROPILENO	POLIPROPILENO

TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACION RECOMENDADA

VIDRIO	_____	260°C
TEFLON	_____	250°C
* NOMEX	_____	220°C
ACRILICAS	_____	140°C
* POLIESTER	_____	135°C
* NYLON	_____	120°C
POLIPROPILENO	_____	90 °C

\* Estas fibras están sujetas a sufrir degradación por hidrólisis ante la presencia de elevadas temperaturas combinadas con un alto porcentaje de humedad.

Es importante mencionar que las características presentadas de estas fibras están dadas considerando la naturaleza de cada una de ellas, características que -- pueden ser mejoradas a base de tratamientos térmicos y químicos. Como ejemplo de lo anterior, podemos citar las características naturales de la fibra de vidrio y la superación que se logra de éstas con un tratamiento a base de sílicón, grafito y teflón.

Considerando que en el mercado nacional -- existen 3 tipos de separadores de polvo que utilizan bol--

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

sas como medio filtrante y están identificados por su sistema de limpieza y conocidos como de baja relación y/o alta relación de filtrado, los fabricantes de telas para filtración han considerado y diseñado 2 tipos de construcción identificadas como:

Telas Tejidas

Telas Agujadas

Telas Tejidas. Son aquellas fabricadas mediante los procesos tradicionales de tejido y aplicables a los colectores de polvo con sistemas de sacudido mecánico y aire reverso.

Telas Agujadas. Son obtenidas a través de nuevas técnicas de fabricación que les imparten características especiales para aplicarse en colectores de polvo con sistemas de sacudido por pulsaciones y en algunos casos para aquellos con sistema mecánico.

Dentro de la gran variedad existente de diseños en telas tejidas, son tres los ligamentos básicos en donde se derivan la mayoría de las construcciones y éstas son:

Tejido Tafetán o Plano

Tejido Sarga

Tejido Raso o Satín

Tejido Tafetán o Plano. Es el más simple y sencillo de los ligamentos y debido a su construcción, ofrece una buena resistencia al trabajo mecánico, tiene buena compactación y excelente estabilidad, pero también debido a su construcción ofrece facilidad para obturarse y por lo consiguiente deficiencia en el desprendimiento del polvo.

Tejido Sarga. La característica principal de esta tela consiste en su ligamento en forma diagonal que

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

la coloca como la No. 1 para ser utilizada en filtración, ya que su peculiar construcción le permite ofrecer su excelente desprendimiento del polvo.

Otras características de importancia en esta tela, son su buena resistencia al trabajo mecánico, menor posibilidad de obturación que el tafetán y una excelente flexibilidad.

Tejido Raso o Satín. Este tipo de construcción es muy similar al de la Sarga con la diferencia de que el área de cobertura de los hilos de trama hacia los de urdimbre es mayor y no es forma continua sino alternada.

Como características principales ofrece una superficie bastante lisa de donde se deriva un excelente desprendimiento del polvo, pero debido a que la cantidad de hilos es mayor y son mas finos que la que se tiene en el Tafetán y la Sarga, esto se refleja en una baja resistencia al desgaste no siendo muy recomendable a utilizarla en equipos con sistemas de sacudido enérgico.

Estas telas son utilizadas en colectores de polvo diseñados para trabajar con unas relaciones aire/tela muy bajas que andan en el orden de 1.0/1 a 3.0/1 lo que implica instalaciones muy grandes cuando se trata de manejar volúmenes de gas elevados.

Telas Agujadas. El desarrollo de nuevos y eficientes sistemas de limpieza y la necesidad de manejar grandes volúmenes de gases en espacios reducidos, ha hecho que las telas agujadas tengan hoy en día un papel muy importante en el terreno de la filtración.

Este tipo de telas han sido diseñadas para trabajar eficientemente con una relación aire a tela muy alta debido a que tienen una superficie filtrante muy grande derivada de los miles de orificios que ofrece este diseño, permitiendo una mejor y mayor difusión del aire.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

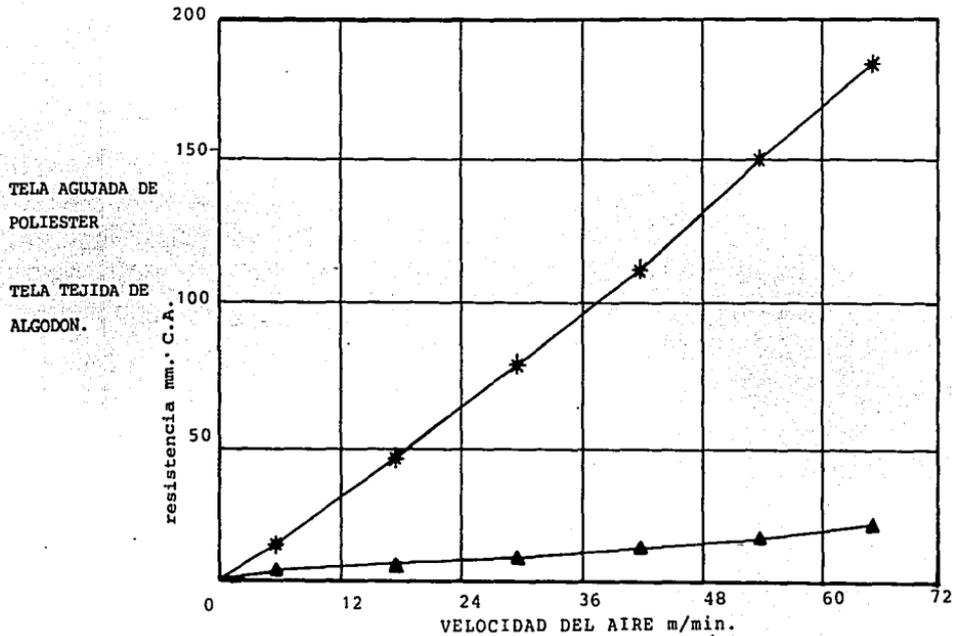
Las Telas Agujadas se obtienen por medio del entrelazamiento de fibras sueltas que son ancladas a un tejido base por medio de las agujas de un telar.

Este proceso es muy delicado y decisivo para lograr las especificaciones adecuadas de una tela, ya que intervienen controles como cantidad de penetraciones, tipo de aguja y el de avance del telar, cantidad de capas de velo y por supuesto características de la fibra.

Con el fin de mostrar en forma gráfica el comportamiento de las distintas construcciones, a continuación podemos apreciar las gráficas Nos. 1 y 2 que muestran respectivamente, curvas dadas por la velocidad del aire en pies/min. en relación a la caída de presión inicial y el efecto del tiempo de filtración sobre caída de presión final.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

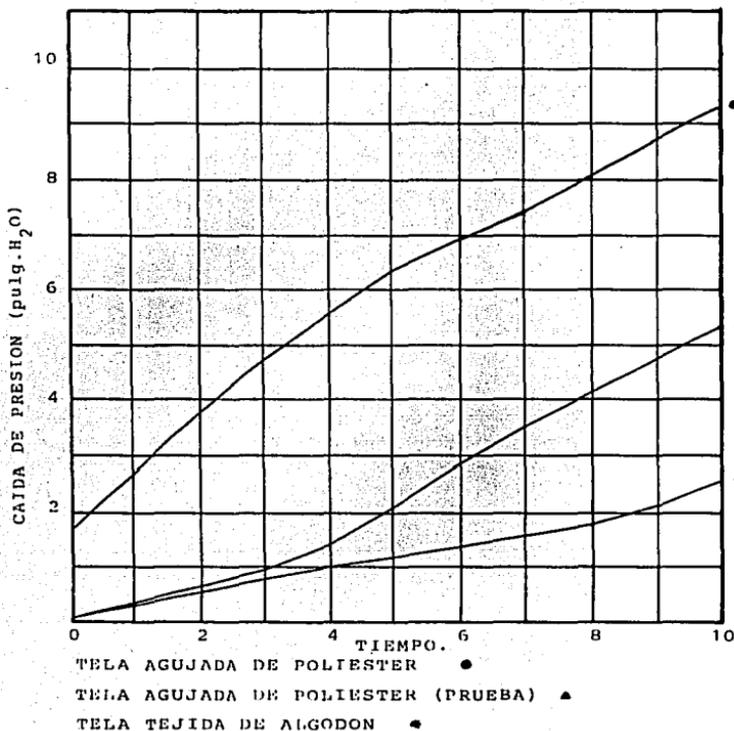
EFFECTO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE SOBRE  
CAIDA DE PRESION.



GRAFICA N<sup>o</sup> 1.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

EFFECTO DEL TIEMPO DE FILTRACION SOBRE  
CAIDA DE PRESION.



GRAFICA N° 2.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Como podemos ver, en la gráfica No. 1 la caída de presión en la tela tejida de algodón se incrementa considerablemente a mayor velocidad del aire, mientras que en la tela agujada de poliéster es mínimo el incremento en la caída de presión.

Esta gráfica está representada por una prueba que se hizo utilizando 2 telas con un peso similar y misma permeabilidad, aplicando flujo de aire limpio indicado.

En la gráfica No. 2 se muestra el efecto del tiempo de filtración sobre caída de presión, en la que se utilizaron 2 telas agujadas, siendo una de éstas elaborada bajo especificaciones controladas y la otra fabricada sin ningún control y que se puede determinar como una tela agujada comercial.

Así mismo, vemos la curva de una tela tejida de algodón y que también con este efecto presenta una mayor resistencia al flujo de aire, incrementando notablemente la caída de presión.

Esta gráfica resulta muy indicativa para apreciar la importancia que desempeña en el campo de filtración, la correcta fabricación de las telas filtro y que viene a confirmar lo que ya anteriormente se mencionó en relación a lo delicado e importante que resulta el proceso de agujado entre los demás.

La última fase dentro de la fabricación de las telas filtro, la cual es también de mucha importancia, corresponde a el acabado que se les pueda dar incluyendo una o varias operaciones que pueden ser mecánicas o químicas y que como ya se mencionó, tienen por objeto modificar para mejorar las características de una tela de acuerdo a las condiciones de operación a las cuales va a estar sujeta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los procesos de acabado usados en las telas filtro son:

LAVADO  
 TERMOFIJADO  
 CALANDRADO  
 CHAMUSCADO  
 PERCHADO  
 TRATAMIENTO QUIMICOS

Los efectos que generalmente se logran con este tipo de acabados son:

ESTABILIDAD DIMENSIONAL	PERMEABILIDAD CONTROLADA
CAPACIDAD DE RETENCION	FACILIDAD DE DESPRENDIMIENTO
REPELENCIA AL AGUA	RETARDANTE A LA FLAMA
ANTIESTATICOS	RESISTENCIA A LA ABRASION
RESISTENCIA A LOS ACIDOS	RESISTENCIA A LOS ALCALIS

#### II.4. SEPARADORES EN HUMEDO.

En este tipo de separadores el medio precipitante que se emplea es el agua finamente dividida en forma de turbulencia, cortina, proyección, goteo, neblina, etc. Para una mayor efectividad en el filtrado se le pueden agregar aditivos al agua con lo que se puede elevar su rendimiento. Los separadores en húmedo se pueden clasificar en 4 tipos:

CAMARAS DE LAVADO  
 SISTEMA VENTURI  
 SEPARADORES DINAMICOS  
 DESINTEGRADORES.

##### II.4.1. CAMARAS DE LAVADO.

Este tipo de separadores consiste en hacer pasar por una cámara la corriente de aire a través de una neblina de agua que empapa el aire y lo precipita, enseguida

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

se separa el aire del agua por diferentes tipos de separadores o filtros en donde se quedan depositadas las partículas de polvo. El principal problema de este tipo de separadores son las incrustaciones de la cal del agua empleada en las tuberías y boquillas, así como también el desarrollo del material que se precipitó en la tina de recuperación de agua.

#### II.4.2. SISTEMA VENTURI.

El sistema venturi es un sistema con un alto grado de eficiencia pero las pérdidas de carga son muy altas (400 mm. C.A. a 1200 mm. C.A.) por lo que se necesita un exhaustor muy grande y con un elevado gasto de energía.

El sistema consiste en hacer pasar el flujo del aire por una tubería en la cual se va disminuyendo el diámetro y en el punto mas estrecho es rociado por medio de espreas agua. Este choque tan brusco provoca que el aire se humedezca completamente y al volver a ensanchar la tubería se logre la condensación del agua en las partículas y después su precipitación la cual se completa por acción centrífuga. Este sistema está basado en la mezcla de aire con agua mediante el efecto de contracción y expansión del flujo del aire con alto grado de turbulencia.

La relación que se usa generalmente en los sistemas venturi es de 0.5 a 1.0 dm<sup>3</sup> de agua por cada m<sup>3</sup>/min de aire.

#### II.4.3. DESINTEGRADORES.

Estos sistemas consisten en desintegrar una masa de agua formando neblina, generalmente por medio de turbinas y hacer que el flujo del aire se mezcle con ésta produciendo una intensa turbulencia que facilita la mezcla mas o menos homogénea, al final el agua se separa por medio de acción centrífuga.

Su uso principal radica en la depuración de gases y polvo grueso.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### II.4.4. SEPARADORES DINAMICOS.

Estos separadores consiguen la precipitación del polvo poniendo en contacto la corriente de aire a depurar con agua en forma de ducha, proyección, burbujeo, neblina, etc. con lo que se logra la humectación del aire. Hay que mencionar que este tipo de separadores por su tipo de construcción se hace pasar el aire por un ciclón antes de humectarlo, con lo que se consigue el desprendimiento de partículas gruesas, al final se logra la separación del agua por medio de un separador centrífugo.

#### II.5. SEPARADORES ELECTROSTATICOS.

El principio de los separadores electrostáticos se basa en hacer pasar el flujo del aire con polvo en suspensión por un campo eléctrico de ionización en el cual las partículas sólidas son cargadas electrostáticamente por efectos de bombardeo y por difusión. Posteriormente las partículas son atraídas por las placas que actúan como colectores. Finalmente por medio de vibración o sacudido mecánico se logra el desprendimiento de las partículas de polvo que se hayan colectado.

Sus principales aplicaciones radican en las centrales térmicas para depurar los humos de combustión y en las plantas de cemento por su capacidad para manejar grandes volúmenes de aire.

Para emplear un separador electrostático es necesario tomar en cuenta las características y propiedades eléctricas del polvo que se va a manejar y en la mayoría de los casos en que se usa un separador electrostático es necesario el uso de una torre de acondicionamiento en donde el aire toma las características necesarias de humedad y temperatura para llevar a cabo la separación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CLASIFICACION DE LOS VENTILADORES.

Una de las características mediante las cuales se clasifican los ventiladores, es la de la naturaleza del flujo que pasa a través de las aspas del rotor o rodete. Por lo anterior, los rotores o impulsores pueden ser de flujo axial, flujo radial, flujo mixto y flujo transversal. Ciertos nombres de ventiladores se derivan de la anterior clasificación y otros nombres se obtienen de diversas características.

### III.1. VENTILADORES DE FLUJO AXIAL.

Los ventiladores de hélice o propulsores, los tubo-axiales y los veno-axiales, usan impulsores de flujo axial; siendo la forma de sus carcazas o envolventes la que los caracteriza. Los ventiladores de hélice o propulsores, pueden montarse dentro de un anillo o marco montaje, o panel. Los ventiladores tubo-axiales y los veno-axiales tienen carcaza o envolvente cilíndrica, lo que los diferencia es que el tipo veno-axial está equipado con aletas o venas guía estacionarias. La mayor parte de la energía transferida al aire por las máquinas de flujo axial es en forma de energía cinética, parte de esta energía se transforma en energía potencial por variación de la dirección de la turbulencia por medio de aletas o venas, o bien, por variación de la descarga, esto es por reducción de la velocidad de salida, lo cual se logra con un difusor o deflector. Los ventiladores veno-axiales pueden equiparse para producir una máxima transformación o para tener una alta transferencia potencial para alta presión, lo cual depende de la velocidad de la punta del rodete o impulsor y del ángulo de las aspas. Este tipo de ventiladores se usa generalmente para ventilación, únicamente pueden manejar volúmenes considerables de aire pero con muy baja resistencia.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### III.2. VENTILADORES CENTRIFUGOS.

Los ventiladores centrífugos y los tubulares centrífugos utilizan el rodete de flujo radial. - El ventilador centrífugo tiene una carcasa o envolvente en forma de una espiral o caracol, el flujo entra a la carcasa en forma axial y sale de ella en forma tangencial. El ventilador tubular centrífugo tiene una carcasa en forma de tubo, por lo cual el flujo entra y sale de la misma en forma axial. Una porción considerable de la energía que transfiere al aire una máquina de flujo radial es en forma de energía potencial, debido a la acción centrífuga; de aquí viene la denominación de ventilador centrífugo. La capacidad para desarrollar presión de un ventilador de flujo radial depende de las características de las aspas, como son su longitud o altura, - velocidad en la punta y ángulo. Los ventiladores centrífugos tienen varios tipos de aspas o alabes.

#### III.2.1. VENTILADORES CENTRIFUGOS CON ROTOR DE ASPAS MULTIPLES CURVADAS HACIA ADELANTE.

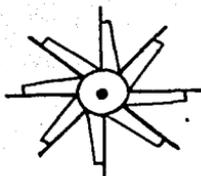
Las aspas curvadas hacia adelante tienen su curvatura leve, de tal forma que tanto la punta como el talón apuntan en el sentido de la rotación. Este tipo de ventiladores se usan para manejar aire unicamente no son recomendables para manejar aire que contenga humos y polvos, es un ventilador muy silencioso pero unicamente puede manejar bajos volúmenes y se tiene que usar a muy baja resistencia. Son de construcción compacta, por lo que se requiere de poco espacio para su instalación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### III.2.2. VENTILADORES CENTRIFUGOS CON ROTOR DE ASPAS RADIALES.

Este tipo de ventiladores se recomienda para el manejo de materiales, se usa para mover aire o gas conteniendo materiales como granulado seco, polvo de pulidores, transportando todo tipo de materiales como astillas, rebabas, aserrín y viruta. También en ventiladores con rotor de aspas radiales de diseño abierto se puede manejar aire o gases que contengan materiales abrasivos, pesados o adherentes. Este tipo de ventiladores pueden manejar grandes volúmenes de aire a presiones regulares o volúmenes regulares a altas presiones como los turboventiladores.

Las aspas radiales y las de punta radial, son radiales en la punta, pero la última está curvada del talón en tal forma que apunta en el sentido de la rotación. En las aspas curvadas hacia atrás, y en las inclinadas hacia atrás, la punta señala en el sentido opuesto al de la rotación y el talón apunta en el sentido de la rotación. Las aspas anteriores son de espesor uniforme y están diseñadas para flujo radial.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### III.2.3. VENTILADORES CENTRIFUGOS CON ROTOR DE ASPAS PLANAS INCLINADAS HACIA ATRAS.

En este tipo de ventiladores el rotor presenta las aspas inclinadas en dirección opuesta a la rotación del rotor. Este diseño únicamente para manejar aire y es de gran eficiencia con gases limpios o con una ligera concentración de polvo o materiales. Este tipo de rotor tiende a aglomerar o aglutinar el material por lo que solo es recomendable su uso con aire limpio. Es el tipo ideal de ventilador para tiro inducido de alta temperatura, es de gran eficiencia y no se sobrecarga, pudiendo manejar grandes volúmenes a regular resistencia.



### III.2.4. VENTILADORES CENTRIFUGOS CON ROTOR DE ASPAS AERODINAMICAS INCLINADAS HACIA ATRAS.

Las paletas de perfil aerodinámico tienen las líneas de su cuerda con curvatura hacia atrás; de tal forma que el borde de entrada del perfil aerodinámico está en el talón que apunta hacia adelante y el borde de salida en la punta señala hacia atrás con respecto a la rotación. El rodete para todas las formas de aspas está por lo general cubierto y puede ser de entrada sencilla o de entrada doble. El ancho del aspa está en correspondencia con la razón del diámetro de la entrada al diámetro de la punta del rodete. Los ángulos en la punta pueden variar ampliamente pero los ángulos en el talón serán tales, que minimicen las pér-

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

didadas en la entrada. A la carcasa en espiral se le puede montar una campana de entrada aerodinámica, un cono de entrada o simplemente un cuello o collar.

Los ventiladores con rotor de aspas aerodinámicas requieren de menor potencia que los demás diseños lo que conduce a la reducción del motor que opera al ventilador así como también un menor consumo de energía. En la actualidad es el ventilador mas eficiente que se fabrica. Su diseño permite que el flujo del aire sin turbulencias cubra completamente la superficie del aspa recibiendo mejor la energía que le transmite y sin efectuar ruido, no se sobrecarga al aumento de la resistencia del sistema y puede manejar grandes volúmenes a grandes resistencias.



### III.3. VENTILADORES CENTRIFUGOS DE FLUJO MIXTO.

Los rodetes de flujo mixto pueden usarse tanto con carcasas o envoltentes del tipo axial como del tipo espiral. Se caracterizan como de flujo mixto, debido a que en las aspas del rodete puede existir ya sea un flujo axial o uno radial. Los rodetes del flujo mixto usados en carcasas axiales tienen un mamelón o cubo similar al que poseen los rodetes del flujo axial neto, pero además la porción de entrada de las aspas se extiende so

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

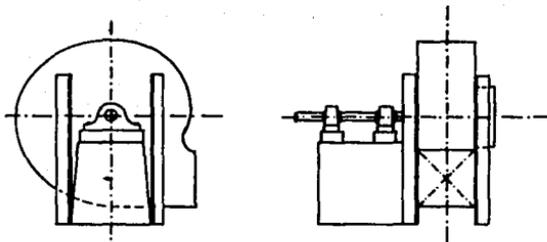
bre la cara del cubo, para obtener una guía radial. Los impulsores de flujo mixto que se utilizan en los ventiladores de carcasa en espiral tienen sus aspas en forma tal que producen una guía axial en la parte de entrada y una guía radial en la parte de descarga de las mismas.

#### III.4. VENTILADORES DE FLUJO TRANSVERSAL.

En un rodete de flujo transversal el aire pasa dos veces a través de las aspas, entrando a la punta del aspa mas o menos tangencialmente, pasa a través del rodete y sale por el extremo opuesto. Las carcasas para este tipo de rotor son diseñadas para obtener un flujo transversal. A este tipo de ventiladores tambien se les conoce como ventiladores tangenciales o como ventiladores de flujo cruzado. El potencial de presión que desarrolla este tipo de rotor es bajo y depende de que el aire forme un remolino cuando sale del mismo.

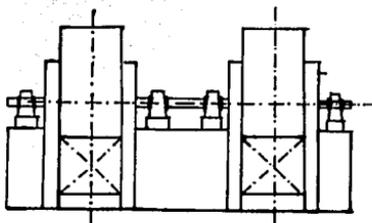
Cualquier tipo de ventilador tiene directa o indirectamente un arreglo de transmisión de fuerza, los diferentes tipos de arreglos de transmisión han sido clasificados por la AMCA de la siguiente forma:

ARREGLO 1. Significa un impulsor en voladizo sobre el eje del ventilador con dos cojinetes sobre una base.

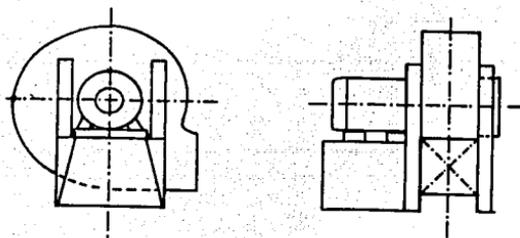


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

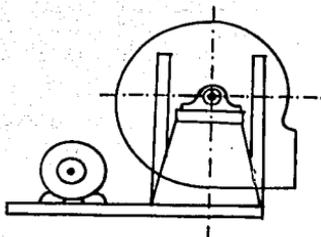
ARREGLO 3. Significa un impulsor sobre el eje del ventilador entre cojinetes para ventiladores de doble entrada.



ARREGLO 4. Es un impulsor en voladizo montado directamente sobre el eje del motor.

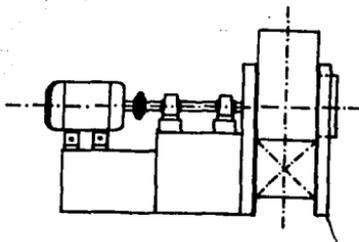


ARREGLO 7. Es el arreglo 3 con una base para el motor.

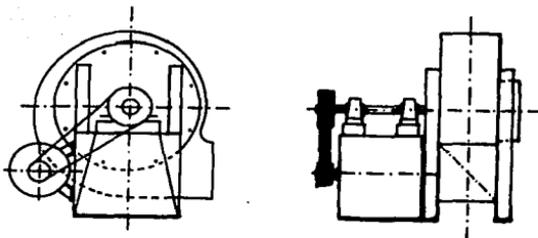


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ARREGLO 8. Es el arreglo 1 con una extensión de la base para el motor.



ARREGLO 9. Es el arreglo 1 con el motor montado a un lado dentro de la base.

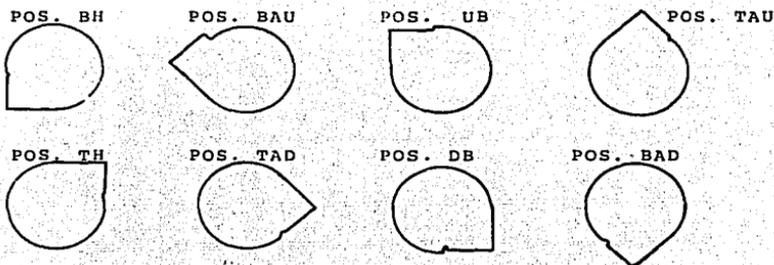


La rotación se especifica en sentido de las manecillas del reloj o bien, en sentido contrario, para esto se considera el eje de rotación visto desde el lado por el cual se efectúa la transmisión de potencia sin importar la succión y la descarga.

Los ventiladores pueden equiparse con transmisión de velocidad variable, compuertas de entrada de venas variables y de salida.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los ventiladores actualmente se fabrican en diferentes posiciones de descarga así como las ya anteriormente expuestas de rotación. Generalmente las descargas se encuentran localizadas con un ángulo de variación de  $45^\circ$ , aunque también se pueden colocar en posiciones diferentes se identifican de la siguiente manera.



### III.5. SELECCION DE VENTILADORES.

El método para seleccionar un ventilador adecuadamente es afectado por los siguientes factores que hay que tomar en cuenta.

1. Capacidad o volumen a manejar. Representa el gasto total que el ventilador tendrá que manejar durante la operación.
2. Resistencia o presión estática. Es la presión que tendrá que levantar el ventilador para poder manejar el volumen de aire requerido en todos los puntos de captación del sistema.
3. Tipo de aplicación.
4. Tipo de material a manejar. En este punto habrá que considerar el grado de concentración del material y

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- el tipo del mismo.
5. Limitaciones de espacio. Este punto va muy ligado con el aspecto económico.
  6. Nivel de ruido permitido. Este punto hay que considerarlo de acuerdo en donde se vaya a localizar el ventilador y las inconveniencias que pueda presentar el que desarrolle un nivel de ruido considerable.
  7. Temperatura de operación. Este punto es muy importante ya que el peso o densidad del aire varía con la temperatura y esto influye en la potencia que demanda el ventilador.
  8. Altura de operación sobre el nivel del mar. Al igual que en el punto anterior influye en la densidad del aire por lo que es importante tener este dato al seleccionar un ventilador.
  9. Eficiencia de operación.
  10. Tipo de acoplamiento del ventilador-motor. Este punto está muy ligado con las limitantes de espacio pero también se tiene que considerar para efectos de mantenimiento y de refacciones.

El mejor sistema para seleccionar un ventilador es mediante las curvas de operación que cuentan con un número infinito de rangos en las cuales, el punto de operación se encuentra uniendo las coordenadas de diseño y al mismo tiempo se puede leer la velocidad de giro y la potencia que demanda el ventilador. En algunas curvas inclusive se puede leer el nivel de ruido que produce el ventilador en ese punto de operación. En la actualidad la selección del tamaño y características de un ventilador se hace directamente de tablas publicadas por el fabricante, las cuales muestran un rango completo de capacidades y puntos de operación para un tipo de ventilador. En particular en estas tablas se puede apreciar fácilmente la velocidad de giro y potencia que se requiere para manejar cierto volumen de aire con una resistencia determinada.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Estas tablas generalmente están trazadas en función del manejo de aire normal a una temperatura de 21.1°C (70°F) y 760 mm. de mercurio de presión barométrica y una densidad del aire de 4.674 g/m<sup>3</sup>. Para cualquier condición de operación diferente a la normal establecida es necesario corregir la potencia, presión del ventilador y revisar los límites de la velocidad tangencial. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se tiene que definir el factor de corrección ya sea por temperatura o por altura de operación o por ambos. Generalmente en los manuales de selección de los fabricantes éstos proporcionan tablas con factores ya calculados. A falta de estos la manera de determinarlos es la siguiente:

$$\frac{X + 273}{21.1 + 273} = \text{FACTOR DE CORRECCION POR TEMP.}$$

Siendo X la temperatura del aire expresada en grados centígrados.

$$760 / Y = \text{FACTOR DE CORRECCION POR ALTITUD}$$

Siendo Y la presión expresada en milímetros de columna de mercurio.

FACTOR DE CORRECCION TOTAL = FACTOR DE CORRECCION  
POR TEMPERATURA MULTI  
PLICADO POR EL FACTOR  
DE CORRECCION POR AL-  
TITUD.

2. La resistencia que se había determinado para diseño se multiplica por el factor de corrección determinado.
3. Se selecciona el tamaño del ventilador en función del volumen determinado para diseño y de la nueva resistencia y obtenemos la potencia que demanda el ventilador y la velocidad de giro.
4. La potencia tiene que ser corregida dividiendola entre dicho factor y esa es la potencia real que demanda el ventilador.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

5. Habrá que revisar la velocidad de giro máximo permisible para las condiciones actuales de operación. Generalmente el fabricante proporciona una tabla donde se determina el porcentaje a aplicar a la curva de límite de seguridad en función de la temperatura.

Existen dentro de un mismo tamaño de ventilador diferentes tipos de construcción a los que se les denomina clases, las cuales pueden ser desde clase I hasta clase V. La construcción de un ventilador es lo que se denomina clase y ésta está dada en función de la velocidad tangencial máxima que el ventilador resista. Un ventilador debe operar con seguridad dentro del rango que establece su clase de construcción. Los límites de operación de cada clase están dados por:

Velocidad de descarga.

Resistencia o Presión estática.

Velocidad tangencial.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### IV. DESCRIPCION DE ENVASADORAS DE CEMENTO EN SACOS.

Para hacer esta breve descripción del funcionamiento y equipo que componen una envasadora de cemento partiremos del punto de tener ya el producto terminado almacenado en un silo.

Del silo de almacenamiento el cemento generalmente es transportado por deslizadores o fluidores, los cuales transportan el material por medio de aire y la fuerza de gravedad, hasta un elevador de cangilones, también son usados pero no usualmente transportadores helicoidales.

El elevador de cangilones tiene como función elevar el material hasta la parte mas alta del sistema para que a partir de este punto el material sea transportado de un equipo a otro por la acción de la fuerza de gravedad. El material es transportado del elevador de cangilones en una criba la cual tiene la función de separar y segregar el material que tenga el tamaño adecuado para el envase del material del que no lo sea, el cual se regresa al sistema para que con el manejo reduzca su tamaño y pueda ser envasado. La criba a su vez tiene la función de cernir el material para evitar su apelmazamiento durante el proceso. A continuación el material es transportado a la tolva de almacenamiento en donde es depositado y por medio de una válvula rotatoria se conduce a la tolva de alimentación la cual tiene que tener un volumen constante de material. De la tolva de alimentación sigue a continuación lo que es en si la envasadora pudiendo ser de 2 tipos:

Envasadora estática. En este tipo de envasadoras las boquillas que cargan a los sacos de cemento permanecen estáticas a excepción del único movimiento que tienen que es el de la báscula. En estas envasadoras el operario coloca el saco vacío en la boquilla de inyección y éste descansa en la parte inferior en la báscula la cual al determinar que el saco ya tiene el peso determinado desciende y corta la inyección de

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

cemento, el operario quita el saco y lo deposita en una banda transportadora que lleva los sacos a los camiones o carros de ferrocarril, según sea el caso.

Envasadora rotatoria. Este tipo de envasadoras a diferencia de las estáticas se encuentran localizadas formando un círculo el cual se encuentra girando. El saco en el transcurso de una circunferencia completa es llenado y depositado en la banda transportadora.

Ambos tipos de envasadoras ya vienen provistas de sus succiones para ventilación de la envasadora, la cual se realiza alrededor de las boquillas de inyección para recolectar el polvo que se pudiera generar al llenarse los sacos.

En el trayecto de la envasadora a su destino final los sacos se hacen pasar por equipos como:

Trampa de Sacos. La cual detecta y separa los sacos en malas condiciones.

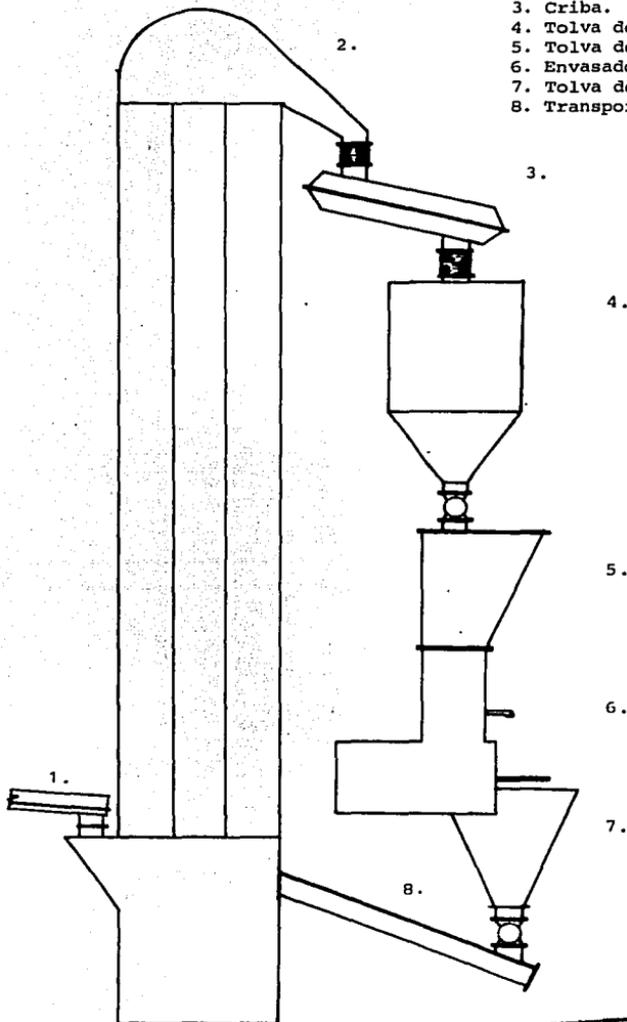
Trituradora de sacos. Los sacos en malas condiciones son triturados y el material es separado del desperdicio del saco y es recirculado nuevamente dentro del sistema para su aprovechamiento.

Limpiadora de sacos. Es un dispositivo que limpia los sacos del material o polvo que se les hubiera podido adherir.

El proceso y sistema de envase no termina en la envasadora ya que el material que se hubiera podido caer de algún saco roto o de mal funcionamiento de la envasadora es recolectado dentro de una tolva de recuperación la cual se encuentra en la parte inferior de la envasadora y ésta es desalojada por medio de transportadores helicoidales que transportan el material de nuevo al elevador de cangilones para su aprovechamiento total.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1. Deslizador o fluidor.
2. Elevador de cangilones.
3. Criba.
4. Tolva de almacenamiento.
5. Tolva de alimentación.
6. Envasadora de 4 boquillas.
7. Tolva de recuperación.
8. Transportador de retorno.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## V. ALCANCE Y DESARROLLO DEL PROYECTO.

Para poder tener los datos para desarrollar este proyecto, se efectuaron visitas a varias plantas envasadoras de cemento con el fin de ver los puntos que requieren control, siendo éstos los siguientes:

1. Deslizador o Fluidor de alimentación.
2. Elevador de cangilones.
3. Criba
4. Tolva de almacenamiento.
5. Tolva de alimentación.
6. Envasadora estática de 4 boquillas.
7. Tolva de recuperación.
8. Transportador helicoidal de retorno.

El sistema que se piensa diseñar consiste en el cálculo de volúmenes de aire adecuados para la captación, control y manejo de las emisiones de polvo que se producen con el manejo del material, así como también el control de polvos fugitivos y una adecuada ventilación a la zona de en vase.

Las ventajas adicionales que se obtienen con este sistema son:

1. Mejores condiciones de trabajo. En la actualidad la emisión de polvo que se presenta es considerable y como se expuso en la introducción de este trabajo puede causar serios daños en la salud de las personas. Al ser controladas dichas emisiones los riesgos disminuyen considerablemente.
2. Se reduce el mantenimiento considerablemente. Las emisiones de polvo producen acumulación de material en el equipo e instalaciones lo que afecta las partes móviles del equipo así como el rendimiento de las mismas.
3. El mayor aprovechamiento del material, ya que se recupera un alto porcentaje de material que antes eran pérdidas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4. Limpieza de la zona de envase. Al estar controlada las emisiones de polvo en dicha zona ésta presentará un aspecto más limpio, ya que en la actualidad se observan grandes acumulaciones de cemento en diversos lugares.

#### V.1. DESARROLLO DEL PROYECTO.

Para poder desarrollar este proyecto se tiene que identificar primero cuales son las necesidades reales que requieren ser controladas para así enfocar el estudio a las mismas, también se tendrán que tomar en cuenta las limitaciones que existan.

Como necesidades a satisfacer se pueden determinar las siguientes:

- Controlar las emisiones de polvo que se producen en la zona de envase durante el transporte de material.
- Proporcionar una ventilación adecuada en la zona de envase.
- Controlar y captar todas las emisiones de polvos fugitivos.

Como limitaciones únicamente encontramos de espacio para la localización del equipo y para el paso de la red de ductos, en la localización del equipo, habrá que considerar el peso del mismo una vez que se determine a fin de establecer si es necesario o no el reforzar la estructura del edificio.

Para poder definir los puntos de control fue necesario hacer una visita a la planta propuesta en donde se vieron y determinaron cuales son los puntos que presentan problemas que tienen que ser controlados. Los puntos fueron los siguientes:

1. Deslizador de alimentación.
2. Elevador de cangilones zona inferior.
3. Elevador de cangilones zona superior.
4. Criba
5. Tolva de almacenamiento.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

6. Tolva de alimentación.
7. Envasadora de 4 boquillas.
8. Ventilación superior zona de envase.
9. Tolva de recuperación.

La solución y desarrollo del sistema consiste en controlar las emisiones de polvo que se producen en estos puntos mediante la determinación de volúmenes de aire adecuados para el transporte del polvo, velocidad, forma de extracción, método de separación del polvo y aire y retorno del material al sistema para su reaprovechamiento.

Para desarrollar las posibles soluciones se tienen que tener en cuenta algunos principios como son:

- VELOCIDAD DE CAPTURA. Es la velocidad del aire en cualquier punto frente a la succión y debe de ser capaz de atraer cualquier corriente contaminada que pase por enfrente de ésta.
- VELOCIDAD DE TRANSPORTE. Es la velocidad mínima que se requiere para mover las partículas en la corriente del aire.
- VELOCIDAD EN EL DUCTO. Es la velocidad que presenta el aire en la sección transversal del mismo. Esta velocidad tiene que ser la misma o mayor que la velocidad de transporte para evitar que el material se deposite en los ductos.

Para un efectivo control de la emisión de polvos y minimizar el volumen de aire a manejar que representa a su vez un menor costo y requerimiento de potencia hay que eliminar las fuentes de aire en movimiento como pueden ser:

1. Corrientes de aire caliente, principalmente las que provienen de procesos a altas temperaturas.
2. Movimiento de maquinaria como bandas transportadoras.
3. Movimiento de material, en el cual se puede generar gran emisión de polvo.
4. Movimientos del personal y operarios.
5. Corrientes de aire dentro de la zona.
6. Equipos existentes de enfriamiento y ventilación.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Hay que tener en cuenta que la succión debe de encerrar lo mas posible la emisión de polvos, si esto no es posible, la succión deberá de estar localizada lo mas cerca posible de la fuente emisora y debemos de tratar de localizarla de manera tal que el operario quede fuera de la corriente del aire que se produzca.

## V.2. CALCULO DE LOS VOLUMENES DE EXTRACCION.

Existen manuales de ventilación industriales en la actualidad en los cuales se recomiendan volúmenes de extracción para los diferentes equipos y condiciones de operación de los puntos a controlar. Para el sistema actual consideraremos:

- Una concentración media de polvo por unidad de volumen igual a 35 gr/m<sup>3</sup>.
- Operación continua del equipo (24 horas diarias).
- Factor de polvosidad: es un factor que se utiliza al hacer el cálculo del volumen de extracción en cada punto. Este factor es asignado en función de las condiciones de trabajo y generación de polvo que presenta cada equipo.
- Temperatura del aire igual a 40°C (temperatura promedio de la zona).

### V.2.1. PUNTO N°1 DESLIZADOR O FLUIDOR DE ALIMENTACION.

- Condiciones de operación: se observó que presentaba una presión positiva que provoca emisiones de polvo por diferentes puntos pero no en exceso, por lo que se recomienda sellar perfectamente las bridas de unión y usar un factor de polvosidad del 120%.

- Dimensiones:

Ancho	0.35 m.
longitud	20.0 m.

Rango de ventilación recomendado: 430 m<sup>3</sup>/h-m<sup>2</sup>.

- DETERMINACION DEL VOLUMEN DE EXTRACCION.

Volumen de extracción = ancho x longitud x rango de ventilación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Volumen de extracción =  $0.35 \text{ m.} \times 20.0 \text{ m.} \times 430 \text{ m}^3/\text{h-m}^2$   
 =  $3010 \text{ m}^3/\text{h.}$

Aplicando el factor de polvosidad:

Volumen de Extracción total =  $3610 \text{ m}^3/\text{h.}$

#### V.2.2. PUNTOS N° 2 y 3 ELEVADOR DE CANGILONES.

- Condiciones de operación. Se observó que al ser cargado el elevador por el fluidor de alimentación, éste presentaba una ligera emisión de polvos en la zona inferior al igual que en la zona superior al ser transportado el material hacia la criba. Por la altura que presenta el elevador se recomiendan dos puntos de succión, uno localizado en la parte inferior y otro en la parte superior, se recomienda emplear un factor de polvosidad del 120%. Por la temperatura que presenta el material y las condiciones del aire se recomienda extraer el 60% del volumen total de extracción por el punto superior y el 40% restante por el punto inferior.

- Dimensiones. (sección transversal)

Largo 1.80 m.

Ancho 0.80 m.

Rango de ventilación  $1800 \text{ m}^3/\text{h-m}^2$

- DETERMINACION DEL VOLUMEN DE EXTRACCION.

Volumen de extracción =  $2 \times \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{rango de ventilación.}$

=  $2 \times 1.80 \text{ m.} \times 0.80 \text{ m.} \times 1800$

=  $5184 \text{ m}^3/\text{h.}$

Aplicando el factor de polvosidad:

Volumen de extracción total =  $6,220 \text{ m}^3/\text{h.}$

VOLUMEN DEL ELEVADOR ZONA INFERIOR =  $2,488 \text{ m}^3/\text{h}$

VOLUMEN DEL ELEVADOR ZONA SUPERIOR =  $3,732 \text{ m}^3/\text{h.}$

#### V.2.3. PUNTO N° 4 CRIBA

- Condiciones de operación. La criba por la función que tiene de separar y cernir el material genera una gran cantidad de polvo, su diseño es completamente hermético, sin

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

embargo cuenta con registros de inspección y su ensamble con los demás equipos debido al movimiento que desarrolla es por medio de juntas flexibles, por lo que se recomienda emplear un factor de polvosidad de 140% para prevenir posibles fugas de polvo al deteriorarse las juntas flexibles o no sellar bien los registros de inspección al mismo tiempo que se mantiene una presión negativa del mismo ayudando así al sellado de ésta.

- Dimensiones.

Ancho 0.70 m.

Largo 1.95 m.

Rango de ventilación 1080 m<sup>3</sup>/h-m<sup>2</sup>.

- DETERMINACION DEL VOLUMEN DE EXTRACCION.

Volumen de extracción = ancho x largo x rango de ventilación.

$$= 0.70 \text{ m} \times 1.95 \text{ m} \times 1080 \text{ m}^3/\text{h-m}^2$$

$$= 1,474 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Aplicando el factor de polvosidad:

Volumen de extracción total = 2,064 m<sup>3</sup>/h

V.2.4. PUNTOS N°5 y 6 TOLVAS DE ALMACENAMIENTO Y TOLVA DE ALIMENTACION.

- Condiciones de operación. Los volúmenes de extracción a considerar en estos puntos son mínimos debido a que se encuentran completamente cerrados y la cantidad de polvo que se genera no es considerable ya que se produce únicamente por la caída del material, el rango de ventilación que se recomienda para estos puntos es de 840 m<sup>3</sup>/h y esto es únicamente para mantener las tolvas con presión negativa y evitar que vayan a existir fugas por algún punto.

- VOLUMEN DE EXTRACCION = 840 m<sup>3</sup>/h.

V.2.5. PUNTO N° 7 ENVASADORA ESTATICA DE 4 BOQUILLAS.

- Condiciones de operación. El volumen de extracción que se debe considerar en estos puntos debe de ser afectado por un factor de polvosidad del orden del 125% debido a que

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- DETERMINACION DEL VOLUMEN DE EXTRACCION.

Volumen de extracción = Largo x ancho x velocidad en el punto de captura x rango de ventilación.

$$= 1.80 \times 0.075 \times 1,350 \times 0.5 \times 37$$

$$= 3,371 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Volumen de extracción total = 3,371 m<sup>3</sup>/h.

v.2.7. PUNTO N° 9 TOLVA DE RECUPERACION.

- Condiciones de operación. Adiferencia de las tolvas de almacenamiento y alimentación esta tolva presenta una área abierta que es por donde entra el material que cae de los sacos o de la envasadora. El cálculo del volumen de extracción está en función del área abierta que presenta, sin embargo no se observó gran emisión de polvo por lo que no se recomienda usar factor de polvosidad alguno.

- Dimensiones.

Área abierta.

Largo 1.90 m.

ancho 1.0 m

Rango de ventilación 1800 m<sup>3</sup>/h-m<sup>2</sup>.

- DETERMINACION DEL VOLUMEN DE EXTRACCION.

Volumen de extracción = área abierta x rango de ventilación

$$= 1.0 \times 1.90 \times 1,800$$

$$= 3,420 \text{ m}^3/\text{h.}$$

El volumen final de extracción será entonces:

1. Deslizador o Fluidor de alimentación	3,610 m <sup>3</sup> /h.
2. Elevador de cangilones zona inferior	2,490 m <sup>3</sup> /h.
3. Elevador de cangilones zona superior	3,730 m <sup>3</sup> /h.
4. Criba	2,060 m <sup>3</sup> /h.
5. Tolva de almacenamiento	840 m <sup>3</sup> /h.
6. Tolva de alimentación	840 m <sup>3</sup> /h.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

7. Envasadora de 4 boquillas.	8,400 m <sup>3</sup> /h.
8. Ventilación superior zona de envase	3,370 m <sup>3</sup> /h.
9. Tolva de recuperación.	3,420 m <sup>3</sup> /h.

Volumen total de extracción 28,760 m<sup>3</sup>/h.

Con el volumen de extracción total ya determinado el paso a seguir es la selección del método de separación de polvo.

Datos:

Polvo a manejar	Cemento
Concentración estimada	35 g/m <sup>3</sup> de aire
Temperatura de los gases	40°C
Altura de operación	0 m. S.N.M.
Volumen a manejar	479.3 m <sup>3</sup> /min.
Tipo de operación	24 hrs. diarias.

Según las características del material que se va a manejar y de las condiciones que se presentan son dos los tipos de separadores recomendables para este sistema:

1. Separador de mangas con sistema de limpieza por aire reverso.
2. Separador de mangas con sistema de limpieza por aire reverso y sacudido mecánico.

El equipo a seleccionar será de la marca Standard-Filterbau que cuenta con estos dos tipos de separadores. Para ambos separadores se considerará el mismo tipo de material filtrante para las mangas, las cuales deberán de ser de tela de fieltro poliéster que debido a las características del polvo a manejar y de la humedad del medio ambiente es la mas óptima para esta aplicación.

#### V.3.1. SELECCION DE SEPARADOR DE MANGAS CON SISTEMA DE LIMPIEZA POR AIRE REVERSO.

Para la selección de este separador emplearemos una relación aire/tela de 1.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-min. debido a que la concentración estimada es una concentración media

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

siendo la relación aire/tela recomendada para este tipo de separador de 1.0 a 2.0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-min.

- Cálculo del área del medio filtrante.

$$\begin{aligned} \text{Área de tela} &= \text{volumen total}/(\text{relación aire/tela}) \\ &= 479.3 / 1.5 \\ &= 319.5 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

El separador indicado es un colector mod. Msk 36-VII-3.5 que cuenta con un área de tela neta de 325 m<sup>2</sup>. y un área total de 350 m<sup>2</sup>. lo que nos da como resultado el siguiente:

Relación aire/tela neta =  $479.3/325 = 1.47$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-min.

Relación aire/tela bruta =  $479.3/350 = 1.36$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> min.

#### V.3.2. SELECCION DE SEPARADOR DE MANGAS CON SISTEMA DE LIMPIEZA POR AIRE REVERSO Y SACUDIDO MECANICO.

Al usar este tipo de separador en el cual es mas efectivo el sistema de limpieza, la relación aire/tela puede ser mayor que en el filtro de mangas con sistema de limpieza por aire reverso unicamente debido a que el sistema de limpieza es mas efectivo en éste lo que representa una menor área de tela y un separador de dimensiones mas pequeñas.

La relación que se debe emplear dadas las características del polvo y la concentración estimada deberá ser entre 2.0 y 2.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-min. por lo que se usará una relación aire/tela = 2.3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-min.

- Cálculo del área del medio filtrante.

$$\begin{aligned} \text{Área de tela} &= \text{volumen total}/(\text{relación aire/tela}) \\ &= 479.3 / 2.3 \\ &= 208.4 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

El separador indicado es un colector mos. vsk 32-V- 3.5 que cuenta con un área de tela neta de 212 m<sup>2</sup> y un área de tela bruta de 265 m<sup>2</sup>. lo que nos da como resultado el siguiente:

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Relación aire/tela neta =  $479,3/212 = 2.26 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-min.}$

Relación aire/tela bruta =  $479.3/265 = 1.8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-min.}$

Ahora debemos decidir cual de los dos separadores es el que debemos seleccionar para este sistema lo cual analizaremos considerando los factores mas importantes como:

- Factor económico. La construcción de ambos separadores es similar pero los mecanismos del sacudido mecánico hacen al separador del tipo VSK mas caro por los motovibradores. Hay que considerar también que los mismos no son de fabricación nacional.
- Efectividad. Los dos tipos de separadores son de alta eficiencia y para el tipo de polvo que estamos estudiando los dos sistemas de limpieza son recomendables, siendo mas efectivo el de aire reverso y sacudido mecánico.
- Espacio. El colector del tipo MSK es 2.40 m. mas largo que el del tipo VSK, en altura y ancho es similar. Sin embargo el separador VSK necesita áreas destinadas para mantenimiento a un lado y en la parte superior del mismo en tanto que el tipo MSK unicamente necesita un área de mantenimiento por la parte superior.
- Mantenimiento. Sobre este punto es muy importante profundizar ya que en el futuro el funcionamiento del equipo dependerá de éste, para lo cual tenemos que analizar las partes móviles de cada equipo y el mantenimiento que requieren:

#### PARTES MOVILES DE LOS EQUIPOS

SEPARADOR TIPO MSK 36-VII-3.5		SEPARADOR VSK 32-V-3.5	
14	compuertas accionadas por pistón neumático y válvulas solenoides	10	
0	motovibradores (importación)	5	
1	turboventilador de limpieza	0	
1	transportador helicoidal	1	
288	cantidad de bolsas	160	
325 m <sup>2</sup>	área neta de tela	212 m <sup>2</sup>	

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

En general el mantenimiento del filtro es similar, la diferencia radica en las ventajas que ofrece el separador tipo MSK para la revisión, inspección y cambio de bolsas ya que ésta se efectúa por la parte superior sin necesidad de introducirse a la cámara de bolsas y fácilmente se detectan las bolsas que pueden estar averiadas. La revisión puede ser hecha incluso con el separador funcionando, a diferencia en el VSK la inspección es lateral y hay que meterse a la cámara de mangas para hacer la revisión. Esta no se puede llevar a cabo si el separador se encuentra funcionando. Es importante hacer notar que las bolsas que ya han estado trabajando se les adhiere cierta cantidad de polvo por lo que es muy molesto efectuar la revisión estando en contacto con las mangas. Un factor muy importante es que el separador tipo VSK utiliza para su sistema de limpieza 5 motovibradores los cuales no son de manufactura nacional y que no es posible algunas veces conseguirlos en el mercado nacional.

El separador mas recomendado para esta aplicación es el separador en seco de mangas con sistema de limpieza por aire reverso del tipo MSK36-VII-3.5 del cual hay que hacer mención que el volumen y dimensiones se encuentran dentro de las limitantes de espacio que existen.

Ahora el siguiente paso es la selección de los accesorios del separador que no son equipo tipo sino que varían de acuerdo a la aplicación y uso.

1. Sistema de limpieza. El aire que será suministrado al separador para llevar a cabo la limpieza de las mangas será suministrado por un turboventilador y los requerimientos son los siguientes:

- Volumen. La relación adecuada para efectuar la limpieza en este separador y al polvo a manejar debe de ser de  $2.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-min.}$  aplicada unicamente al área que se encuentre limpiando o sea a la diferencia existente entre el área de tela bruta y el área de tela neta,

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

considerando que la diferencia entre la velocidad de limpieza con respecto a la velocidad de filtración nos dará una limpieza efectiva de las mangas.

Area bruta de tela = 350 m<sup>2</sup>.

Area neta de tela = 325m<sup>2</sup>.

Diferencia = 25 m<sup>2</sup>.

Volumen de aire de limpieza = 25 x 2.5

= 62.5 m<sup>3</sup>/min.

= 3750 m<sup>3</sup>/h.

- Presión del aire de limpieza. La presión de operación recomendada para el aire de limpieza de manera que éste sea efectivo y que a la vez no perjudique a las mangas es de 0.03 Kg/cm<sup>2</sup>, la cual es suficiente para provocar el desprendimiento de las partículas que pudieran haberse adherido a las mangas.

2. Sistema de descarga. Para desalojar el polvo que se haya separado del aire y que cae depositandose en una tolva que el separador tiene localizada en su parte inferior es necesario colocar un transportador helicoidal que desaloje el material para evitar que se llene ésta, es necesario que la descarga permanezca hermética para evitar el retorno de material lo cual se logra mediante una exclusiva de tipo rotatorio la cual permite el desalojo del material y a la vez mantiene la descarga hermética para evitar el paso del aire con el consiguiente retorno de material.

El transportador y la exclusiva tienen que ser seleccionados con un volumen mayor al estimado para mantener la tolva del separador siempre vacía.

- Cálculo del transportador helicoidal.

Volumen a manejar = concentración estimada x volumen de aire

= 35 gr/m<sup>3</sup> x 28,760 m<sup>3</sup>/h.

= 1,006 Kg/h

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Considerando que el cemento tiene una densidad de 1,300 Kg/m<sup>3</sup> el volumen es igual a:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= 1,006 / 1,300 \\ &= 0.775 \text{ m}^3/\text{h}. \end{aligned}$$

Consideraremos un factor del 500% para mantener la tolva vacía y en caso de emergencia obtener un vacío rápido de la misma.

Volumen para cálculo = 3.875 m<sup>3</sup>/h.

Selección según tablas:

Transportador helicoidal de 225 mm  $\phi$  y paso girando a 25 rpm. Dado el tipo de operación que será continua y el material que se maneja, es recomendable usar un espiral de lámina de 6.25 mm de espesor y flechas de mano y cola de 51 mm  $\phi$ . El transportador tendrá una longitud de 5.60 m por lo que dado que en México los transportadores se fabrican únicamente en tramos de 3 m se recomienda el uso de un colgante al centro fabricado en bronce autolubricado.

-Potencia del transportador. Para calcular la potencia que demanda el transportador usaremos las siguientes fórmulas:

$$H = (L (DS + QF)) / 185,310$$

$$HP = H \times P$$

donde:

L = longitud total en metros

D = factor para diámetro del transportador y tipo de rodamiento (según tablas)

S = velocidad de giro en rpm.

Q = cantidad o gasto de material a manejar expresado en Kg/h.

F = factor del material según tablas.

Si H = 1      P = 2

1 H = 2      P = 1.5

2 H = 4      P = 1.25

4 H = 5      P = 1.1

5 H = .      P = 1

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Entonces:

$$L = 5.60 \text{ m}$$

$$D = 130$$

$$S = 25 \text{ rpm}$$

$$Q = 5,037 \text{ ton/h.}$$

$$F = 0.8$$

$$H = (5.6 (130 \times 25 + 5,037 \times 0.8)) / 185,310$$

$$= 0.22$$

$$HP = 0.22 \times 2 = 0.44 \text{ Hp}$$

$$\text{Potencia requerida} = .44 \text{ HP.}$$

- Cálculo de la exclusiva. La exclusiva deberá de seleccionarse con una capacidad un poco mayor a la del transportador para evitar atascamiento del material.

Ahora el paso siguiente será la selección del ventilador de extracción.

#### V.4. SELECCION DEL VENTILADOR DE EXTRACCION.

Para poder llevar a cabo esta selección necesitamos hacer un arreglo de como sería la red de ductos de extracción para poder calcular un estimado de la resistencia que presentaría el sistema al paso del aire. Para hacer este arreglo tenemos que determinar las velocidades de transporte como de captación para así poder calcular las áreas necesarias y determinar los diámetros de los ductos de transporte para lo que nos valdremos de la fórmula ya vista con anterioridad en el capítulo número II

$$V = Q/A$$

El sistema de ductos deberá de diseñarse para mantener una velocidad en los ductos de transporte de aproximadamente 20 m/seg., con el objeto de evitar asentamientos de polvo que tapen total o parcialmente el flujo del aire. La velocidad de captación deberá de ser de aprox. 5 m/seg para que la extracción sea unicamente del polvo que se produce y no de todo el material.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Deberá de tenerse en cuenta para el diseño final en el que se determine el tipo de construcción, lo abrasivo del polvo y las presiones de trabajo para lo cual los calibres de lámina recomendados serán en ductos:

hasta de 178 mm $\emptyset$	calibre# 14
de 179 mm a 432 mm $\emptyset$	calibre# 12
de 433 mm a 762 mm $\emptyset$	calibre# 10
de 762 mm a 1,016 mm $\emptyset$	calibre de 5 mm.

Habrá que tomar también en cuenta en el diseño final el facilitar el manejo y el montaje de la ductería en virtud de que por lo general en una planta de este tipo no se prevén paros continuos y el montaje del sistema tendrá que ser rápido.

Es recomendable y necesario el colocar en cada succión válvulas de control manual para la regulación del flujo, se recomiendan en este caso las de tipo mariposa ya que dado lo abrasivo y la velocidad a la que se está manejando el flujo de aire es la que presenta menor resistencia y evita menos turbulencias del aire y no se desgastan tan fácilmente como las de otros tipos.

Habrá que evitar el exceso de cambios de dirección en la trayectoria de los ductos, donde sea necesario un cambio de dirección deberá de colocarse un codo formado por varios gajos y con un radio mínimo de dos veces el diámetro del ducto, ya que presentan menor resistencia al paso del aire en cuanto mayor sea el radio, se ha observado en sistemas similares que en cambios bruscos de dirección dado lo abrasivo y la velocidad a la que es transportado el polvo, que éste ha provocado el desgaste por completo de las paredes de los ductos. También es necesario colocar registros de inspección en los ductos para que sea fácil su revisión y el desatascamiento del material acumulado en su caso.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### V.4.1. CALCULO DE AREAS Y DIAMETRO DE LA DUCTERIA DE EXTRACCIÓN.

##### 1. Fluidor o deslizador de alimentación.

Volumen de aire = 3610 m<sup>3</sup>/h.

Area de transporte máxima =  $3,610 / (3,600 \times 20) = 0.05 \text{ m}^2$

Area de captación =  $3,610 / (3,600 \times 5) = 0.20 \text{ m}^2$ .

Diámetro del ducto de transporte =  $2\sqrt{0.05/\pi} = 0.25 \text{ m}$

Velocidad del aire en el ducto = 20.4 m/seg.

##### 2. Elevador de cangilones zona inferior.

Volumen de aire = 2,490 m<sup>3</sup>/h.

Area de transporte máxima =  $2,490 / (3,600 \times 20) = 0.035 \text{ m}^2$

Area de captación =  $2,490 / (3,600 \times 5) = 0.138 \text{ m}^2$ .

Diámetro del ducto de transporte =  $2\sqrt{0.035/\pi} = 0.21 \text{ m}$

Velocidad del aire en el ducto = 20.0 m/seg.

##### 3. Elevador de cangilones zona superior.

Volumen de aire = 3,730 m<sup>3</sup>/h

Area de transporte máxima =  $3,730 / (3,600 \times 20) = 0.05 \text{ m}^2$

Area de captación =  $3,730 / (3,600 \times 5) = 0.20 \text{ m}^2$

Diámetro del ducto de transporte =  $2\sqrt{0.05/\pi} = 0.25 \text{ m}$

Velocidad del aire en el ducto = 21.1 m/seg.

##### 4. Criba

Volumen de aire = 2060 m<sup>3</sup>/h

Area de transporte máxima =  $2,060 / (3,600 \times 20) = 0.028 \text{ m}^2$

Area de captación =  $2,060 / (3,600 \times 5) = 0.114 \text{ m}^2$ .

Diámetro del ducto de transporte =  $2\sqrt{0.028/\pi} = 0.190 \text{ m}$ .

Velocidad del aire en el ducto = 20.2 m/seg.

##### 5. Tolva de almacenamiento y Tolva de alimentación.

Volumen de aire = 840 m<sup>3</sup>/h

Area de transporte máxima =  $840 / (3,600 \times 20) = 0.012 \text{ m}^2$

Area de captación =  $840 / (3,600 \times 5) = 0.047 \text{ m}^2$ .

Diámetro del ducto de transporte =  $2\sqrt{0.012/\pi} = 0.125 \text{ m}$

Velocidad del aire en el ducto. = 19.0 m/seg.

##### 6. Envasadora de 4 boquillas

Volumen de aire = 8,400 m<sup>3</sup>/h

Area de transporte máxima =  $8,400 / (3,600 \times 20) = 0.117 \text{ m}^2$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Diámetro del ducto de transporte =  $2\sqrt{0.117/\pi} = 0.385$  m.

Velocidad del aire en el ducto = 20.0 m/seg.

No se considera el cálculo de área de captación porque la envasadora cuenta con dos tomas posteriores de 0.25 m de diámetro cada una que es por donde se deberá de llevar a cabo la extracción. Los ductos deberán de unirse para manejar uno solo.

7. Ventilación superior zona de envase.

Volumen de aire = 3,370 m<sup>3</sup>/h.

Área de transporte máxima =  $3,370/(3,600 \times 20) = 0.047$  m<sup>2</sup>

Área de captación = se determinó al hacer el cálculo del volumen de aire de extracción.

Diámetro del ducto de transporte =  $2\sqrt{0.047/\pi} = 0.25$  m

Velocidad del aire en el ducto = 19.0 m/seg

8. Tolva de recuperación

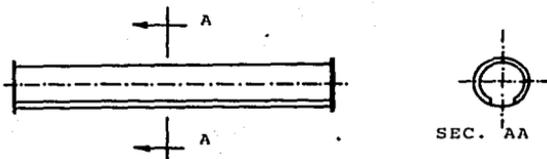
Volumen de aire = 3,420 m<sup>3</sup>/h

Área de transporte máxima =  $3,420/(3,600 \times 20) = 0.05$  m<sup>2</sup>

Diámetro del ducto de transporte =  $2\sqrt{0.05/\pi} = 0.25$  m

Velocidad de captación = 10 m/seg

Área de captación = La campana de succión que se usa en las tolvas de recuperación es similar a la de la zona de envase la cual se coloca dentro de la misma tolva y consiste en un tubo con una ranura la cual se orienta hacia abajo como se puede apreciar en la siguiente figura.



Área de captación =  $3,420/(3,600 \times 10) = 0.095$  m<sup>2</sup>

La ranura de la campana tendrá las siguientes dimensiones:

largo = 1.80 m, ancho 0.053 m.

TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN

Con los datos anteriores ya obtenidos es posible diseñar la red de ductos de extracción aproximada a la definitiva, la cual nos servirá de base para poder hacer el cálculo de la resistencia que presentará el sistema al paso del aire.

Para poder efectuar este cálculo tenemos que basarnos en las siguientes tablas:

- Tablas de resistencias equivalentes de ducto curvo (codos) en ducto recto. En esta tabla se puede leer la resistencia equivalente que presenta un tramo de ducto curvo dadas sus características como radio de doblez y grados de curvatura en longitud de ducto recto. (Tabla n°2.)
- Tablas de resistencias equivalentes de transiciones en ducto recto. En esta tabla al igual que en la anterior se puede leer la resistencia equivalente que presenta un tramo de ducto recto en sustitución de una transición dadas sus características de diámetro y ángulo de intersección. (Tabla N°3.)
- Carta de resistencia de ductos. Esta tabla sirve para poder determinar la resistencia que presenta un ducto recto dadas sus características como: Volumen de aire que maneja diámetro del ducto y velocidad del aire. Como se puede observar estas tres características están relacionadas entre sí por la fórmula ya vista con anterioridad  $V = Q/A$ . Por lo que conociendo dos de ellas es posible determinar la tercera con la ayuda de la tabla al igual que se determina la resistencia. (Tabla N°1).

El arreglo de la red de ductos se puede ver en la figura N° 5 y los volúmenes que se determinan en base a este arreglo son los expresados en la tabla N°4.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TABLA N° 2

TABLAS DE RESISTENCIAS EQUIVALENTES DE DUCTO CURVO (CODOS)  
EN DUCTO RECTO.

DIAMETRO DEL DUCTO mm.	RADIO A LA LINEA DE CENTRO CODOS DE 90° *		
	1.5 m	2.0 m	2.5 m
75	1.50	0.90	0.90
100	1.80	1.20	1.20
125	2.75	1.80	1.50
150	3.65	2.10	1.80
175	3.95	2.75	2.10
200	4.57	3.05	2.45
225	5.35	3.65	2.90
250	6.10	4.25	3.35
300	7.62	5.18	4.25
350	9.15	6.40	5.20
400	11.00	7.30	6.10
450	12.50	8.50	7.00
500	14.00	9.75	7.90
600	17.40	12.20	9.75
760	22.50	15.55	12.50
910	28.35	19.50	15.85
1000	32.00	21.95	18.00
1220	39.60	27.15	22.25

\* Para codos de 60° = 0.67 x resistencia de 90°  
 Para codos de 45° = 0.50 x resistencia de 90°  
 Para codos de 30° = 0.33 x resistencia de 90°

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TABLA N° 3

TABLAS DE RESISTENCIAS EQUIVALENTES DE TRANSICIONES  
EN DUCTO RECTO.

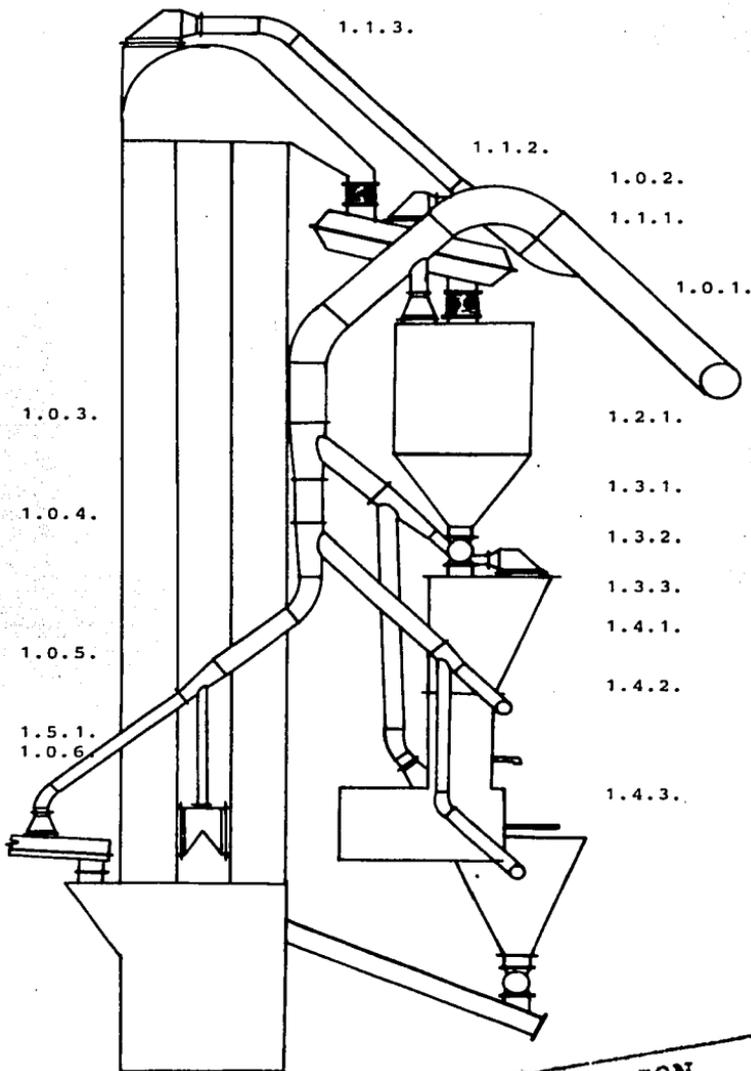
DIAMETRO DEL DUCTO mm	ANGULO DE INTERSECCION	
	30° m	45° m
75	0.60	0.90
100	0.90	1.50
125	1.20	1.80
150	1.50	2.10
175	1.80	2.70
200	2.10	3.30
225	2.40	3.80
250	2.70	4.25
300	3.35	5.15
350	3.95	6.40
400	4.85	7.60
450	5.45	8.50
500	6.10	9.75
600	7.30	11.55
760	9.10	14.90
910	11.25	18.00
1000	12.80	19.80
1220	15.20	24.00

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

VOLUMENES DE AIRE, VELOCIDADES Y DIAMETRO DE LOS DUCTOS DEL SISTEMA DE COLECCION DE POLVO.

PUNTO	DESCRIPCION	VOLUMEN	VELOCIDAD	DIAMETRO
1.0.1.	Volumen de extracción total	28,760	20.2	710
1.0.2.	1.0.3. + 1.2.1.	22,970	21.1	620
1.0.3.	1.0.4. + 1.3.1	22,130	20.4	620
1.0.4.	1.0.5. + 1.4.1	12,890	20.6	470
1.0.5.	1.0.6. + 1.5.1	6,100	21.0	320
1.0.6.	Deslizador de alimentación	3,610	20.4	250
1.2.1.	Tolva de almacenamiento	840	19.0	125
1.3.1.	1.3.2. + 1.3.3.	9,240	20.4	400
1.3.2.	Tolva de alimentación	840	19.0	125
1.3.3.	Envasadora de 4 boquillas	8,400	20.0	385
1.4.1.	1.4.2. + 1.4.3.	6,790	20.8	340
1.4.2.	Ventilación zona superior de envase	3,370	19.0	250
1.4.3.	Tolva de recuperación	3,420	19.4	250
1.5.1.	Elevador de cangilones zona inferior	2,490	20.0	210
1.1.1.	1.1.2. + 1.1.3.	5,790	20.0	320
1.1.2.	Criba	2,060	20.2	190
1.1.3.	Elevador de cangilones zona superior	3,730	21.0	250
2.0.0.	Volumen total (extracción y limpieza).	32,510	15.9	850.
		m3/h	m/seg.	mm.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## V.5.1. CALCULO DE LA RESISTENCIA DEL SISTEMA.

## DUCTO 1.0.1.

Diámetro 710 mm.  
 Volumen 28,760 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 20.2 m/seg.  
 Resistencia por 100 m = 50 mm.C.A.  
 Longitud recta 1 m.  
 Número de codos 1; radio = 1.5  $\phi$   
 Longitud equivalente 20.91 m  
 Longitud total 21.91 m  
 Resistencia total 10.96 mm C.A.

## DUCTO 1.0.2,

Diámetro 620 mm  
 Volumen 22,970 m<sup>3</sup>/h  
 Velocidad 21.1 m/seg  
 Resistencia por 100m = 62 mm C.A.  
 Longitud recta 0 m  
 Número de codos 1; radio = 1.5  $\phi$   
 Longitud equivalente 18.04 m  
 Longitud total 18.04  
 Resistencia total 11.18 mm C.A.

## DUCTO 1.0.3.

Diámetro 620 mm  
 Volumen 22,130 m<sup>3</sup>/h  
 Velocidad 20.4 m/seg  
 Resistencia por 100m = 58 mm C.A.  
 Longitud recta 4.5 m.  
 Número de codos 0.5; radio = 2.0  $\phi$   
 Longitud equivalente 10.10 m.  
 Longitud total 14.60 m.  
 Resistencia total 8.47 mm- C.A.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## DUCTO 1.0.4.

Diámetro 470 mm.  
 Volumen 12,890 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 20.60 m/seg.  
 Resistencia por 100 m. = 86 mm.C.A.  
 Longitud recta 2 m.  
 Número de codos 0  
 Longitud equivalente 0  
 Longitud total 2.0 m.  
 Resistencia total 1.72 mm. C.A.

## DUCTO 1.0.5.

Diámetro 320 mm.  
 Volumen 6,100 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 21.0 m/seg.  
 Resistencia por 100 m. = 140 mm. C.A.  
 Longitud recta = 5.0 m.  
 Número de codos 0.5; radio = 2.0  $\emptyset$   
 Transiciones 0  
 Longitud equivalente 2.84 m.  
 Longitud total 7.84 m.  
 Resistencia total 10.98 mm. C.A.

## DUCTO 1.0.6.

Diámetro 250 mm.  
 Volumen 3,610 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 20.4 m/seg.  
 Resistencia por 100 m. = 193 mm. C.A.  
 Longitud recta 4.5 m.  
 Número de codos 1.5; radio = 2.0  $\emptyset$   
 Pérdida por orificio =  $VP \times 0.25$   
 Succión campana = VP  
 Velocidad de presión = 25.54  
 Longitud equivalente = 6.38 m.  
 Longitud total = 10.88 m.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Resistencia de ducto 21.00 mm. C.A.  
 Resistencia por succión = 31.92 mm.C.A.  
 Resistencia total = 52.93 mm. C.A.

DUCTO 1.1.1.

Diámetro 320 mm.  
 Volumen 5,790 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 20.0 m/seg.  
 Resistencia por 100 m = 130 mm. C.A.  
 Longitud recta 2.0 m.  
 Número de codos 0.33; radio = 2.0  $\phi$   
 Longitud equivalente 7.54 m.  
 Longitud total 9.54 m.  
 Resistencia total 9.80 mm. C.A.

DUCTO 1.1.2.

Diámetro 190 mm.  
 Volumen 2,060 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 20.20 m/seg.  
 Resistencia por 100 m. = 240 mm.C.A.  
 Longitud recta 1.0 m.  
 Número de codos 0.66; radio = 2.0  $\phi$   
 Pérdida por orificio =  $VP \times 0.25$   
 Pérdida por succión campana =  $VP$   
 Velocidad de presión. 25.04  
 Longitud equivalente 5.01 m.  
 Longitud total 6.01 m.  
 Resistencia del ducto 14.42 mm.C.A.  
 Resistencia por succión 31.30 mm. C.A.  
 Resistencia total 45.72 mm. C.A.

DUCTO 1.1.3.

Diámetro 250 mm.  
 Volumen 3,730 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 21.0 m/seg.  
 Resistencia por 100 m. = 160 mm. C.A.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Longitud recta 5.20 m.  
 Número de codos 1.0; radio = 2.0  $\phi$   
 Pérdida por orificio = VP x 0.25  
 Pérdida por succión campana = VP  
 Velocidad de presión 27.06  
 Longitud equivalente 4.25 m.  
 Longitud total 9.45 m.  
 Resistencia del ducto 18.33 mm.C.A.  
 Resistencia por succión 33.83 mm.C.A.  
 Resistencia total 52.16 mm.C.A.

## DUCTO 1.2.1.

Diámetro 125 mm.  
 Volumen 840 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 19.0 m/seg.  
 Resistencia por 100 m = 340 mm. C.A.  
 Longitud recta 3.0 m.  
 Número de codos 0.2; radio = 2.0  $\phi$   
 Número de transiciones 1; ángulo 30°  
 Pérdida por orificio = VP x 0.25  
 Pérdida por succión campana = VP  
 Velocidad de presión 22.15  
 Longitud equivalente 1.56 m.  
 Longitud total 4.56 m.  
 Resistencia del ducto 15.50 mm. C.A.  
 Resistencia por succión 27.69 mm. C.A.  
 Resistencia total 43.19 mm. C.A.

## DUCTO 1.3.1.

Diámetro 400 mm.  
 Volumen 9,240 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 20.40 m/seg.  
 Resistencia por 100 m = 104 mm C.A.  
 Número de transiciones 1; ángulo 45 °  
 Longitud recta 2.0 m.  
 Longitud equivalente 7.60 m.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Longitud total = 9.60 m.  
Resistencia total 9.98 mm. C.A.

DUCTO 1.3.2.

Diámetro 125 mm.  
Volumen 840 m<sup>3</sup>/h.  
Velocidad 19.0 m/seg.  
Resistencia por 100 m = 340 mm. C.A.  
Longitud recta 1.5 m.  
Número de codos 0  
Número de transiciones 1.0; ángulo = 45°  
Longitud equivalente 1.80 m.  
Longitud total 3.30 m.  
Pérdida por orificio =  $VP \times 0.25$   
Pérdida por succión =  $VP$   
Velocidad de presión = 22.15  
Resistencia del ducto = 11.22 mm.C.A.  
Resistencia por succión 27.69 mm. C.A.  
Resistencia total = 38.91 mm.C.A.

DUCTO 1.3.3.1

Diámetro 385 mm.  
Volumen 8,400 m<sup>3</sup>/h.  
Velocidad 20.0 m/seg.  
Resistencia por 100 m = 105 mm.C.A.  
Longitud recta 2.5 m.  
Número de codos 2.0; radio = 2.0  $\varnothing$   
Longitud equivalente 14.06 m.  
Longitud total 16.56 m.  
Resistencia total 17.39 mm. C.A.

DUCTO 1.3.3.2.

Diámetro 250 mm.  
Volumen 4,200 m<sup>3</sup>/h.  
Velocidad 23.80 m/seg.  
Resistencia por 100 m = 242 mm.C.A.  
Longitud recta 0.75 m.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Número de codos 0.5; radio = 2  $\emptyset$   
 Transiciones 1; ángulo de intersección 45 °  
 Longitud equivalente 6.38 m.  
 Pérdida por orificio = VP x 0.25  
 Pérdida por succión campana = velocidad de presión.  
 Velocidad de presión = 34.76  
 Longitud total 7.13 m.  
 Resistencia del ducto 17.3 mm.C.A.  
 Resistencia por succión 43.45mm.C.A.  
 Resistencia total 60.75mm.C.A.

## DUCTO 1.3.3.

Suma de la resistencia de los ductos 1.3.3.1  
 mas 1.3.3.2. igual a 78.14 mm. C.A.

## DUCTO 1.4.1

Diámetro 340 mm.  
 Volumen 6,790 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 20.8 m/seg.  
 Resistencia por 100 m. = 120 mm.C.A.  
 Longitud recta 2.0 m.  
 Transiciones 1; ángulo de intersección 45°  
 Longitud equivalente 6.15 m.  
 Longitud total 8.15 m.  
 Resistencia total 9.78

## DUCTO 1.4.2.

Diámetro 250 mm.  
 Volumen 3,370 m<sup>3</sup>/h  
 Velocidad 19.0 m/seg.  
 Resistencia por 100' m. = 160 mm.C.A.  
 Longitud recta = 1.0 m.  
 Número de codos 1.5 ; radio 1.5  $\emptyset$   
 Número de transiciones 1; ángulo 45°  
 Longitud equivalente 10.63 m.  
 Pérdida por orificio 1.78 x VP

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
 DE LA BIBLIOTECA

Pérdida por succión campana  $0.25 \times VP$   
 Longitud total 11.63 m.  
 Resistencia del ducto 18.61 mm.C.A.  
 Resistencia por succión 44.97 mm.C.A.  
 Resistencia total 63.58 mm.C.A.

DUCTO 1.4.3.

Diámetro 250 mm.  
 Volumen 3,420 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 19.40 m/seg.  
 Resistencia por 100 m = 170 mm. C.A.  
 Longitud recta 3.0 m.  
 Número de codos 1.5; radio =  $2 \phi$   
 Número de transiciones 0  
 Longitud equivalente 6.38 m.  
 Longitud total 9.38 m.  
 Pérdida por orificio VP x 1.78  
 Pérdida por succión campana = VP x 0.25  
 Velocidad de presión 23.09  
 Resistencia del ducto 15.94 mm.C.A.  
 Resistencia por succión 46.88 mm.C.A.  
 Resistencia total 62.82 mm.C.A.

DUCTO 1.5.1.

Diámetro 210 mm.  
 Volumen 2,490 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 20.0 m/seg.  
 Resistencia por 100 m = 210 mm.C.A.  
 Longitud de ducto recto 1.5 m.  
 Número de codos 1; radio =  $2 \phi$   
 Número de transiciones 1; ángulo 45°  
 Longitud equivalente 5.52 m.  
 Longitud total 7.02 m.  
 Pérdida por orificio = VP x 0.25  
 Pérdida por succión = VP  
 Velocidad de presión 24.54

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Resistencia del ducto 14.74 mm.C.A.  
 Resistencia por succión 30.70 mm.C.A.  
 Resistencia total 45.54 mm.C.A.

DUCTO 2.0.0.

Diámetro 850 mm.  
 Volumen 32,510 m<sup>3</sup>/h.  
 Velocidad 15.9 m/seg.  
 Resistencia por 100 m = 26 mm.C.A.  
 Longitud recta 13.0 m.  
 Número de codos 1.5; radio = 1.5  $\phi$   
 Longitud equivalente 39.0 m.  
 Longitud total 52.0 m.  
 Resistencia total 13.52 mm.C.A.

El siguiente paso es calcular la mayor resistencia que se tiene que vencer en el sistema, esto es, desde el punto de succión hasta el punto en que el aire es regresado al medio ambiente. Lo cual es igual a la suma de la resistencia de los ductos por donde tiene que pasar el flujo del aire, por lo que:

La resistencia desde el punto de succión del deslizador de alimentación hasta el colector de polvo es igual a la suma de la resistencia de los siguientes ductos:

$$\begin{aligned} & 1.0.1, 1.0.2, 1.0.3., 1.0.4., 1.0.5. \text{ y } 1.0.6. \\ \text{RESISTENCIA A} &= 10.96 + 11.18 + 8.47 + 1.72 + 10.98 + 52.93 \\ &= 96.24 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

La resistencia desde el punto de succión del elevador de cangilones zona inferior hasta el colector es igual a la suma de los siguientes ductos:

$$\begin{aligned} & 1.0.1., 1.0.2., 1.0.3., 1.0.4., 1.0.5., 1.5.1. \\ \text{RESISTENCIA B} &= 10.96 + 11.18 + 8.47 + 1.72 + 10.98 + 45.42 \\ &= 88.73 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

La resistencia desde el punto de succión de la tolva de recuperación hasta el colector de polvo es igual a la suma de la resistencia de los siguientes ductos:

1.0.1., 1.0.2., 1.0.3., 1.0.4., 1.4.1., 1.4.3.

$$\begin{aligned} \text{RESISTENCIA C} &= 10.96 + 11.18 + 8.47 + 1.72 + 9.78 + 62.82 \\ &= 104.93 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

La resistencia desde el punto de succión de la envasadora estática de 4 boquillas hasta el colector de polvo es igual a la suma de la resistencia de los siguientes ductos:

1.0.1., 1.0.2., 1.0.3., 1.3.1., 1.3.3.

$$\begin{aligned} \text{RESISTENCIA D} &= 10.96 + 11.18 + 8.47 + 9.98 + 78.4 \\ &= 118.99 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

La resistencia desde el punto de succión de la ventilación de la zona superior de envase hasta el colector de polvo es igual a la suma de la resistencia de los siguientes ductos:

1.0.1., 1.0.2., 1.0.3., 1.0.4., 1.4.1., 1.4.2.

$$\begin{aligned} \text{RESISTENCIA E} &= 10.96 + 11.18 + 8.47 + 1.72 + 9.78 + 63.58 \\ &= 105.69 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

La resistencia desde el punto de succión de la tolva de alimentación hasta el colector de polvo es igual a la suma de la resistencia de los siguientes ductos:

1.0.1., 1.0.2., 1.0.3., 1.3.1., 1.3.2.

$$\begin{aligned} \text{RESISTENCIA F} &= 10.96 + 11.18 + 8.47 + 9.98 + 38.91 \\ &= 79.50 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

La resistencia desde el punto de succión de la tolva de almacenamiento hasta el colector de polvo es igual a la suma de la resistencia de los siguientes ductos:

1.0.1., 1.0.2. y 1.2.1.

$$\begin{aligned} \text{RESISTENCIA G} &= 10.96 + 11.18 + 43.19 \\ &= 65.33 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

La resistencia desde el punto de succión del elevador de cangilones zona superior hasta el colector de polvo es igual a la suma de la resistencia de los siguientes ductos:

1.0.1., 1.1.1., 1.1.3.

$$\begin{aligned} \text{RESISTENCIA H} &= 10.96 + 9.80 + 52.16 \\ &= 72.92 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

La resistencia desde el punto de succión de la criba hasta el colector de polvo es igual a la suma de la resistencia de los siguientes ductos:

1.0.1., 1.1.1., 1.1.2.

$$\begin{aligned} \text{RESISTENCIA J} &= 10.96 + 9.80 + 45.74 \\ &= 66.50 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

La resistencia mayor a vencer es la que presenta el punto de succión de la envasadora estática de 4 boquillas hasta el colector de polvo. A esta resistencia habrá que sumar la resistencia que presenta el colector de polvo al paso del aire estimándose en 152 mm.C.A. mas la de los ductos que conectan al colector de polvo con el ventilador de extracción mas la descarga de éste siendo igual a :

$$\begin{aligned} \text{RESISTENCIA TOTAL} &= 118.99 + 13.52 + 152.0 \\ &= 284.51 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

Esta resistencia es la que se utilizará como base para la selección apropiada del ventilador de extracción.

#### V.6. SELECCION DEL VENTILADOR DE EXTRACCION.

Para seleccionar adecuadamente el ventilador de extracción hay que determinar los datos necesarios vistos con anterioridad en el capítulo III.

1. Capacidad o volumen a manejar 541.8 m<sup>3</sup>/min.
2. Resistencia o presión estática 284.5 mm.C.A.
3. Tipo de aplicación industrial

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

4. Tipo de material a manejar. En este punto habrá que considerar la posibilidad de que una o varias mangas puedan romperse y exista paso de polvo al ventilador, por lo que el material a manejar deberá de considerarse una mezcla de aire con polvo.
5. Limitaciones de espacio. Este punto se tendrá que verificar cuando se determine el tamaño, tipo y acoplamiento del ventilador-motor.
6. Nivel de ruido permitido. El área destinada para la localización se encuentra en el exterior fuera de las áreas de trabajo por lo que este punto no afecta para la selección del ventilador.
7. Temperatura de operación. 40°C.
8. Altura de operación. 0m.S.N.M.
9. Eficiencia de operación. Se determinará en base al ventilador seleccionado.
10. Tipo de acoplamiento del ventilador-motor. Se determinará con la selección del ventilador y en conjunto con el punto número 5.

Tomando en cuenta las características actuales el ventilador recomendado es un ventilador industrial provisto con rotor de aspas radiales planas el cual no permite la acumulación o depósito de material en las aspas.

Para seleccionar el ventilador se tomará como base un ventilador industrial tipo LS marca ARMEE CHICAGO el cual es de fabricación nacional y cumple con las características del tipo de ventilador que se requiere para este caso.

La resistencia tendrá que ser corregida por el factor de temperatura de 40°C.

$$\text{FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA} = (40+273)/(21.1+273) \\ = 1.064$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$\begin{aligned} \text{RESISTENCIA CORREGIDA POR TEMPERATURA} &= 284.5 \times 1.064 \\ &= 303 \text{ mm.C.A.} \end{aligned}$$

VENTILADOR TAMAÑO 33 LSR.

Utilizando las tablas proporcionadas por el fabricante para este tamaño de ventilador, que es el mas adecuado para esta aplicación y el de mas alta eficiencia obtenemos las siguientes lecturas:

DATOS:

Volumen 541 m<sup>3</sup>/min. (19,105 pcm)

Resistencia 303 mm.C.A. (12" W.G.)

VALORES OBTENIDOS:

538.2 m<sup>3</sup>/h. (19,006 pcm) 304.8 mm(12") = 795 rpm 55.49BHP

600.2 m<sup>3</sup>/h. (21,196 pcm) 304.8 mm(12") = 802 rpm 59.59BHP

Por interpolación obtenemos ahora los valores para el volumen y resistencia actuales:

$$\begin{aligned} \text{RPM} &= (((802-795)/(21,196-19,006)) \times (19,105-19,006)) + 795 \\ &= 795.3 \text{ rpm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= (((59.59-55.49)/21196-19006)) \times (19105-19006) + 55.49 \\ &= 55.68 \text{ BHP} \end{aligned}$$

POTENCIA REAL. La potencia calculada deberá ser afectada por el factor de temperatura.

$$\begin{aligned} \text{POTENCIA REAL} &= 55.68/1.064 \\ &= 52.33 \text{ BHP} \end{aligned}$$

La velocidad de giro máxima permisible para un ventilador de este tipo clase 1 es de 997 rpm y la temperatura de 40°C no requiere que la velocidad de giro se revise por lo que el ventilador seleccionado deberá ser clase 1.

TIPO DE ARREGLO VENTILADOR-MOTOR.

Según las características de operación y espacio disponible para la ubicación del extracción el arreglo ventilador-motor mas conveniente es un arreglo 1 el cual provee al ventilador de una base estructural que integra al

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

motor en la misma, la transmisión será por medio de bandas y poleas tipo "V".

Por facilidad y mayor disponibilidad en el mercado se deberá utilizar un motor eléctrico de 60 HP 440 V-3f-60c de 4 polos (1750 rpm).

**SELECCION DE TRANSMISION:**

Velocidad de giro motor	1,750 rpm
Velocidad de giro ventilador	795 rpm
Potencia motor.	60 HP
Distancia entre centros	1,372 mm.
Factor de servicio	1.30
Relación	2.20
Potencia cálculo	$60 \times 1.30$ 78 HP
Polea motriz	9.75 $\emptyset$ paso
Polea conducida	21.20 $\emptyset$ paso
Relación	2.18
Potencia por banda	20.50 HP
Factor de corrección por distancia	1.01
Potencia por banda corregida	20.70 HP
Número de bandas	$= 78/20.7 = 3.76$ Bandas 5V

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## VI. ANALISIS ECONOMICO

### VI.I. GENERALIDADES

En el desarrollo de cualquier proyecto no importando su magnitud, existe un factor que no es posible descartar, ya que como se expondrá más adelante representa el punto más importante en la consideración de un proyecto, el aspecto económico.

La meta de la selección del equipo y por consiguiente, la finalidad de todas las actividades de ingeniería y administración, es una eficiencia financiera aceptable, no la eficiencia de ingeniería. En el desarrollo de este trabajo se efectuó una comparación entre las dos alternativas propuestas desde el punto de vista tecnológico y de mantenimiento, pero, para cualquier proyecto y cualquier inversión que se vaya a efectuar en una compañía deberá de ser estudiada cualquier alternativa desde el punto de vista económico.

Para cualquier evaluación y elección de alternativas que se lleve a cabo bajo la eficiencia financiera, la búsqueda de alternativas deberá de llevarse a cabo sin tener en cuenta la eficiencia de ingeniería. Esto significa que la búsqueda de una elevada eficiencia financiera no es necesariamente la búsqueda de la mayor eficiencia de ingeniería.

Así mismo en la evaluación de alternativas no se deberá considerar aisladamente el costo de instalación si no también los costos de operación y mantenimiento durante la vida útil del equipo.

La afirmación de que el objetivo primordial de la ingeniería es lograr una eficiencia financiera satisfactoria no es incompatible con los objetivos de la ingeniería principalmente, la exactitud, la confianza y la seguridad. Se espera que el ingeniero diseñe máquinas que funcionen y que emplee toda la competencia previa de su arte y sus

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

conocimientos científicos. Pero, incluso las cuestiones de exactitud, confianza y seguridad se resuelven de acuerdo con las consideraciones económicas. En muchas, si no en la mayoría de las ocasiones, no es económicamente factible diseñar con una exactitud absoluta, una perfección del ciento por ciento o una seguridad perfecta. Los criterios económicos proporcionan al ingeniero una meta para sus actividades más allá de la satisfacción de los requisitos de kilogramos o metros.

Como se espera, el objetivo de la ingeniería es consistente con el de la empresa de negocios: la maximización de las utilidades. Tanto si la alternativa es de ingeniería como de comercialización, finanzas, procedimientos burocráticos, relaciones humanas, inventario o producción, la prueba de la decisión se lleva a cabo de acuerdo con los mismos criterios. Estos criterios proporcionan a los hombres que hacen las sugerencias y a los que las aprueban una prueba común y una meta mutua. Proporciona a los hombres de las finanzas, a los de ingeniería y a los de producción, una lengua común; probablemente por primera vez.

## VI.2. DETERMINACION DE COSTOS

Los costos expuestos en este trabajo son costos obtenidos en enero de 1981, el análisis de las alternativas únicamente varía en el costo del colector de polvo debido a que el volumen a manejar y las tomas de captación son las mismas para las dos propuestas.

- Ventilador de extracción	\$ 150,370.00
Marca Armee-Chicago	
Mod. 33 LS	
Arreglo 1	
Clase I	
Construcción estándar	
Brida de succión	\$ 3,580.00
Brida de descarga	\$ 3,580.00

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Registro de inspección	\$ 3,500.00
Cople de drenaje	\$ 780.00
Sello en la flecha	\$ 2,530.00
Cubre bandas	\$ 5,170.00
Base integral incluyendo base antivibratoria	\$ 17,230.00
Transmisión por poleas y bandas V	\$ 24,750.00
- Motor Eléctrico	\$ 128,970.00
Marca Siemens	
Potencia 60 HP	
No. Polos 4	
440 v/3f/60c	
- Campanas de Captación	\$ 28,000.00
8 piezas \$3,500.00 c/u	
- Válvulas de Control	\$ 13,500.00
9 piezas \$1,500.00 c/u	
- Ductería de Succión	\$ 277,440.00
4,624.6 Kg. \$60.00 Kg.	

Los calibres de lámina empleados debido a lo abrasivo del polvo y las presiones de trabajo serán:

Hasta	178 mm. Ø	Calibre # 14
De	179 mm. a 432 mm. Ø	Calibre # 12
De	433 mm. a 762 mm. Ø	Calibre # 10
De	762 mm. a 1016 mm. Ø	Calibre # 5mm.

Los ductos de fabricarán eléctricamente soldados, en tramos de longitud conveniente para su manejo con bridas de unión en los extremos que serán acoplados mediante empaques y tornillos.

Los radios de codos considerados serán de 2 diámetros como mínimo; así mismo la entrada de transiciones será en ángulo de 30° y hasta 45° como máximo.

El costo de ductería incluye además la colgatería, anclas y refuerzos de ductos de diámetros mayores.

TESIS CON  
CALLA DE ORIGEN

## CALCULO DEL PESO DE LA DUCTERIA

Ducto 1.0.1

Diámetro	710 mm.
Longitud Total	2.70 m .
Calibre	No. 10
Peso Total	162.0 Kg.

Ducto 1.0.2

Diámetro	620 mm.
Longitud Total	0.5 m .
Calibre	No. 10
Peso Total	26 Kg.

Ducto 1.0.3

Diámetro	620 mm.
Longitud Total	5.5 m .
Calibre	No. 10
Peso Total	289.2 Kg.

Ducto 1.0.4

Diámetro	470 mm.
Longitud Total	2.0 m .
Calibre	No. 10
Peso Total	79.7 Kg.

Ducto 1.0.5

Diámetro	320 mm.
Longitud Total	5.5 m .
Calibre	No. 12
Peso Total	116.2 Kg.

Ducto 1.0.6

Diámetro	250 mm.
Longitud Total	4.8 m .
Calibre	No. 12
Peso Total	79.2 Kg.

Ducto 1.1.1

Diámetro	320 mm.
Longitud Total	2.4 m .
Calibre	No. 12
Peso Total	50.7 Kg.

Ducto 1.1.2

Diámetro	190 mm.
Longitud Total	1.4 m .
Calibre	No. 12
Peso Total	17.6 Kg.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN
------------------------------

## Ducto 1.1.3

Diámetro	250 mm.
Longitud Total	6.0 mm.
Calibre	No. 12
Peso Total	99.0 Kg.

## Ducto 1.2.1

Diámetro	125 mm.
Longitud Total	3.5 m.
Calibre No.	14
Peso Total	28.9 Kg.

## Ducto 1.3.1

Diámetro	400 mm.
Longitud Total	2.5 m.
Calibre	No. 12
Peso Total	66.0 Kg.

## Ducto 1.3.2

Diámetro	125 mm.
Longitud Total	1.5 m.
Calibre	No. 14
Peso Total	8.8 Kg.

## Ducto 1.3.3.1

Diámetro	385 mm.
Longitud Total	5.0 m.
Calibre No.	12
Peso Total	127.0 Kg.

## Ducto 1.3.3.2

Diámetro	250 mm.
Longitud Total	1.5 m.
Calibre	No. 12
Peso Total	24.7 Kg.

## Ducto 1.4.1

Diámetro	340 mm.
Longitud Total	2.5 m.
Calibre	No. 12
Peso Total	56.1 Kg.

## Ducto 1.4.2

Diámetro	250 mm.
Longitud Total	3.0 m.
Calibre	No. 12
Peso Total	49.5 Kg.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Ducto 1.4.2

Diámetro	250 mm.
Longitud Total	3.0 m.
Calibre	No. 12
Peso Total	49.5 Kg.

## Ducto 1.4.3

Diámetro	250 mm.
Longitud Total	4.2 m.
Calibre	No. 12
Peso Total	69.3

## Ducto 1.5.1

Diámetro	210 mm.
Longitud Total	2.5 m.
Calibre	No. 12
Peso Total	34.6 Kg.

## Ducto 2.0.0

Diámetro	850 mm.
Longitud Total	16.0 m.
Calibre	No. 7
Peso Total	1,580 Kg.

## PESO TOTAL DUCTERIA

Ducto No.	Peso (Kg.)
1.0.1	162.0
1.0.2	26.0
1.0.3	289.2
1.0.4	79.7
1.0.5	116.2
1.0.6	79.2
1.1.1	50.7
1.1.2	17.6
1.1.3	99.0
1.2.1	28.9
1.3.1	66.0
1.3.2	8.8
1.3.3.1	127.0
1.3.3.2	24.7
1.4.1	56.1
1.4.2	49.5
1.4.3	69.3
1.5.1	23.6
2.0.0	<u>1,580.0</u>
T O T A L	2,964.50 Kg.

<p style="text-align: center;"><b>TESIS CON FALLA DE ORIGEN</b></p>
---

Considerando un 20% de desperdicio y un 30% de colgantería y bridas de unión, el peso será entonces el siguiente:

Peso Total Ductería =  $2,964.5 \times 1.2 \times 1.3 = 4,624.6 \text{ Kg.}$

- Chimenea de descarga incluida en ductos de succión	
- Juntas Flexibles 2 piezas	\$ 7,200.00 \$ 3,600.00
- Chute de descarga 470 Kg.	\$ 28,200.00 \$ 60.00
- Tablero de Control Eléctrico	\$ 478,500.00
- Materiales y Mano de Obra Instalación Mecánica 18,200 Kg.	\$ 490,340.00

En este precio se incluye la mano de obra y materiales de desgaste necesarios para el ensamble del colector de polvo cotizado, además de la mano de obra para instalación del ventilador, ductería, etc. -- aquí cotizados.

- Materiales y Mano de Obra Instalación Eléctrica	\$ 380,000.00
- Transportes Terrestres	\$ 57,150.00

Se consideró en este precio, el costo del flete de los equipos colector de polvo, ventilador y además materiales necesarios para la instalación desde su lugar de origen en fábrica (Area metropolitana de la Ciudad de México) hasta una distancia de 800 Km.

- Pintura Final	\$ 45,860.00
-----------------	--------------

Se incluyó en este precio la pintura y mano de obra de aplicación, a todo el sistema instalado, incluyendo el colector de polvo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Compresor de aire \$ 48,750.00  
 Capacidad 9.7 m<sup>3</sup>/h  
 Presión de Descarga 8.8 Kg./cm<sup>2</sup>
  
- ALTERNATIVA A: Colector de Polvo con sistema de limpieza por medio de aire reverso.
  
- Colector de Polvo \$ 1'132,670.00  
 Marca Standard-Filterbau  
 Tamaño MSIC 3G-VIIR-3.5  
 Capacidad  
 Concentración estimada  
 Polvo por manejar  
 No. de secciones 7  
 No. de mangas total 252  
 Area de filtrado total  
 Area de Filtrado neta  
 Presión de diseño 500 mm. C.A.  
 Bolsas de fieltro poliéster  
 Sistema de limpieza por Aire reverso  
 Transportador de gusano 225 mm. Ø y Paso  
     Capacidad  
     Potencia 2.0 H.P.  
     Transmisión Cadena y catarinas
  
- Motorreductor \$ 75,820.00  
 Marca Falk  
 Modelo 80-ZA-2  
 Potencia Motor 2.0 HP  
 Velocidad de salida 84 RPM
  
- Válvulas de Contrapeso \$ 16,000.00  
 Marca. Standard Filterbau  
 Tamaño 280  
 Capacidad de descarga 5.0 m<sup>3</sup>/n  
 Construcción estándar  
 2 piezas \$ 8,000.00 c/u

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

- Ventilador de Limpieza      \$ 41,230.00  
 Turboventilador centrífugo  
 Marca AESA  
 Modelo M-ZT-7.5-8  
 Capacidad 3750 m<sup>3</sup>/h  
 Presión de operación 0.03 Kg./cm<sup>2</sup>  
 Arreglo 4
- Estructura soporte 2.5 m.      \$ 53,070.00  
 Incluyendo escalera y plataforma
- Costo de operación y mantenimiento  
 anual:      \$ 565,800.00

Este costo incluye material de reposición por desgaste tales como bolsas filtro, -- bandas de transmisión, etc. material y ma no de obra de mantenimiento preventivo, - así como también los gastos de operación del equipo.

#### ALTERNATIVA B

- Colector de Polvo      \$ 1'682,420.00  
 Marca Standard-Filterbau  
 Tamaño VSK32-VR-3.5  
 Capacidad  
 Concentración estimada  
 Polvo por manejar
- No. de secciones      5
- No. de mangas total      160
- Area de filtrado total
- Area de filtrado neta
- Presión de diseño      500 mm. C.A.
- Bolsas de fieltro poliéster

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Sistema de limpieza por aire reverso  
y sacudido mecánico

No. de motovibradores 5  
Transportador de gusano 225 m  $\emptyset$  y Paso  
Capacidad  
Potencia 2.0 HP.  
Transmisión Cadena y catarinas

- Motorreductor \$ 75,820.00

Marca Falk

Modelo 80-ZA-Z

Potencia Motor 2.0 HP

Velocidad de salida 84 RPM

- Válvulas de Contrapeso \$ 16,000.00

Marca Standard Filterbau

Tamaño 230

Capacidad de Descarga 5.0 m<sup>3</sup>/h

Construcción estándar

2 piezas \$ 8,000.00

- Estructura Soporte 2.5 m. \$ 76,080.00

Incluyendo escaleras y plataformas

- Costo de Operación y Mantenimiento \$ 654,075.00

Costo Total Sistema con Alternativa A \$ 3,514,190.00

Costo de Operación y Mantenimiento 565,800.00

Costo Total Sistema con Alternativa B \$ 4,045,720.00

Costo de Operación y Mantenimiento 654,075.00

Como se puede apreciar la alternativa A es la mejor propuesta económicamente hablando en cuanto a costos de instala-

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ción, operación y mantenimiento, sin embargo este tipo de evaluaciones deben de hacerse tomando en cuenta el valor de los costos de operación y mantenimiento dentro de un periodo de tiempo, esto es, en el caso de que los costos de operación y mantenimiento de la Alternativa B fueran menores a los de la Alternativa A debido a que se tendría que hacer un estudio económico tomando el valor que tendría el dinero en el futuro, tal vez en ese caso conven-dría hacer una inversión inmediata mayor que con el transcurso del tiempo resultaría menor que la alternativa propuesta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CONCLUSION.**

El uso de sistemas de recuperación y colección de polvos, es cada vez mas utilizado en la industria en México, y como se puede ver en este trabajo la recuperación que se logra puede ser considerable, tanto en volumén como en costo, ya que de éste depende basicamente la recuperación de la inversión del equipo aunado a que el control de las emisiones fugitivas de polvos durante el proceso traen consigo mejores condiciones de trabajo, menor frecuencia y tiempo en limpieza de las areas afectadas, menor mantenimiento en partes móviles de equipos aledaños y aumento en la producción al recuperar material que antes se perdía y no era aprovechado.

Actualmente en México se fabrican una amplia gama de diferentes equipos para el control y recuperación de polvos que cubren las diferentes aplicaciones y necesidades del mercado nacional. Asi mismo las refacciones y accesorios que este equipo requiere se encuentran dentro del mercado nacional siendo la mayoría de éstas de fabricación nacional, sin embargo aún muchas compañías no incorporan el uso de este tipo de sistemas en sus procesos al planear éstos, por lo que su adaptación al sistema de producción puede presentar ciertas complicaciones ya que en algunas ocasiones el equipo puede ser de dimensiones considerables y el espacio que se encuentre disponible no se localice cerca del punto de aplicación lo que puede ocasionar un incremento considerable al costo y demanda de potencia del equipo.

Los sistemas de colección de polvo deben de ser considerados como parte del diseño de una planta productora desde su planeación con el fin de evitar con-

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

diciones adversas de trabajo y pérdidas en el proceso que después obliguen a la implantación de estos sistemas que logicamente incrementarán considerablemente el costo de estos y obliguen al paro temporal del proceso mientras se implanta, así como también pérdidas en el proceso, daños a la maquinaria, problemas sindicales y enfermedades profesionales.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## B I B L I O G R A F I A .

## LA LUCHA CONTRA EL POLVO EN LA INDUSTRIA.

Vicente Massuet Grau  
Ediciones Cedel, 1969.  
Barcelona, España.

## INDUSTRIAL VENTILATION

American conference of governmental industrial  
hygienists comitee on industrial ventilation.  
Michigan, U.S.A.

## AIR POLLUTION ENGINEERING MANUAL

John A. Danielson.  
U.S. Environmental Protection Agency  
Second Edition, 1973.  
Los Angeles, U.S.A.

REGLAMENTO PARA LA PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION  
ATMOSFERICA ORIGINADA POR LA EMISION DE HUMOS Y POLVOS.

Secretaría de Salubridad y Asistencia.  
México, 1971.

## MANUAL PARA LA SELECCION DE FILTROS STANDARD-FILTERBAU.

## MANUAL PARA LA SELECCION DE VENTILADORES WESTINGHOUSE.

## MANUAL PARA LA SELECCION DE VENTILADORES ARREE-CHICAGO.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INDICE ANALITICO.

I.	Introducción.	1
II.	Métodos y equipos mas usuales en la captación y separación de polvos industriales.	8
II.1.	Cámaras de precipitación por gravedad.	8
II.2.	Separadores centrífugos.	9
II.3.1.	Separadores de mangas.	11
II.3.1.1.	Sistema de limpieza por aire reverso.	12.
II.3.1.2.	Sistema de limpieza por sacudido mecánico.	19
II.3.1.3.	Sistema de limpieza por medio de aire <u>re</u> verso y sacudido mecánico.	20
II.3.2.	Elementos filtrantes.	20
II.3.2.1.	Materiales filtrantes.	22
II.4.	Separadores en húmedo.	32
II.4.1.	Cámaras de lavado.	32
II.4.2.	Sistema venturi.	33
II.4.3.	Desintegradores.	33
II.4.4.	Separadores dinámicos.	34
II.5.	Separadores electrostáticos.	34
III.	Tipos de ventiladores industriales y sus aplicaciones	35
III.1.	Ventiladores de flujo axial.	35
III.2.	Ventiladores Centrífugos.	
III.2.1.	Ventiladores centrífugos con rotor de <u>as</u> pas múltiples curvadas hacia adelante.	36
III.2.2.	Ventiladores centrífugos con rotor de <u>as</u> pas radiales.	37
III.2.3.	Ventiladores centrífugos con rotor de <u>as</u> pas planas inclinadas hacia atrás.	38

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

III.2.4.	Ventiladores centrífugos con rotor de aspas aerodinámicas inclinadas hacia atrás.	38
III.3.	Ventiladores centrífugos de flujo mixto.	39
III.4.	Ventiladores de flujo transversal.	40
III.5.	Selección de ventiladores.	43
IV.	Descripción de envasadoras de cemento en sacos.	47
IV.1.	Envasadoras estáticas	
IV.2.	Envasadoras rotatorias.	
V.	Alcance y desarrollo del proyecto.	50
V.1.	Desarrollo del proyecto.	51
v.2.	Cálculo de los volúmenes de extracción.	53
V.2.1.	Punto N° 1 Deslizador o fluidor de alimentación.	53
V.2.2.	Punto N° 2 y 3 Elevador de cangilones.	54
V.2.3.	Punto N° 4 Criba.	54
V.2.4.	Punto N° 5 y 6 Tolva de almacenamiento y tolva de alimentación.	55
V.2.5.	Punto N° 7 Envasadora estática de 4 boquillas.	55
V.2.6.	Punto N° 8 Ventilación superior zona de envase.	56
V.2.7.	Punto N° 9 Tolva de recuperación.	57
V.3.1.	Selección de separador de mangas con sistema de limpieza por aire reverso.	58
V.3.2.	Selección de separador de mangas de limpieza por medio de aire reverso y sacudido mecánico.	59
V.4.	Selección del ventilador de extracción.	64
V.4.1.	Cálculo de áreas y diámetro de la ductería de extracción.	66

TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN

V.5.1.	Cálculo de la resistencia del sistema.	74
V.6.	Selección del ventilador de extracción.	83
VI.	Análisis Económico.	87
VI.1.	Generalidades	87
VI.2.	Determinación de costos.	88
VII.	Conclusión.	98
	Bibliografía	100

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN