

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química



COMPARACION TECNICA Y FUNCIONAL DE TRES  
SISTEMAS DE TRANSPORTACION NEUMATICA.

T E S I S

Que para obtener el Título de

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a

OMAR FRANCISCO BUENTELLO VICENTE

México, D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## I N D I C E

	PAG.
CAPITULO I INTRODUCCION	1
CAPITULO II GENERALIDADES	3
CAPITULO III DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS	31
CAPITULO IV CALCULO DE LOS SISTEMAS	104
CAPITULO V COSTOS	129
CAPITULO VI CONCLUSIONES	137
CAPITULO VII BIBLIOGRAFIA	140

## INTRODUCCION

### CAPITULO I.

El objetivo de la presente tesis es hacer una comparación de los 3 sistemas de transportación neumática (positivo, - negativo y mixto), presentando ésta de una manera sencilla, comprensible y funcional, para todas aquellas personas que estén interesadas en hacer una evaluación para la selección del sistema de transportación que le sea más idóneo.

Se seleccionaron para el presente trabajo a los sistemas de transportación neumática positivo, negativo y mixto, ya que estos son los sistemas más representativos y más utilizados de todos los sistemas de transportación que se encuentran dentro de la clasificación de "neumáticos".

También se presentarán ciertas especificaciones que son recomendables para efectuar la descarga de materiales de los transportes, por medio de sistemas de transportación neumática, y se darán algunas guías para coordinar la operación del departamento de producción con el funcionamiento del sistema de transportación.

Por lo que respecta al capítulo III, se hará una descripción de los tres sistemas de transportación, así como algunos otros sistemas de transportación, los cuales aunque no son tan conocidos como los sistemas de transportación neumática usuales (Positivo, Negativo, Positivo-Negativo), son muy útiles en ciertas circunstancias, es por esto que se incluyen en este capítulo.

Por otro lado, también se incluyen las descripciones de todos los equipos que conjuntamente forman el sistema de transportación neumático, en estas descripciones, se pretende dar además algunos criterios para la selección correcta de estos equipos.

El capítulo IV estará dedicado al desarrollo del sistema de cálculo de los sistemas de transportación neumática, se incluirán tres sistemas de transportación en los que se ejemplificarán los cálculos necesarios para su dimensionamiento, las

bases teóricas en las cuales están basados estos cálculos, también se encuentran incluidos en este capítulo.

En el capítulo V se incluyen los aspectos económicos - que se involucran con la instalación de un sistema de transportación neumática, para su ejemplificación, se utilizarán los - tres sistemas de transportación propuestos en el capítulo IV, de manera que la presentación resulte sencilla y de fácil comparación.

Por último, en el capítulo VI se dan las conclusiones a las que se llegarán en este trabajo.

En el capítulo VII se presentarán las fichas bibliográficas, las cuales fueron utilizadas para la elaboración de esta tésis.

## CAPITULO II

## GENERALIDADES

Para iniciar el capítulo de generalidades, comenzaremos por definir que es un sistema de transportación neumático:

Un sistema de transportación neumático, es un sistema en el cual pueden transportarse polímeros granulados pa pel, polvos ó sólidos granulados en general. Estos materiales para poder ser transportados, necesitan ser arrastrados por medio de una corriente de aire. Dependiendo de, si la corriente es absorbida del sistema, el sistema de transportación será negativo, si el aire es inyectado, este se nombrará como positivo y por último, si el aire es extraído y nuevamente inyectado estaremos hablando de un sistema de transportación neumático mixto.

a).- Ahorro debido a la diferencia de precio entre comprar el material a granel y comprar el material en bolsas o en pequeños recipientes, resultante de eliminar los costos de empaque.

b).- Ahorro debido a la reducción en el costo del flete de materiales a granel.

c).- Reducción de los costos debido al decremento en las labores de manejo y almacenamiento de bolsas o pequeños recipientes.

d).- Reducción de los costos provocados por las pérdidas de material debido al derrame de material de los sacos rotos, o recipientes al ser éstos descartados.

e).- Descarga del material seco via tubería a lugares lejanos de la planta, que serían económicamente inaccesibles via transportación mecánica.

f).- Almacenamiento de materiales en tolvas o silos de gran capacidad en áreas de la planta en donde sería imposible almacenar la misma cantidad de material en sacos pequeños o recipientes.

g).- Incremento en la seguridad de la planta debido a la eliminación del manejo manual de bolsas o recipientes y eliminación de polvos cuando el recipiente es abierto o vaciado.

h).- Reducción de la contaminación del producto debido a que es manejado en un sistema cerrado.

Para poder lograr los objetivos anteriores es necesario hacer antes un estudio completo y un análisis del sistema con el objeto de conocer la factibilidad de esta forma de transporte a granel.

Para especificar un sistema de transportación neumática es necesario conocer los siguientes puntos.

- 1.- Material que será transportado.
- 2.- Metodo de transporte del material a la planta.
- 3.- Operación necesaria para encontrar las necesidades del departamento de producción de la planta.
- 4.- Tipo de sistemas disponibles para transportar el material
- 5.- Grado de control del material para encontrar los requerimientos económicos de la operación.
- 6.- El vendedor que suministrará el paquete del equipo de transportación neumática.

A continuación harémos una descripción de los puntos anteriores en donde observaremos cual es su influencia en la especificación y selección del equipo.

### 1.1 MATERIALES QUE SERÁN TRANSPORTADOS.

resulta interesente el poder distinguir entre las cualidades de algunos de los sistemas de transportación y los defectos de algunos otros, puesto que estos pueden ser variables dependiendo de los usos, distancias, materiales a transportar, etc. Dado que para ciertas condiciones, posiblemente alguno de los sistemas sea el idoneo, pero que en otras condiciones, el mismo sistema no cumpla con las necesidades que se requieran, lo cual no significa que este sistema sea malo, sino que no es el más efectivo en ese caso, por lo tanto, es imprescindible hacer una revisión de todas las variables que pueden existir en nuestro sistema, y de las propiedades del material a transportar, para que de ésta manera podamos contar con los argumentos necesarios para establecer cual de los metodos de transportación neumática es el más apropiado para cumplir con las condiciones deseadas.

Dependiendo de las propiedades características del material las necesidades que nuestro sistema requiere para funcionar correctamente, serán distintas de un caso a otro.

Por ejemplo: la cantidad de aire y la potencia del ventilador serán calculadas en función de la densidad específica del material a manejar.

En seguida presentamos una tabla en donde se muestran en primer término las principales propiedades del fluido, y en segundo término a las variables del sistema que son calculadas en función de las propiedades del fluido.

PROPIEDADES CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	USADAS PARA DETERMINAR:
GRAVEDAD ESPECIFICA.	Requerimientos de aire y potencia.
PESO ESPECIFICO DE ASENTAMIENTO	Requerimientos de aire y potencia.
PESO ESPECIFICO DEL MATERIAL ABLADO.	Volumen de cilindros y tolvas, capacidades de alimentadores.
TAMANO DE PARTICULA.	Sistema de colección de polvos.
ABRASIVIDAD CON RESPECTO A UN MATERIAL ABRASIVO.	Tipo de sistema de transportación, Materiales de construcción, tipo de alimentador, tipo de sello, requerimiento de potencia.
CONTENIDO DE MEZCLA Y RANGO DE DELICUESENCIA.	Tipo de sistema de transporte, requerimiento del sistema colector de polvos, Necesidades para la transportación del material en los almacenes, secado de aire y aereación de los silos.
pH O CORROSIVIDAD RELATIVA A ALGUNOS ACIDOS BIEN CONOCIDOS.	Materiales de construcción, necesidades de secado de aire y ventilación.

INCRUSTACION RELATIVA A ALGUNOS MATERIALES INCRUSTANTES CONOCIDOS.

Tipo de sistema de transportación, requerimientos de secado y ventilado, tipo de sistema de colección de polvos.

CARACTERISTICAS DE AERACION Y DESAERACION.

Sistema de transportación, tipo de inductos de flujo en tolvas y silos, tipo de indicador de nivel, diseño de chutes de silos y tolvas, requerimientos para desaeración.

ANGULO DE REPOSO.

Diseño de tolvas y silos, en su sistema de ventilación, tipo de colección de polvos.

LIMITACIONES DE TEMP.

Requerimientos de aire de enfte, en el sistema de transporte, aislante para tolvas, sistemas de colección de polvos y ductos.

ESTRUCTURA CRISTALINA DE LAS PARTICULAS.

Tipo de sistema neumático, tipo de alimentador, forma del sistema de tuberías.

ABSORCION DE OLORES.

Localización y tipos de filtros de aire en el sistema.

Ahora bien ¿como podemos conocer las propiedades aproximadas del material? si el material ya ha sido manejado en la planta, en bolsas, tambores o cualquier otro recipiente, la mayoría de sus propiedades serán conocidas por experiencia.

Si el material es nuevo, la compañía preguntará al vendedor cuales son las propiedades físicas que aún no se conocieran, de este material.

Una vez hecho esto, las propiedades físicas que aún no se determinasen, se podrán investigar a través de la información tabulada en algún manual de especificación de materiales.

Cuando todos los datos físicos han sido reunidos, el comprador tendrá que determinar algunas cosas por si mismo; ejem:

- 1.- Agitar el material en un recipiente parcialmente lleno y notar si el volumen del material aumenta, ésto es con el fin de comprobar la absorción del aire en el material y el aumento de tamaño en el mismo provocado por la aereación.
- 2.- Colocar el material aereado en una superficie plana y observar el tiempo que tarda en reducir su tamaño al normal.
- 3.- El material aereado es tapado rapidamente y se tiene que observar el tiempo que tarda en obtener su mismo tamaño.

Los puntos 2 y 3 sirven para observar y comparar los tiempos de desaereado tanto en recipientes abiertos como en cerrados.

- 4.- Tomar un puñado de material y oprimirlo con la mano, haciendo esta prueba podremos conocer si el material al ser almacenado en silos nos puede provocar problemas de compactaciones y formación de conglomeraciones.

5.- compactar el material con algun objeto metálico y observar si la superficie metálica se mancha o si se queda pegada en el material.

Si el material se llegara a quedar pegado podemos comprobar que se tendrán problemas de incrustación.

6.- Introducir la mano dentro del material y observar la facilidad o dificultad del desplazamiento de la mano.

Esto es con el fin de darnos una idea de la facilidad o no que tiene el material para fluir de acuerdo a las caidas de presión provocadas por el material.

7.- Por último para conocer el ángulo de reposo solo se tiene que palear el material en una superficie o sobre una pared.

En base a las experiencias obtenidas se han hecho tablas en donde se recomienda un cierto tipo de transportador neumático dependiendo del material a manejar.

En la siguiente tabla se presenta una lista de substancias y el transporte neumático más recomendado para cada una de ellas.

TABLA N° 1.

M A T E R I A L	SISTEMA DE BAJA PRESION O COMBINADO.	SISTEMA DE ALTA PRESION CON ALIMENTADOR DE TORNILO	SISTEMA DE MUY BAJA PRESION
Alúmina	*	*	*
Carbonato de Calcio	*	*	*
Fosfato de Calcio	*		*
Carbón Activado		*	*
Carbón Negro		*	*
Catalizadores para Petróleo	*		*
Acetato de Celulosa	*		
Arcillas	*	*	*
Carbón Pulverizado	*	*	*
Detergente Pulverizado	*		*
Tierras Diatomáceas	*	*	*
Fertilizantes	*	*	*
Batán (tierras)	*	*	*
Cal Hidratada	*	*	*
Coque del Petróleo	*		*
Pelets de Plástico	*		
Plástico Molido	*		*
Poliétileno	*		
Resinas	*		*
Pelets de Goma	*		
Carbonato de Calcio ligero	*	*	*
Carbonato de Calcio denso	*		
Fosfato de sodio	*	*	*
Sulfite de Sodio	*		*

## 1.2. METODO DE TRANSPORTE DEL MATERIAL A LA PLANTA.

El tipo de transporte del material hasta la planta, dependerá principalmente de la economía que se pueda lograr en el flete, con el uso de los camiones, trailers, correstanque, etc. que son sistemas de transportación, equipados con un sistema de auto descarga, en lugar de los primitivos correstanque de ferrocarril, o camiones descargados por gravedad.

Por lo tanto antes de decidir cuál es el transporte más conveniente, es necesario realizar un estudio económico que involucre puntos tales como: El punto de embarque, volúmenes a transportar, acceso a la planta, costos de demora, inversión de capital en el equipo de descarga y almacenamiento, labor requerida para conectar al transporte con la planta por medio de un sistema de descarga.

Cuando se van a transportar grandes cantidades de carga es recomendable el uso del ferrocarril, puesto que camión o trailer tienen capacidades de transportación menores que las de los trenes, ya que los trenes pueden transportar hasta 3 veces más de el peso que puede transportar un camión o trailer.

En algunas plantas el material puede ser descargado tanto por trailer como por tren, sin embargo, en los lugares o plantas a las que no pueden llegar los ferrocarriles se pueden formar equipos de trailers, los cuales podrán llevar el material a transportar, desde el punto más cercano al que pueda llegar el tren hasta la planta en donde será utilizado.

La descarga de este material en la planta puede ser hecha por medios neumáticos. En seguida se presentan 2 tablas en donde se enlistan algunos factores que pueden influir en la selección del equipo de transportación para el material.

TABLA Nº 2

TIPO DE TRANSPORTE	VOLUMEN EN ft <sup>3</sup>	MEDIO DE DESCARGA	EQUIPO REQUERIDO PARA LA DESCARGA	EQUIPO REQUERIDO PARA LA TRANSPORTACION EN PLANTA
Ferrocarril con carro tipo caja	De 3,900 a 5,800	Vacío guiado manualmente con boquilla de descarga.	Mangueras de descarga por vacío y boquilla de descarga.	Vacío o V-P* sistemas de transportación.
Ferrocarril con carro contenedor	De 1,400 a 2,400	Fluidificación de la carga por alta presión.	Mangueras de suministro de aire y descarga del material.	Sistema de aire comprimido.
Carro tolva con compartimiento cerrado y boquillas de descarga por medio de vacío (en cada tolva)	De 2,450 a 3,500	Conexión de mangueras a sistema de vacío.	Manguera o chute de descarga, mangueras de aereación. Adaptador de descarga.	Sistema de transportación por vacío o V-P*.
Carro tanque -- con compartimientos presurizados.	2,400	Fluidificación de la carga por alta presión.	Mangueras de suministro de aire y descarga del material.	Sistema de aire comprimido.
Carro tolva con cubierta standard	1,900	Descarga por gravedad con vibrador o carro adaptado con vibrador.	Carro con agitador o descarga con vibrador, chutes o descarga con vacío adaptados con conexiones.	Sistema de transportación por: vacío, V-P* o por presión.
Carro tolva con descarga por -- gravedad y activado con aire.	De 2,000 a 3,600	Boquillas de -- arrastre por vacío. Manguera y chute para alimentadores de sistemas de vacío o -- presurizado.	Mangueras de suministro de aire. Manguera de descarga de material o chute. Descarga con adaptador de descarga externo.	Sistema de aereación vacío V-P* o sistema de transportación a presión.

V-P\* Es un sistema en donde el material se descarga en una corriente de aire, usando un sistema de vacío para descargar al transporte y un sistema de presión positiva para la transportación -- del material al punto de descarga o entrega,

TIPOS DE TRENES PARA EL MANEJO DE MATERIALES SOLIDOS.

TIPO DE TRANSPORTE	VOLUMEN EN ft <sup>3</sup>	MEDIO DE DESCARGA	EQUIPO REQUERIDO PARA DESCARGA.	EQUIPO REQUERIDO PARA LA TRANSPORTACION EN PLANTA
Activado con tolva de descarga por gravedad.	700 a 850	Ventilador integrado, - Ventilador para la línea de transportación, - conexiones para alimentación y descarga a presión.	Manguera para la descarga del material.	Línea de transportación a la tolva venteada.
Trailer con contenedor a presión.	700 a 800	Fluidificación con aire a presión de la carga.	Manguera para la descarga del material.	Línea de transportación a la tolva venteada.
Trailer. Tanque con - descarga combinada -- por gravedad neumática.	700	Alimentación de aire -- por el toldo del trailer con aire para fluidizar y transportar el material.	Manguera para -- descarga del material. Manguera de suministro de aire.	Línea de transportación a la tolva venteada o a un sistema V-P* o de presión positiva.
Carro tanque aereado con piso inclinado.	670 a 850	Fluidificación con baja presión del material.	Manguera para la descarga del material.	Línea de transportación a la tolva venteada.
Trailer con tolva cubierta.	700 a 800	Descarga por gravedad - con ayuda de un vibrador	Vibrador, chutes de descarga y conexiones para -- descarga por vacío.	Sistemas de transporte por vacío o V-P*.

\* V-P. Es un sistema en donde el material se descarga en una corriente de aire, usando un sistema de vacío para descargar el transporte y un sistema de presión positiva, para la transportación del material al punto de descarga o entrega.

TIPOS DE CAMIONES O TRAILERS PARA EL MANEJO DE MATERIALES SOLIDOS.

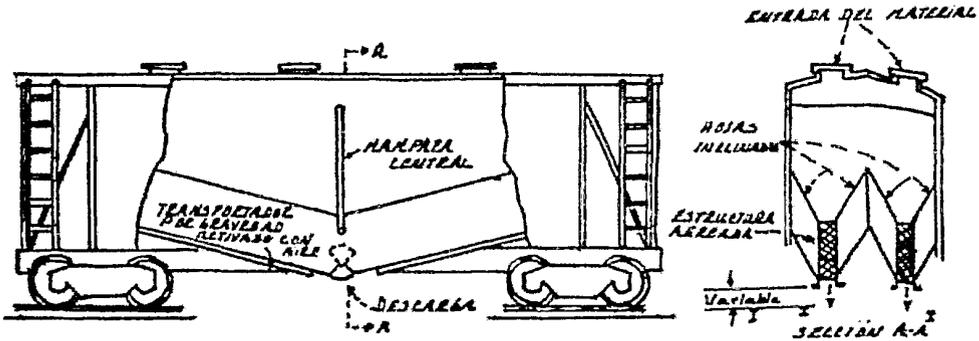
A continuación se presentan 4 dibujos de algunos de los transportes de material que comunmente son utilizados en la industria, para transportar material a granel estos transportes se presentan en los dibujos del 1 al 4.

La gran variedad de transportes disponibles, hace que la e-lección resulte algo difícil, sin embargo cuando todos los factores son considerados, se puede llegar a tener un buen criterio de selección. Es conveniente someter a ciertas pruebas de transportación y descarga a la elección hecha, para el transporte del material bajo estudio, para esto existen 2 caminos:

El primero es observar cual es el método de descarga del material desde el transporte a la planta, que es usado por otro consumidor del mismo producto.

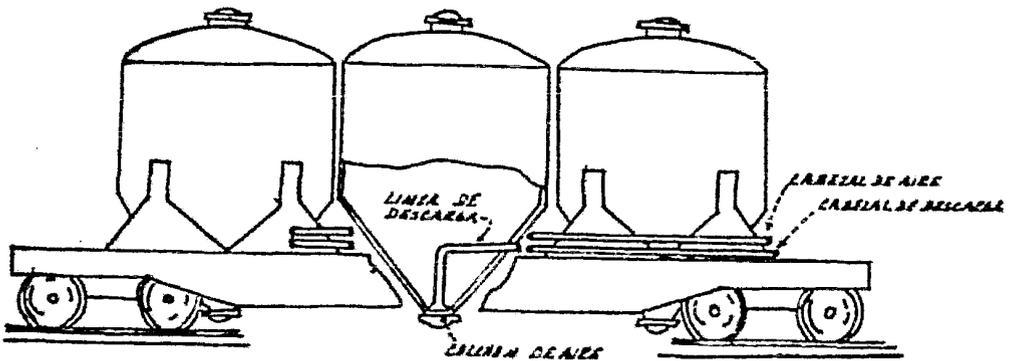
El segundo es iniciar una prueba de descarga del material que será manejado, siguiendo una distancia de arrastre equivalente a la distancia entre el proveedor y la planta receptora del material, la prueba puede ser hecha de varias maneras aún antes de la instalación del sistema de transportación neumática dependiendo del ingenio del personal de la planta.

Por ejemplo si el transporte es del tipo de auto descarga neumática, todo lo que se requiere es una tubería o una manguera neumática, que descargue el material en una tolva con venteo, o dentro de otro transporte con un servicio de descarga mecánica. Si el transporte requiere un suministro externo de aire, un compresor de aire portátil puede ser rentado para la prueba y así de esta manera, con un poco de ingenio se podrá realizar todas las pruebas necesarias para el sistema de transportación.



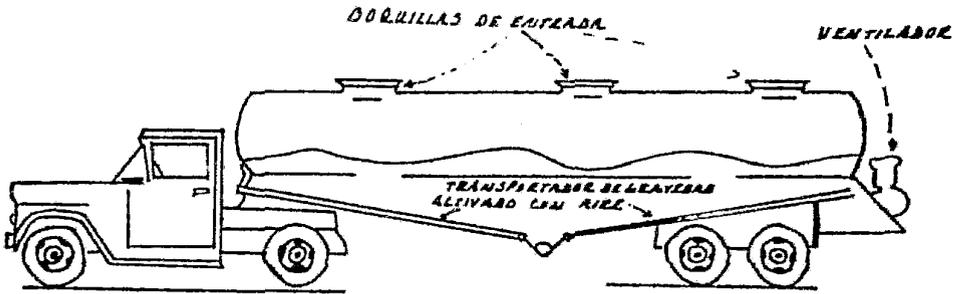
VISTA SECCIONAL DE CARGO TOLVA CON DESCARGA POR GRAVEDAD  
Y ACTIVADO CON AIRE

FIG. No 1



DISEÑO FÍSICO DE UN CARGO TANQUE PRE-CONSTRUIDO DE AUTO-DESCARGA

FIG. No 2



TRANSPORTADOR ACTIVADO CON AIRE CUESTADO EN EL TANQUE DEL CAMIÓN

FIG. No. 3

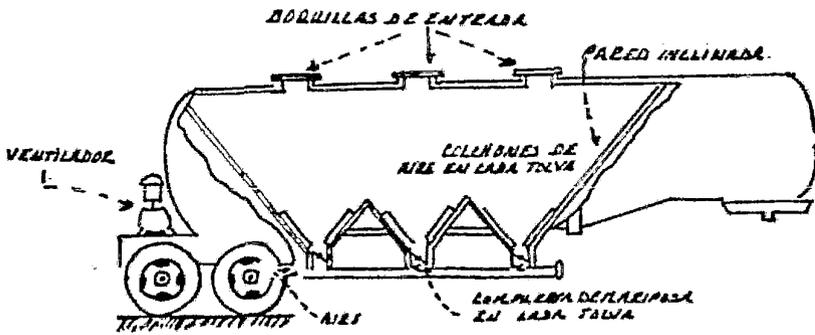


FIG. No. 4

TOCADO DE: HAYLEY MATERIALS HANDLING (1941)

La mayoría de los sistemas para la descarga por gravedad o por aire del material, incluyen los siguientes equipos.

Un sistema de transporte neumático para la descarga del material en pequeños recipientes que pueden ser manejados dentro del equipo existente en la planta

Un sistema de descarga del transporte por gravedad en pequeños recipientes.

Un equipo portable de descarga neumática para llevar pequeños bultos, o descargar via manguera o tubería temporal en silos existentes

Un equipo de transportación mecánica para descargar el flete en pequeños recipientes.

La tubería de prueba será diseñada de manera que los arcos y las vueltas de las tuberías serán lo más grandes posibles para evitar arrugas y dobleces indeseables en la tubería.

Durante la prueba las condiciones de descarga y operación que deberán ser observadas serán las que se describen en la tabla que a continuación se presenta. Esta misma tabla da las consideraciones que se deben seguir cuando se diseñe una estación de descarga del material de los transportes.

CARACTERISTICAS DESEABLES Y CONDICIONES PARA LA DESCARGA DE TRANSPORTES.

OPERACION REQUERIDA

Estación de descarga para camiones.

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES

- 1.- Deberá estar en un area plana.
- 2.- Deberán marcarse perfectamente bien los puntos donde se colocarán los surtidores de descarga.
- 3.- En las calles o pasillos transitados por obreros, tendrán techos a prueba de agua, los cuales serán ligeros de manera que puedan ser manejados manualmente.
- 4.- Las zonas de descarga serán provistas con sujetadores para llantas.
- 5.- Proveer con luces nocturnas elevadas para prevenir colisiones con otro vehiculo.

Conecciones a carros y trailers.

- 1.- Las conecciones deberán ser diseñadas de manera de eliminar el trabajo humano debajo de los vehiculos y en espacios estrechos.

2.- Las conexiones deberán ser de manera que un solo hombre los pueda manejar con facilidad.

3.- Las conexiones de mangueras deberán ser de cierre rá-  
pido o del tipo de junta empalmada.

4.- Dejar un claro entre la tolva de descarga del transporte y el camino o ruta, para la insercion de servicios de descarga ó enlaces.

5.- Los surtidores de descarga de los transportes deberán ser equipados con puertas sobre las cubiertas, de manera de minimisar el derramamiento de polvo cuando se hacen las conexiones.

Acceso a cubiertas de  
carga

1.- La parte superior de los transportes deberán tener barras sugetadoras para la escalera, de manera de auxiliar al operador cuando el vehículo se mueva.

2.- Las cubiertas para los transportes deberán ser de abertura facil sin el uso de herramientas y deberán tener acoplado re-  
lleno para protegerse contra el agua.

Filtros para ventiladores.

1.- Los filtros de ventiladores deberán ser ligeros para que sean manejados por un solo hombre y accesible desde la parte superior sin necesidad de levantamientos.

2.- Los filtros deberán ser fácilmente enl<sup>u</sup>eados a las cubier<sup>tas</sup> de carga usando el mismo ser<sup>vicio</sup> de empalme usado en la cubierta de seguridad.

3.- Los filtros deberán ser di<sup>si</sup>ñados de manera que puedan ser limpiados despues de la des<sup>carga</sup>, pero antes de separar los polvos, de manera que estos cai<sup>gan</sup> dentro del transporte en lu<sup>gar</sup> de en el suelo de la plan<sup>ta</sup>.

### 1.3 OPERACION NECESARIA PARA ENCONTRAR LAS NECESIDADES DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCION.

El departamento de producción y operación de la planta requiere de ciertas consideraciones cuando se contempla la instalación de un sistema de transportación neumática ya sea para la recepción, manejo y/o almacenamiento del material.

En las operaciones de recepción de material es necesario tener en consideración algunos factores, para que de esta manera podamos estar seguros del buen diseño del sistema de transportación, algunos de éstos factores que deben ser tomados en cuenta, son los siguientes.

Pesado del material.

a.- El transporte deberá ser pesado de preferencia en la planta al ser recibido el material.

b.- Al ser pesado el material se deben tomar en cuenta las cargas ocasionadas o debidas a lluvia, nieve o hielo.

c.- Después de la descarga del material es aconsejable hacer una inspección visual del transporte para asegurarnos del completo vaciado del camión e impedir el retorno del transporte con una excesiva cantidad de material, especialmente en vehículos acondicionados con un sistema de autodescarga.

Muestreado del Material.

a.- La carga deberá ser muestreada para asegurar su descarga en el silo conveniente, así como para confirmar que el material se encuentre en buenas condiciones, de acuerdo a las especificaciones.

b.- El tiempo de espera antes de la descarga, podrá prolongarse el tiempo que sea necesario, hasta estar totalmente seguros de el tamaño de partícula del material, corresponde exactamente al mencionado en la especificación del material, siempre y cuando este análisis sea necesario.

c.- El arreglo en el sistema de descarga, deberá ser hecho para poder transportar material, ya sea contaminante o de extrema pureza, de manera tal que el material en cuestión no entre nunca en contacto con el medio ambiente.

#### Descarga del Material.

a.- Las características que debe tener el operador que descargará el material deberán ser las siguientes; Tener conocimiento de los transportes de autodescarga, tener conocimiento de la operación de una central de descarga y del movimiento que se realiza en una bodega, tener ciertos conocimientos acerca de la operación de la planta, tener los suficientes conocimientos como para poder realizar inventarios periódicos de las existencias del material de la planta.

b.- La selección de los controles requeridos puede ser un control manual, siempre y cuando el centro de descarga este adyacente a la central de almacenamiento, semiautomático cuando el personal sea escaso, y las áreas de almacenamiento y descarga se encuentren separadas.

c.- Para protección y facilidad de instalación de la estación de descarga, es necesario realizar un estudio que involucre los siguientes puntos: Disponer de un area techada la cual tendrá como función principal la de proteger contra las inclemencias del tiempo todas las operaciones de descarga que se lleven a cabo en esa area. Contar con un sistema de acceso para maniobrar con los transportes de descarga. Contar con un area lo suficientemente grande para poder evitar interferencias debidas a movimientos de otros transportes en la misma area; disponer de un sistema de protección contra los peligros que involucraría la ruptura de una conexión y el esparcimiento del material por la misma razón. Tener la seguridad de que el sistema de descarga es lo suficientemente capas para que la maniofra de descarga sea rápida y eficiente.

d.- La rapidez de descarga y el tiempo total de descarga disponible son otros factores que deben entrar en la consideración del diseñador.

Dentro de la operación de almacenamieto los principales factores que afectan el diseño y por lo tanto que se deben tomar muy en cuenta son los siguientes:

Llenado.

1.- La capacidad mínima o el volúmen mínimo requerido para el almacenamiento, deberá ser uno y medio veces mayor que la capacidad máxima del transporte.

2.- El máximo volumen de almacenamiento requerido en la planta, necesita de un estudio que involucre los siguientes puntos: Confianza de transportación, Distancia desde el punto de transportación, efecto de la dilación en la recepción del material debido al mal tiempo, problemas con el transporte, accidentes, area

disponible para el sistema de almacenamiento, demandas del proceso etc. etc.

Control de nivel. Para instalar el control de nivel es necesario hacer las siguientes consideraciones

- 1).- Contar si es posible con un control automático o manual.
- 2).- Se requieren indicadores continuos de nivel o en su defecto indicadores de alto, medio y bajo nivel.
- 3).- Un sistema de chequeo de flujo de material que es utilizado, ya sea visual, sonoro o por pesada.

Ventilación.

Los factores a considerar son los siguientes.

- 1).- Necesidad de un sistema colector de polvos.
- 2).- Un sistema de recolección de polvos que serán producidos por el fraccionamiento de la materia a transportar.
- 3).- Donde será localizado el colector de polvos en el exterior ó en el interior de alguna construcción.
- 4).- A donde descargarán los ductos del venteo del aire.
- 5).- Que peligros involucraría una ruptura o desgarramiento de las bolsas del filtro.

Sistema controlador de vaciado.

Este sistema requiere del estudio de los siguientes puntos.

- 1).- Rapides de vaciado.
- 2).- Sistema de vaciado ya sea por gravedad, por medio de transportadores mecánicos, electricos o neumáticos, o por medio de inductores mecánicos de flujo.

3).- Sistemas de inspección y acceso para la limpieza.

4).- Provisión de protección para el personal de inspección, durante el llenado y durante el vaciado del sistema.

#### 1.4 TIPO DE SISTEMAS DISPONIBLES PARA TRANSPORTAR EL MATERIAL

Los términos usados para describir a los varios sistemas de transportación neumática, son aún confusos e inexactos. Sin embargo existen 3 sistemas los cuales son comercialmente disponibles, a continuación haremos una breve descripción de estos sistemas y en el capítulo siguiente se hará una descripción más profunda de estos sistemas.

a).- Sistemas en los cuales el material entra en una corriente de aire, ya sea bajo una presión negativa o positiva. Estos sistemas comprenden los sistemas comúnmente llamados, sistemas de presión positiva o sistemas de presión negativa o vacío y las modificaciones de estos, así como los sistemas presurizados y de vacío, y los sistemas cerrados.

b).- Sistemas en los cuales el aire y el material son intermezclados simultáneamente, a la entrada de la línea de transportación. Este sistema se asemeja al del primer tipo, en el cual el material entra en una corriente de aire, excepto que en este caso el aire y el material son íntimamente intermezclados en un tipo especial de alimentador, a la entrada de la línea de transportación, resultando una corriente densa que se va a transportar.

c).- Sistemas en los cuales el aire entra en una masa del material, para producir el flujo de ambos. Este tipo de sistemas comprende los sistemas de tanque presurizado de los trailers y en las plantas los conocidos sistemas de tanques insuflados (Blow-Tank), como se verá mas tarde, esta subdivisión es una subdivisión de una subdivisión, en donde se encuentran los sistemas neumátiu puros, mecánico - neumático, principalmente y en segundo termino los trnsportes por gravedad activados con aire.

#### 1.5 GRADO DE CONTROL DEL MATERIAL PARA ENCONTRAR LOS REQUERIMIENTOS ECONOMICOS DE OFERACION.

El mejor camino para seleccionar los controles para un sistema de transportación neumática es preparar una lista de operacones mecánicas básicas requeridas para arrancar y para el sistema, y una lista de las necesidades existentes para el buen funcionamiento del sistema, los cuales serán enlistadas por el departamento de producción, para que de esta manera, las operaciones de este departamento sean más sencillas, funcionales y eficientes.

La elaboración de un diagrama unifilar que muestre las necesidades dentro de un sistema de control integrado, revelará la complejidad de lo que originalmente parecía como un simple sistema de transportación. No es raro encontrar que la mayor porción de los costos finales de la instalación del sistema se enfoque a los controles electricos.

Los tipos básicos de control, son manual, semiautomático y totalmente automático.

Bajo un control manual, los indicadores de nivel y alarmas muestran al operador que alguna tolva de proceso requiere material por ejemplo, el operador entonces presiona los botones de arranque del sistema de transportación. En el punto de recepción, un indicador o alarma indica al operador si el silo o la tolva se encuentra llena y es cuando el operador procede a desconectar el equipo en el orden inverso a la secuencia de arranque, permitiendo un cierto plazo para permitir que el aire limpie completamente la línea de transportación.

Cuando es usado un control semiautomático, las condiciones que prebalecen en el sistema son las siguientes: El operador es el encargado de alinear el equipo para permitir el flujo de material del punto de suministro al punto de descarga, es entonces cuando el operador oprime un simple boton o acciona un switch selector que inicia la operación de transporte en la secuencia debida. Cuando el receptor en el punto de descarga esta lleno, el indicador de alto nivel cierra y detiene el equipo, también en la secuencia correcta y dá un cierto tiempo para permitir que el flujo de aire limpie completamente la línea. Por último, el operador coloca el equipo en la posición en que se encontraba antes del arranque o el inicio de la transportación.

En un sistema totalmente automático, la situación es diferente, el indicador de bajo nivel de la tolva o silo receptor, es el aparato encargado de dar la señal para el arranque automático del sistema de transportación, es entonces cuando todas las compuertas y accesorios de la línea de transportación son colocados en la correcta posición automáticamente, y el inicio de la transportación es efectuado en la secuencia apropiada, todo este trabajo se efectúa automáticamente.

Una señal de alto nivel en el equipo receptor, indica cuando el silo o la tolva se encuentra lleno, entonces el equipo es detenido automáticamente en el sentido inverso al arranque, dejando al igual que en los casos anteriores, un cierto tiempo para permitir que el aire limpie totalmente la línea. Mas adelante en el capítulo correspondiente a la descripción de los sistemas se profundizará en este tema.

#### 1.6 EL VENDEDOR QUE SUMINISTRARA EL PAQUETE DEL EQUIPO DE TRANSPORTACION NEUMATICA.

Existe una gran cantidad de perspectivas en el mercado, de los sistemas de transportación neumática, de manera que el comprador tenga la completa seguridad de que se le proporcionará una gran ayuda y el total esfuerzo por parte del vendedor para que el sistema de transportación funcione en óptimas condiciones.

Sin embargo dada la enorme cantidad de vendedores es necesario, como primer paso, realizar una selección de estos. Esto puede resultar un trabajo muy tedioso y en ciertos casos, hasta puede resultar arriesgado, puesto que una gran cantidad de esta información no es lo suficientemente objetiva como para tener una total seguridad al hacer la selección del vendedor.

A continuación mostramos 3 tipos principales de información y algunas de sus características.

El primer tipo de información y de la cual podemos hechar mano de ella en cualquier momento, son los directorios de fabricantes, esta información nos proporciona una gran lista de firmas que producen transportes neumáticos. Por medio de esta información podemos conocer en ciertas ocasiones, la posición financiera que guarda esta firma o fabricante del transporte, desgraciadamente por medio de esta información no podemos obtener ninguna información acerca del "Know-How" o el equipo disponible par la transportación del material que en específico se transportará.

El segundo tipo de información es el de tipo propaganda comercial, este tipo de información, generalmente tiene las siguientes características: Puede citar una instalación de un sistema de transportación neumático, en el cual ha resultado todo un éxito, el problema es que este es un sistema específico, para un material específico, el cual generalmente tiene características distintas a las características del material que se va a manejar en este nuevo sistema de transportación, que se va a construir.

En este tipo de información así mismo, se puede mostrar un diagrama de flujo real o imaginario (casi siempre imaginario), otros muestran fotografías de un sistema de transportación neumática el cual ya ha sido instalado, pero en esta fotografía no se nos indica cuanto del equipo que aparece en la foto es suministrado por el fabricante y cuanto de ese equipo tiene que ser adquirido por el comprador.

En este tipo de información, también se divulgan los nombres de grandes corporaciones, sin que nuevamente se nos indique la cantidad o tipo de equipo que vende dicha compañía.

El tercer tipo de información, se refiere a los artículos o folletos suministrados por el vendedor, esta información, al igual que la anterior, puede tener varias formas, estos han sido preparados por los vendedores, o el personal de ingeniería para describir una eficiente instalación o para introducir una nueva línea de equipo, esta información es de tipo general, solo sirve para dar una pequeña descripción, del sistema, pero generalmente falta la información esencial y detallada, para tener un real conocimiento del sistema de transportación neumática, este tipo de información se la reserva el vendedor para si mismo, Algunos artículos describen los problemas encontrados en un sistema particular, en estos artículos se puede aprender algo sobre como se pueden evitar ciertos problemas específicos, pero en estos artículos también se puede dar una cuenta de las trampas empleadas por los fabricantes para vender su producto.

### CAPITULO III

#### DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS.

En este capítulo se desarrollarán las descripciones de los sistemas neumáticos y de los principales equipos que en estos sistemas son utilizados.

Como primer punto a tratar y para poder darnos una idea mas general de los tipos de sistemas neumáticos existentes, se dará una descripción de la manera en que son clasificados estos sistemas de transportación y al mismo tiempo explicaremos cual es el funcionamiento de todos y cada uno de ellos. Recordemos que en el capítulo anterior se mencionó que, en la clasificación de los sistemas de transportación existen zonas aún un poco oscuras y aún más, existen ciertas discrepancias a este respecto de un autor a otro, por lo que no hay que descartar la posibilidad que en esta tesis pudiese llegar a encontrarse alguna contradicción con algunos autores, sin embargo el criterio seguido para la clasificación de los sistemas de transportación neumática en esta tesis, esta de acuerdo con una gran cantidad de autores.

Existen 3 tipos de transportadores neumáticos: Sistemas neumáticos, mecánicos neumáticos y los de gravedad activados con aire.

SISTEMAS POR GRAVEDAD ACTIVADOS CON AIRE, los sistemas por gravedad activados con aire, son esencialmente camas fluidizadas, en las cuales el material es soportado y transportado a través de un ducto de superficie porosa, por donde el aire penetra para formar la cama fluidizada.

El ducto debe estar ligeramente inclinado, para poder permitir que el sólido fluya a través de él.

Puesto que este sistema de transportación es relativamente sencillo, no profundizaremos más en él, ya que podríamos cometer el error de desviarnos de nuestro objetivo principal que son los sistemas positivos, negativos y la mezcla de ambos.

SISTEMAS MECANICO - NEUMATICO. Existen 2 tipos principales de estos sistemas, uno de ellos usa un transportador tipo tornillo para introducir el material dentro de la línea de aire.

El otro tipo tiene una variación, puesto que en lugar de utilizar el alimentador de tornillo, usa un alimentador rotativo.

Este tipo de sistemas de transportación, es colocado generalmente abajo de el equipo suministrador del material, como si los y tolvas, el alimentador rotativo, introduce el material dentro de la corriente de aire que transportará este material. En ambos tipos de sistemas neumáticos el aire se encuentra en una pequeña proporción con respecto a la cantidad de material que será movido. La corriente de aire que arrastrá al sólido se mueve a relativamente bajas velocidades (2000 ft/min. aprox) y a una presión media de 45 psig o menores.

El rango de capacidad de transportación es amplio, aproximadamente de 100 a 5000 ft<sup>3</sup>/hr. y la distancia óptima de transporte es alrededor de 200 ft. El inconveniente de estos 2 tipos de sistemas es que se limitan a materiales finamente pulverizados, con un cuidadoso control del tamaño de la partícula.

El sistema mecánico-neumático que utiliza el alimentador de tornillo, está neumáticamente capacitado para trabajar a una presión media de 15 a 45 psig, con la potencia de alimentación controlada automáticamente de acuerdo a la carga de trabajo.

El sistema comprende una bomba estacionaria de tipo tornillo, un compresor de veleta, para baja presión, la línea de transportación y un indicador de alto-bajo nivel, en el silo receptor del material.

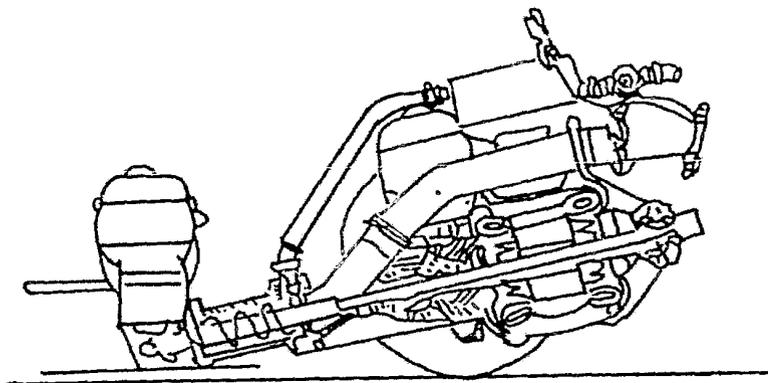
La secuencia de operación es la siguiente; primero se llena la tolva de alimentación con el material a transportar, el llenado de la tolva será por gravedad, después el material es expulsado por el tornillo, el material avanza a través del ducto del tornillo, en donde es progresivamente compactado hasta una densidad en donde el material pueda ser manejado automáticamente, el material es introducido en una cámara mezcladora, en donde es fluidizado por medio del aire comprimido que es introducido por medio de una serie de voquillas, el material finalmente es transportado dentro de la línea de transportación.

El sistema es totalmente cerrado y libre de polvo por lo que se recomienda para manejar materiales combustibles, el equipo se presta para su automatización, y cuando es automatizado, este puede ser manejado por un solo hombre.

En general este sistema es empleado para transportar materiales pulverizados y secos, los cuales tienen una finesa tal que el 100% de este polvo pueda pasar a través de una criba de 75 mallas y por lo menos que el 75% pase a través de una criba de 100 mallas, el 60% a través de 200 mallas y finalmente que el 45% pase a través de 325 mallas.

Otro tipo de materiales que han sido transportados acertadamente con algunas modificaciones, o con adaptaciones especiales; son las sustancias higroscópicas.

La temperatura máxima permisible es de 350°F (445°C) la capacidad de bombeo es de 4 a 200 ton/hr. y el diámetro de la tubería se encuentra en un rango de 3" a 10".



SISTEMA MELANILD-NEERATILD PARA MANEJAR CEMENTO  
DESARROLLADO POR FULLER KINYDAI.

TOMADO DE: CHEMICAL ENGINEERING ABRIL-12-1965

SISTEMAS NEUMATICOS PUROS. Existen 3 tipos básicos de sistemas neumáticos puros:

- 1.- Presión positiva.
- 2.- Presión Negativa.
- 3.- Sistemas Positivo-Negativo.

Estos sistemas son clasificados a su vez en: alta, media y baja presión.

Sin embargo los límites de cada una de las clasificaciones varía de un fabricante a otro, pero hemos podido apreciar que los parámetros más generales son:

Para presión alta, el sistema opera alrededor de 125 psig, este sistema es usualmente instalado para mover materiales a unas distancias de varios cientos de pies.

Los sistemas de alta presión se usan para manejar polvos o minerales finamente molidos y que no reaccionen con el calor.

Los sistemas de media presión operan en el rango de 7 a 15 psig (usualmente en el rango de 7 a 12 psig, aunque algunas compañías suban hasta 45 psig la operación de sus sistemas de transportación neumática para presión media.)

Estos sistemas son usados generalmente en donde el material a transportar se suministra por un solo punto pero el material se deberá descargar a varios puntos, como por ejemplo la descarga a tanques de suministro a unidades de proceso.

Sistemas de baja presión algunas veces llegan a trabajar con presiones tan pequeñas como 3 psig, este tipo de sistemas es utilizado en 2 clases de instalaciones principalmente, por ejemplo, cuando se tiene que utilizar grandes tuberías, debido a que el material transportado se expande cuando es aereado.

La otra aplicación es en colección de polvos, podemos notar una relativa baja capacidad de operación por lo que se refiere en términos de peso del material .

Ademas este tipo de sistemas requiere que la realación de material a aire sea bajo.

Este sistema neumático puro requiere de un ventilador rotatorio para mover la columna de aire y también requiere de un alimentador tipo air-lock para regular la entrada de material que será transportado.

Las velocidades de transportación promedio para materiales de facil fluidificación es de 3000 a 6000 ft/min. cuando es utilizado un sistema de vacio a baja presión, se requiere que el sistema funcione entre 9 y 14 pulgadas de mercurio.

En todos los sistemas de presión positiva, la corriente de aire es generada por un ventilador centrífugo de desplazamiento positivo. El aire es introducido dentro de la tubería por medio de un inyector.

Una vez que la corriente de aire se ha equilibrado dentro de la línea de transportación, el material es alimentado dentro de la línea por medio de un alimentador tipo air-lock.

DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTACION.

SISTEMAS DE TRANSPORTACION NEUMATICA NEGATIVA O ACTIVADA POR VACIO. Este tipo de sistemas se caracteriza por la manera en que se transporta el material dentro de la corriente de aire, ya que el material es succionado en lugar de ser empujado por la corriente de aire.

En estos sistemas una corriente de aire es producida por un ventilador centrífugo o de desplazamiento positivo, puesto que en la succión de este ventilador va a ser conectada la línea de transportación aunque no directamente.

El material será arrastrado directamente a la línea de transportación a través de una boquilla o tolva de alimentación. El material puede también ser alimentado por medio de un alimentadorotatorio tipo air-lock, a este alimentador se le suministrará el material por gravedad o por medio de algún transportador mecánico, una vez que el material se encuentra dentro de la corriente de gas, el material se transporta a un silo receptor separador, en el cual el material es separado del aire y el material es descargado por medio de un segundo alimentador tipo rotatorio, a uno o más silos de almacenamiento.

El aire de transportación pasa a través de un filtro para polvos, de donde se dirige a la succión del mecanismo productor del vacío, de ahí se descarga a la atmósfera.

El silo receptor separador (también llamado recipiente filtro) usados en este tipo de sistemas de transportación neumática negativa, son generalmente una combinación de ciclón separador y un filtro de polvos.

El funcionamiento de este tipo de silos es el siguiente: el aire transportador del material, entra tangencialmente en un espacio anular, en el fondo cónico de la sección receptora o separadora. En esta parte del separador, se encuentran unos baffles los cuales dirigen al material hacia abajo en dirección del mecanismo de descarga del silo.

De esta manera es como se separan los sólidos de mayor tamaño.

El aire con polvo se separa de los sólidos mayores y mientras estos se dirigen hacia abajo, el aire con polvo se dirige hacia la parte superior del silo, o sea a la sección de los fil tros para polvos, estos filtros dejan el aire libre de polvos, el aire ya filtrado es jalado dentro de la línea de succión del equipo productor del vacío.

Los filtros de polvo colocados dentro del silo filtro, contienen elementos que en principio son similares a los usados en los colectores de polvo ordinarios, pero se encuentran arreglados de tal manera que la carga de polvo se descarga directamente dentro de la sección de separación, durante la limpieza del filtro.

El sistema de transporte en vacío, tiene algunas ventajas sobre el sistema de transporte neumático positivo. Probablemente la mas importante ventaja sea la de que en este tipo de sistemas neumáticos, no existen fugas de aire al exterior, ya que en cu al qu ie r fuga de aire que existiese en la tubería, el aire sería succionado hacia el interior de la tubería, y no hacia el exterior como sucede en los sistemas neumáticos positivos, de este modo la inyección de polvos a la atmosfera por cuestión de fugas durante la transportación queda virtualmente eliminada, lo cual es muy importante cuando el material transportado es toxico o explosivo.

Este tipo de sistemas de transportación es frecuentemente usado en plantas donde se tenga un proceso en el cual sea necesario extraer una serie de ingredientes o materiales de varios sitios o distintos puntos de la planta, en este sistema se tiene la ventaja de que de ser necesario una medición exacta de todos y cada uno de los materiales, existen mecanismos como compuertas automáticas, pesadores, desviadores de flujo, etc, etc, que facilitan en sumo grado estas mediciones.

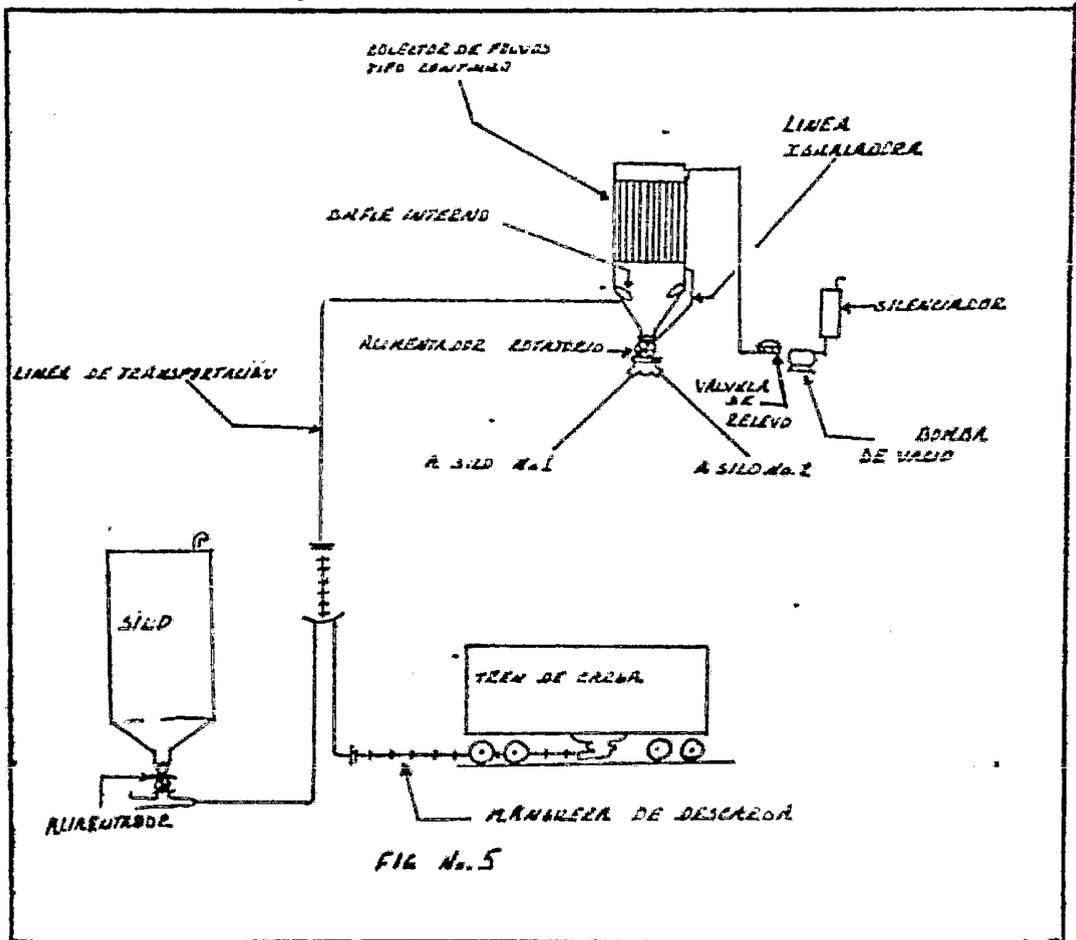


FIG No. 5

SISTEMAS MIXTO POSITIVO-NEGATIVO. Uno de los mas versátiles tipos de transportadores neumáticos es el sistema combinado o mixto de los sistemas positivo y negativo.

Como se pudo observar el sistema neumático negativo, es aplicable cuando el material transportado es recogido de varios puntos, pues bien en el sistema de transportación neumática mixta, se tienen las mismas cualidades que en el sistema de transportación neumática negativa, o sea que también es útil en donde se tenga un proceso en el cual el suministro de material se haga por varios puntos. Pero además, también tiene la ventaja del sistema de transportación neumática positiva, o sea que puede descargar el material a transportar en varios puntos al mismo tiempo, o sea en resumen, los sistemas de transportación neumática mixta son usados en procesos, los cuales involucran múltiples alimentaciones y múltiples descargas.

El funcionamiento de los sistemas neumáticos mixtos es el siguiente: El vacío extrae al material a transportar del sitio de alimentación y lo introduce dentro de la corriente de aire que lo transportará. El material es descargado dentro de un equipo intermedio como puede ser una tolva, silo ó dentro de una máquina de proceso. El resto del camino el material es conducido por medio de una corriente de aire, pero en un sistema de presión positiva.

El sistema mixto es de gran valor cuando la rapidez de procesamiento del material no es equivalente o igual a la rapidez con la que el material se alimenta al proceso o se almacena, puesto que cada uno de los 2 lados puede ser operado independientemente a diferentes tiempos o simultáneamente.

Asi por ejemplo, camiones, carros tanque del ferrocarril puede ser vaciados por medio de succión en un sistema de transportación neumático negativo, mientras que con una rapidez igual o diferente y al mismo ó diferente tiempo, el lado de la línea que corresponde al sistema neumático positivo puede estar alimentando al material a algun silo, almacen o tolva, o dentro de la línea de procesado del material.

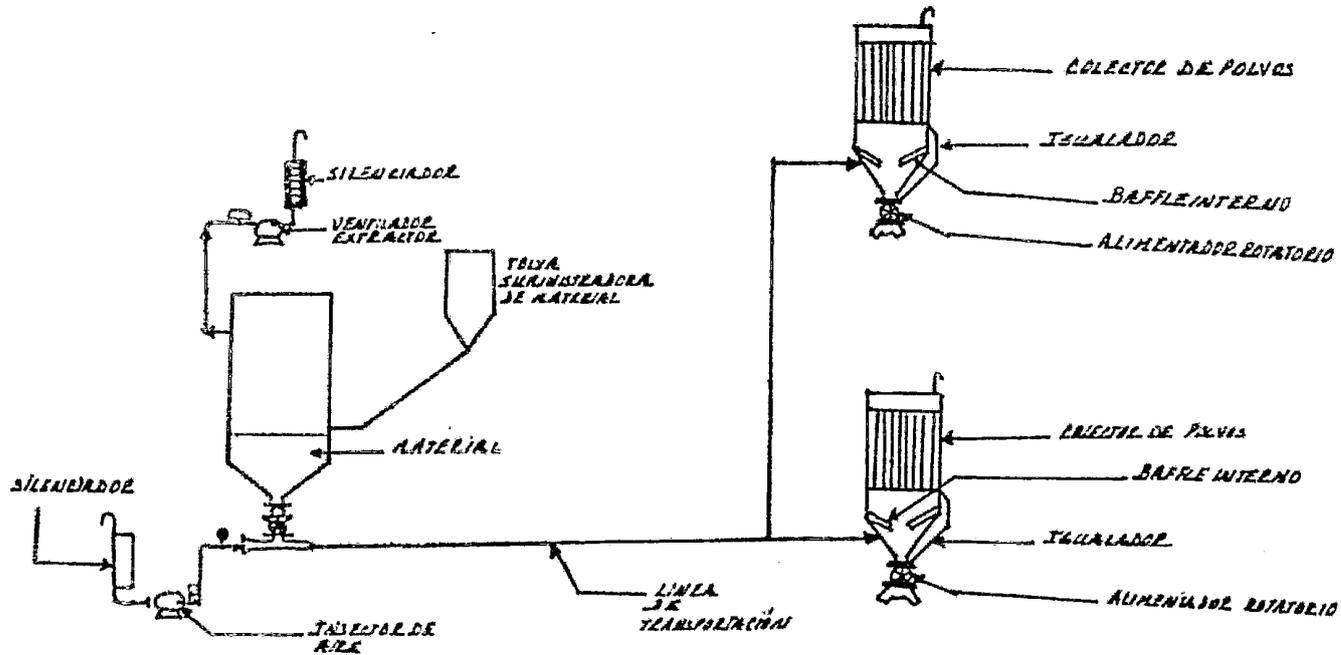


FIG. No 6.

TESIS PROFESIONAL
DIAGRAMA. SIST. DE TRANSP. NEUMATICO MIXTO
FAC. DE QUIMICA UNAM 1992
BILENTELD VICENTE DIAZ FRANCISCO

SISTEMA CERRADO. Esto es esencialmente el sistema descrito antes, pero con el aire o el gas transportador retornado a través de la tubería de succión del equipo suministrador de aire, en lugar de descargarlo a la atmósfera.

La siguiente figura muestra un arreglo típico de un sistema de transportación neumático cerrado.

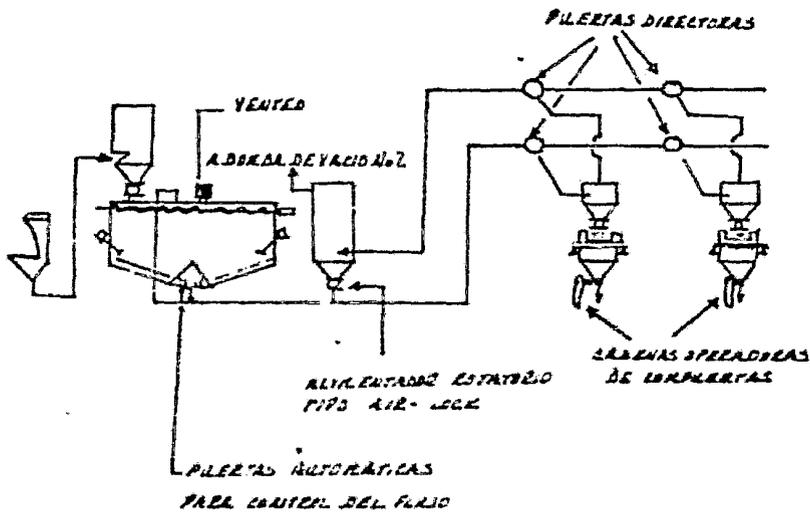


FIG. No. 7

El sistema neumático de la figura anterior muestra un sistema cerrado, el cual está accionado por medio de vacío. Aunque también existe el sistema accionado por medio de presión.

En este sistema el material es succionado de dos tolvas, la de almacenamiento y la receptora separadora, por medio de un sistema de vacío, el material es descargado a varios puntos de donde se translada a tolvas de alimentación al proceso.

El arreglo del sistema neumático cerrado es usado principalmente cuando se tienen las siguientes situaciones:

a).- Para prevenir el envenenamiento producido por partículas peligrosas descargadas a la atmósfera.

b).- Para prevenir la absorción de humedad de la atmósfera por partículas higroscópicas que serán transportadas.

c).- Para prevenir la contaminación de materiales muy puros.

d).- Cuando se tienen materiales altamente inflamables y explosivos, puesto que se pueden transportar con gases inertes, con lo que a su vez se reducen las posibilidades de alguna explosión, o de fuego.

e).- Cuando el material no puede ser separado por medio de un filtro malla.

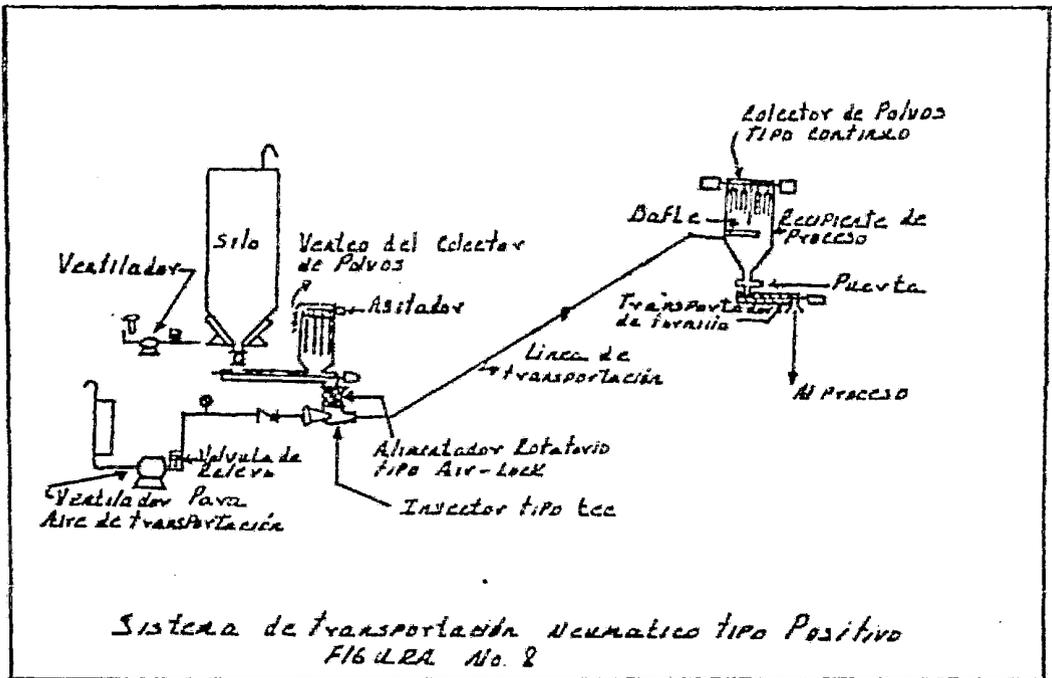
f).- Cuando el material tiene partículas muy pequeñas y ligeras por lo que puede ser manejado por medio de un transporte neumático cerrado.

Como describe Young(1) un sistema neumático usa o requiere los siguientes elementos. Una válvula rotatoria, que alimenta el material dentro de una corriente de aire ya sea a través de un ca bezal o a través de un soplador alimentador rotatorio, cuando esto

es posible.- Un ciclón separador equipado con una válvula rotatoria tipo "a prueba de aire" la cual desaloja al material de la tolva, sin permitir la entrada ni la salida de aire de la tolva o silo .- Un ciclón limpiador de aire del material que transporta, y cuando es necesario para terminar de limpiar y clarificar el aire, se usan al final o antes de la entrada del aire al ventilador, un silo, el cual tiene adaptado un sistema de filtros bolsa, con lo que el aire queda exento de cualquier partícula de material que pudiese dañar al ventilador o compresor que suministra rá el aire al sistema.- Descargas de material, que son creadas con la instalación de válvulas directoras en la línea de transporta ción, estas válvulas directoras, son usadas para desviar el flujo hacia cada una de las tolvas o silos individuales de cada una de las salidas, del material, el aire es retornado al sistema de transportación, después de habersele eliminado todos los sólidos.

Los sistemas con múltiples descargas usualmente usan las líneas de retorno como una línea común a la cual van conectados cada una de las descargas de los silos que tiene cada una de las salidas. Los ciclones de cada una de las descargas están equipadas con una válvula rotatoria para su descarga.

SISTEMAS NEUMATICOS POSITIVOS. En estos tipos de sistemas la corriente es establecida en la línea de transportación, por medio de un ventilador centrífugo o de desplazamiento positivo, el cual introduce el aire a través de un inyector.



El material es recogido del tanque de almacenamiento por medio de gravedad o por medio de un transportador mecánico, el cual descarga al material en una válvula rotatoria y alimentadora del tipo "a prueba de aire"

La válvula alimentadora descarga el material dentro de una corriente de aire, la cual transporta el material a través de la línea a los receptores de este material, los cuales pueden ser uno o varios. Cada uno de estos receptores deberá tener un sistema de venteo para evitar una sobre-presión en estos receptores. Estos receptores pueden ser tolvas o silos.

Este sistema es generalmente aplicado cuando deberá ser descargado (el material) a varios puntos de descarga, los cuales pueden estar localizados a una considerable distancia del punto de suministro o alimentación y cuando la caída de presión del sistema de transportación es mayor de 10 a 12 in. de mercurio, este es el límite normal de la presión de operación (y es el límite de caída de presión permitida para la mayoría de los sistemas de transportación al vacío.)

Como dijimos antes los receptores son generalmente silos o tolvas que tienen un venteo a la atmósfera y también tienen instalado en su interior unos filtros simples o con multicompartimientos, el tipo de filtros depende de las características del material que será transportado.

En algunas instalaciones los filtros son montados en la parte superior de la tolva formando la bóveda de estos, pudiendo de esta manera descargar el polvo filtrado dentro del silo o tolva.

Los filtros para polvos se requieren principalmente en dos puntos en un sistema de transportación neumática positiva: Primero sobre o cerca de la válvula alimentadora que descargará el material dentro de la línea de transportación.- y Segundo en los receptores del material para que por medio de este sistema de ventilación se eviten las descargas del material fino a la atmosfera.

(Ver figura No. 8)

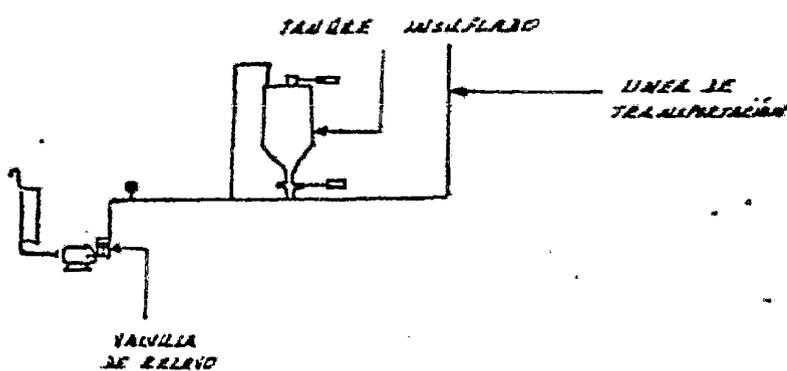
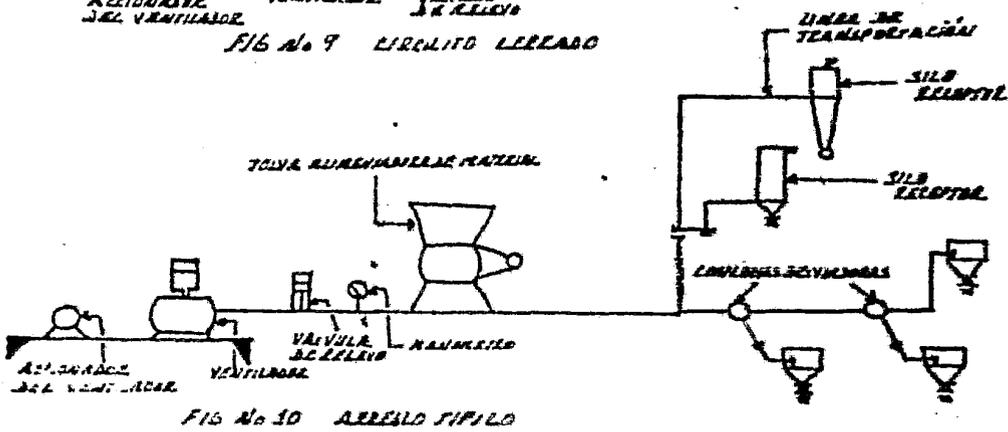
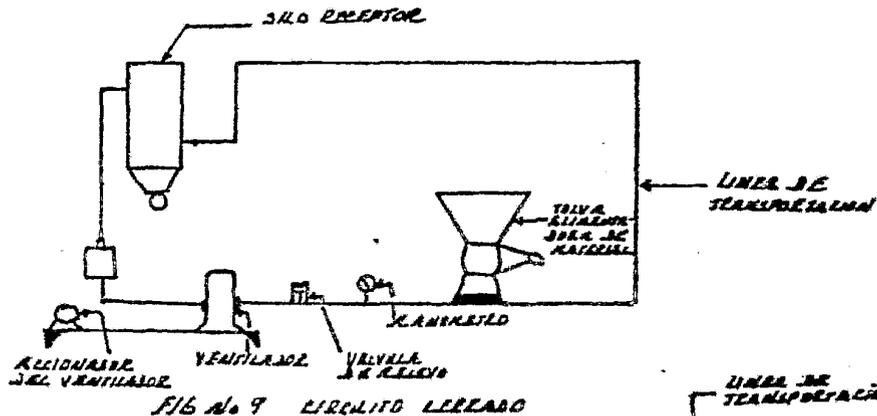
A manera de resumen se presenta en seguida el funcionamiento de este tipo de sistemas a presión.

Primero la corriente de aire es producida por medio de un ventilador centrífugo o de desplazamiento positivo, una vez producida la corriente de aire, el material es alimentado dentro de la línea de transportación por medio de una válvula de alimentación del tipo "a prueba de aire", el material es transportado a los puntos de recepción, los cuales deben tener venteo.

Cuando se tienen varios puertos de descarga, el sistema deberá tener instaladas en la línea de transportación, válvulas directoras de flujo, las cuales se encargarán de dirigir al material hacia los distintos puntos en donde se desea descargar al material.

Los sistemas de este tipo usan una pequeña cantidad de aire, para mover grandes cantidades de sólidos.

En seguida se presentan algunos de los principales arreglos de: ventilador, alimentador, ciclón ó tolva, que se usan en la industria para este tipo de sistemas de transportación neumática positiva.



TESIS PROFESIONAL
DIAGRAMA, RELEVES SIST. DE TRANSP. MECANICAS
FAC. DE QUIMICA U.N.A.M. 1972
BRENTELLO VILENTE MARCE FERNANDEZ

Existen otros 2 tipos de sistemas neumáticos, los cuales por sus características especiales se pueden (aunque caen dentro de las clasificaciones antes mencionadas) clasificar por separado, estos sistemas son: Los sistemas llamados "Mezclado de aire", y "Aire en material".

SISTEMA MEZCLADO DE AIRE, es aquel sistema, en el cual el aire es intermezclado con el material a transportar en un alimentador especial, en efecto este particular sistema de transportación se puede catalogar dentro del sistema de transportación neumático positivo.

Este sistema opera a presiones relativamente altas y con una relación de aire v material, baja, desde el punto de descarga del alimentador en adelante, este sistema se asemeja en gran manera al sistema de transportación neumática positiva, el cual se describió anteriormente, excepto por la tubería que es más pequeña que en el sistema positivo, y el menor tamaño del filtro para polvos, puesto que los requerimientos de este se reducen.

Existen 2 tipos principales de alimentadores que son comúnmente utilizados en este tipo de sistemas, uno de ellos emplea un alimentador rotatorio especial que recibe el material directamente de la tolva alimentadora por medio de un sistema mecánico o por medio de un sistema activado por aire. El aire es suministrado al final de la cubierta del alimentador desde un compresor.

El aire entra a las bolsas del alimentador rotatorio, las cuales se encuentran a los lados del alimentador, justamente despues del llenado de las bolsas, pasa detras de la entrada de material, desde una tolva de alimentación. El aire residual en la bolsa del alimentador es venteado hacia la tolva alimentadora por medio de una co nección preventiva, que se encuentra en el alimentador, de esta ma nera, la bolsa del alimentador está lista para recibir otra carga de material.

El otro tipo de alimentador especial usa un impulsor de tornillo con una gradual disminución en el pitch, que recibe el mate rial de la tolva alimentadora por medio de un sistema de transpor activado con aire. El impulsor o transportdor de tornillo, compri me al material cuando este es forzado a pasar a través del trans portador de tornillo, el material es introducido en una cama de mezclado, en donde el material se mezcla con el aire, el cual es inyectado a presión por medio de una serie de boquillas, la mezcla es dirigida hacia la entrada de la línea de transportación por donde será transportado el material.

Este sistema es usado para transportar material semi-abrasivo a través de distancias relativamente grandes, con una peque ña cantidad de aire en la mezcla aire-sólido y en una mezcla den sa con lo cual se tiende a reducir el desgaste de la tubería.

La baja relación de aire-material usada, hace que este tipo de sistemas sea usualmente utilizado para manejar material el cual debe ser conducido sanitaria y libremente de cualquier material contaminante que existiese en el aire.

AIRE INTRODUCIDO EN MATERIAL. Estos sistemas en los cuales el aire entra en una masa de material para causar el flujo es ejemplificado por varios tipos de equipos de tanques insuflados (Blow Tank), en general este sistema comprende el siguiente equipo : Un tanque cilíndrico a prueba de presión, con un fondo cónico, el cual debe tener las siguientes características:

1.- El tanque debe tener una válvula de alimentación con un diámetro grande, esta válvula puede ser operada por medio de un cilindro de aire, debe contar también con un sello para evitar la salida de aire del tanque.

2.- Debe contar también con una válvula de venteo operada automáticamente, esta válvula deberá estar localizada al igual que la anterior en la tapa del tanque, la finalidad de esta válvula es la de liberar el aire desplazado durante el llenado.

3.- Un detector de nivel en la tapa del tanque o unos soportes de resorte, para determinar cuando el tanque esta lleno de material.

4.- Boquillas cerca del fondo del tanque, para la admisión del aire para la transportación, este aire, será suministrado de un receptor de aire a presión, de tal manera que el material es fluidizado para poder ser transportado.

5.- Un sello contra polvo en la tubería de descarga, el cual puede o no tener una boquilla de aire para aumentar la cantidad de aire fluidizado y de esta manera aumentar la fluidificación del aire con lo cual se ayuda a la transportación del material. a través de la línea de transportación.

6.- Tener un panel de control para la operación secuencial de las válvulas para el llenado y vaciado del tanque, en un ciclo automático o manual intermitente, como sea requerido. algunos esquemas de estos sistemas se presentan a continuación.

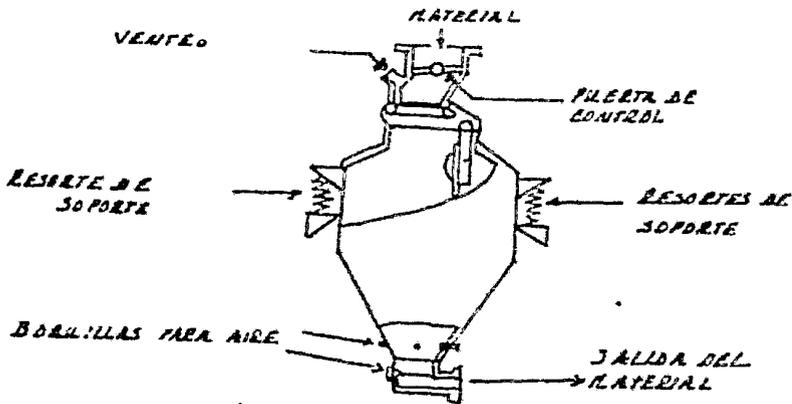


FIG. N.º 12

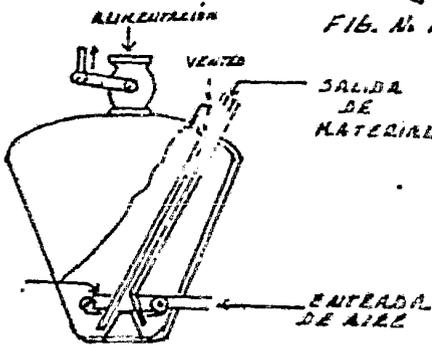


FIG N.º 13

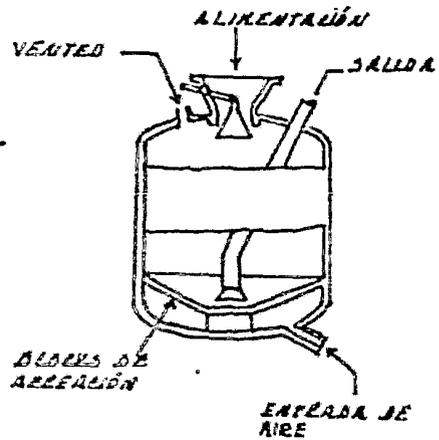


FIGURA N.º 14

El aire a presión es suministrado por un compresor, el cual descarga el aire a un receptor de aire que descarga a este aire hacia el tanque por medio de una válvula solenoide. El aire puede ser descargado directamente dentro del tanque, desde una planta de aire comprimido si esta tiene la suficiente capacidad extra, y si el aire es lo suficientemente limpio y se encuentra libre de aceite.

El arranque de este sistema de transportación es como sigue: las válvulas de venteo y de admisión de aire son abiertas, el material es introducido hasta que el tanque se encuentra lleno, lo cual se detecta por medio de un detector de nivel o por el asentamiento del tanque en los resortes que lo soportan. El aire desplazado es venteado en la tolva alimentadora del material. El detector de nivel o el relevador opeado por el peso, actúa sobre un control eléctrico para cerrar el venteo y las válvulas de admisión de material y se abre la válvula solenoide para el suministro de aire. El aire se introduce dentro del tanque, colándose a través del material y elevando la presión dentro del tanque hasta que el material comienza a fluir a través de la línea de transportación. El flujo de la corriente, la presión en el tanque insuflado y en el recipiente de aire varían a través del período de transportación como se muestra en la siguiente gráfica.

Presión del Aire en PSIA

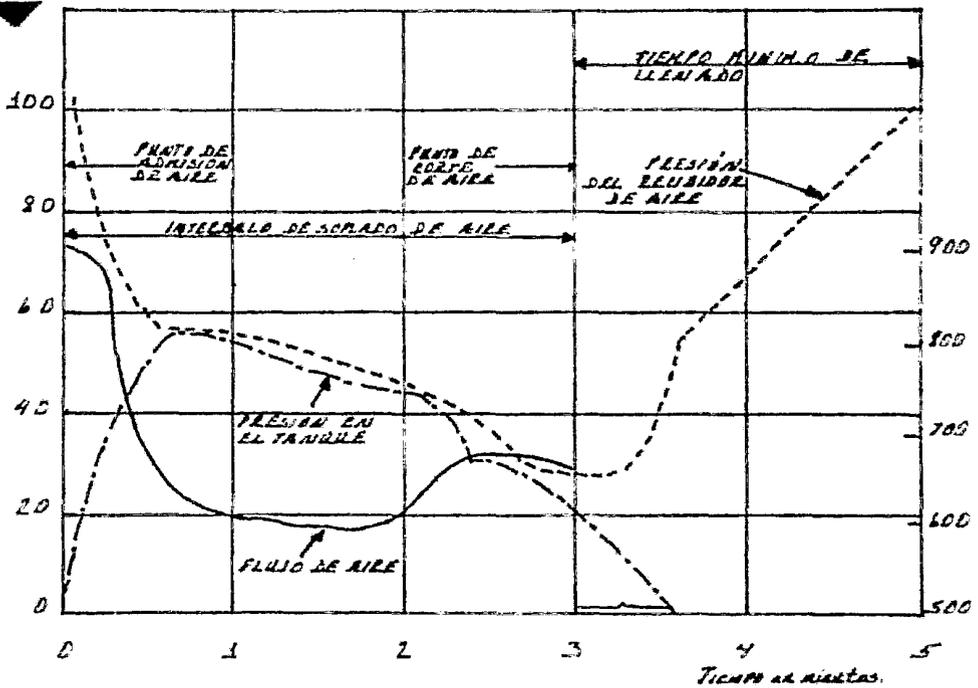


FIGURA No. 15

Tomado de: Chemical Engineering Abril 12 1965

Cuando todo el material ha abandonado el tanque y solo está fluyendo aire, un switch de baja presión, acciona unos controles eléctricos con lo que se cierra la válvula alimentadora de aire y abre la válvula de venteo y la de suministro de material con lo cual se comienza el siguiente ciclo.

#### DESCRIPCION DEL EQUIPO.

En el primer capítulo se vió como es necesario que el fabricante conosca las propiedades del material que va a transportar, como será recibido el material en la planta, como será almacenado y usado en la planta, que equipo se tiene disponible, que metodos de control son necesarios para la transportación, etc, etc.

Finalmente el comprador necesita saber como seleccionar al vendedor que suministrará el equipo y como cooperar con el vendedor para obtener unos resultados óptimos.

En el primer capítulo aboradamos todos estos puntos sin embargo, se ha dejado la descripción de los detalles del equipo y controles para el presente capítulo.

En esta sección nos ocuparemos de la descripción de las partes principales que contituyen el equipo de tansportación neumática y posteriormente, entraremos en la descripción del sistema de control del equipo.

ALIMENTADOR ROTATORIO TIPO A PRUEBA DE AIRE "AIR LOCK" El principal dispositivo para medir la cantidad de material dentro o fuera de un sistema de transportación neumática, con una mínima pérdida de aire de transportación es el alimentador rotatorio del tipo a prueba de aire.

Esta unidad es esencialmente una rueda tipo estrella, con sello para aire, provisto con espacios para el material, diseñada para impedir el paso de aire, y de acuerdo a las características del material que será manejado. El diseño del alimentador será un poco distinto cuando se trate de materiales granulados y de materiales molidos finamente. De esta manera, a través de ciertas investigaciones, la unidad puede ser fabricada, de manera de estar seguros de que los detalles de diseño son compatibles con las características del material, los detalles del diseño también afectan el tamaño del alimentador, de manera que las fugas de aire de la zona de alta presión a la zona de baja presión de la unidad, reducira la densidad de algunos materiales, con lo que se puede llegar a impedir el flujo de material dentro del alimentador.

La siguiente lista, de requerimiento funcionales y detalles de diseño para encontrar los requerimientos anteriores guiarán al fabricante en su selección de un alimentador rotatorio.

Reductor interno de fugas de aire.- estos son los pasos necesarios a seguir para reducir las fugas de aire desde la parte de alta presión a la parte de baja presión del alimentador.

1.- Usar una manguera de protección que permita la descarga de la presión en los espacios para el material a un punto de menor presión antes de la entrada del material; o usar un deflector de material en el punto de entrada del material de tal manera que el aire desplazado por el material entrando, no afecte el flujo de entrada del mismo material dentro del espacio para el material en la válvula de alimentación.

2.- Proveer a la válvula con un claro muy pequeño (.003 a .005 pulq.) entre las paletas del alimentador y la carcasa; o acon dicionar a las paletas del alimentador con una especie de sello, en sus puntos con lo cual se reducirá la cantidad de aire que se pudiese introducir hacia el interior del alimentador.

3.- Proveer de un claro muy pequeño entre los lados de las paletas de alimentación y la carcasa del alimentador en el plano de rotación.

4.- Proveer con suficientes paletas entre la entrada de ma terial y el punto de descarga del material de manera de obtener un efecto de "Labyrinth Sealing" o sea de crear una serie de sellos de manera que no sea posible ninguna fuga de aire.

Llenado y vaciado de espacios del material.- Las siguientes son sugerencias para el mejor funcionamiento de las bolsas de la válvula de alimentación para el total llenado o vaciado de los es pacios y con esto tener una eficiencia del 100% en la válvula de alimentación.

1.- Para manejar materiales compactados o en astillas es conveniente que los espacios para el material o cangilones tengan redondeados tanto el fondo como las esquinas para que el material no quede detenido en estas partes.

2.- Cubrir los espacios para el material con una cubierta tipo descarga para evitar que materiales astillados queden colgados o suspendidos dentro de la válvula de alimentación.

3.- Proveer a la línea de transportación con conexiones para la limpieza y eliminación de materiales que hayan quedado adheridos en la línea de transportación.

4.- Tomar en cuenta para el dimensionamiento de los espacios para el material, la posible disminución en la densidad del material por el aumento de tamaño en el material aireado o cuando se tiene un llenado parcial de los espacios para el material por el acomodo del mismo cuando se encuentran en trozos.

5.- Proveer al sistema con rompedores para el material en trozos antes de su entrada a los alimentadores, cuando el tamaño del material lo amerite.

Prevención de fugas al exterior. 1.- Proveer al alimentador con cajas de empaque lo suficientemente grande como para prevenir cualquier fuga de material cuando se maneje material sumamente fino ó cuando las diferencias de presión son muy grandes. 2.- Proveer a los anillos exteriores con una conexión a un suministro externo de aire en adición al embalaje en el final de la cubierta donde se encuentra la saliente de la flecha, de manera de asegurar un purgado de aire dentro del alimentador y prevenir la salida de aire y polvo.

3.- Proveer una conexión externa para purga de aire al final de la cubierta de la rueda estrella para que de esta manera se cuide de polvo el espacio que se encuentra entre el cobertizo y el final de la cubierta.

Se sugiere proveer para operación y mantenimiento del alimentador de a).- Un detector y un cabestrillo para flecha entre la caja de empaque y la conexión exterior de manera de detectar escapes de polvo y prevenir la entrada de lubricante de la conexión dentro del alimentador ó la entrada de material en la conexión. b).- Proveer de un manguito renovable para la flecha para la totalidad de la longitud de cada caja de embalaje la cual se encuentra seguida de un collarin. c).- Proveer puertas o platos para permitir el acceso al interior del alimentador por medio de espacios de chequeo, reemplazando sellos desmontables, inspeccionando y removiendo material amontonado. d).- Proveer al alimentador con una protección de amontonamiento tal como un switch de movimiento que accione algún mecanismo para limpiar todo el material que pudiese quedar amontonado dentro del alimentador. e).- Proveer de un controlador de velocidad para que por medio de este mecanismo se puedan hacer pequeños ajustes de velocidad durante el arranque para poder obtener la capacidad de alimentación deseada. f).- Proveer de acceso al final de la flecha y en el centro para checar la velocidad de rotación.

g).- Checar que cuando el acoplamiento del motor es de bandas o cadenas éste acoplamiento esté hecho de tal manera que el incremento en la tensión de la banda o cadena no afecte en la transmisión del movimiento por deformación de la chumacera.

Los alimentadores rotatorios tipo a prueba de aire, son usu  
almente uno de los componentes del sistema de transportación que requieren una inspección y ajuste frecuentes. De esto podemos de  
ducir que es conveniente localizar a estos alimentadores en luga  
res de fácil acceso y remoción de los mismos, sin necesidad del levantamiento de un armazón.

De acuerdo a los anteriores se puede sugerir que: Para ta  
ner la total seguridad de la continuidad del proceso y para elimi  
nar el tiempo consumido por los ajustes en campo (especialmente cuando hay mal tiempo y la instalación está al aire libre) es muy  
conveniente tener en el almacen un equipo total de alimentadores para poder usarlos en cualquier momento.

Algunas características auxiliares que se requieren para a  
sigurar la operación adecuada de los alimentadores rotativos tipo  
a prueba de aire. son:

a.- Colectores de polvo del tamaño adecuado y venteo de aire  
en el lado de entrada de los alimentadores descargando el materia  
dentro de un sistema de presión positiva, para prevenir la eleva  
ción de la presión y la descarga de polvo desde el equipo.

b.- Tubería de prevención conectada en los puntos de baja presión de tal manera que no se produzcan amontonamientos de material y la tubería tenga su propio sistema de limpieza.

c.- Un suministro externo de aire a la cámara de purga utilizable a presiones tan altas como las que existen en el alimentador. El aire podrá ser suministrado a través de una válvula solenoide que estará abierta solo mientras el alimentador esta en operación.

#### FILTROS Y RECEPTORES DE MATERIAL.

La recuperación de material de la corriente de aire requiere de la separación de aire y material de alguna manera en el receptor de material. La alta velocidad de los sistemas neumáticos en donde el material introducido en una corriente de aire permite la separación del material por medio de colectores dinámicos o tipo ciclones, con la descarga del material por medio de un alimentador rotatorio tipo a prueba de aire y un venteo dirigido ya sea a la atmosfera o a través de un filtro de polvo, dependiendo de las características del polvo del material. El uso de un ciclón con un filtro para polvos en la parte superior es la forma ideal para realizar la separación. Sin embargo este tipo de separación es costosa, los siguientes metodos se presentan como alternativas que pueden ser usadas dependiendo de las necesidades del sistema y características del material, para que de esta manera se puedan reducir la inversión y el capital en la compra del equipo.

Para sistemas de presión positiva. 1.- La corriente de transporte, puede ser descargada directamente en tolvas receptoras y el aire venteado a la atmósfera. Este método no es recomendado para material polvoso. 2.- El material se descarga directamente en tolvas venteadas a la atmósfera via un filtro para polvo de tipo intermitente, esto es bajo un sistema de presión positiva durante la transportación. Este método es usado cuando el ciclo de transportación es de tan corta duración que el filtro de polvo no es sobrecargado y puede ser limpiado durante el periodo en que no se esta usando el sistema de transportación. La tolva receptora y las conecciones deberán ser hechas a prueba de polvo de manera que no se escape polvo dentro del area de proceso durante la transportación. 3.- La descarga puede realizarse al igual que en el caso anterior directamente en la tolva receptora, venteada a la atmósfera solo que en este caso el venteo se hará via filtro intermitente, y por medio de un ventilador extractor, para mantener una ligera presión negativa dentro de la tolva o silo. Este método requiere que el filtro sea limpiado despues de que el sistema de transportación y el ventilador se encuenten sin funcionar. La descarga puede ser realizada en una unidad combinada filtro - receptor la cual es limpiada continuamente durante el periodo de transportación. 5.- Finalmente el material será descargado directamente dentro de tolvas o silos venteados a un filtro para polvo del tipo continuo. equipado con un extractor.

Para sistemas de presión negativa.- Cuando este sistema es utilizado, el material podrá ser descargado en una unidad receptora - filtro, la cual es limpiada continuamente durante la transportación.

El apresto y selección de filtros de polvos para usar en sistemas de transportación neumática se basa en experiencias anteriores o en pruebas actuales usando materiales específicos a cargas específicas de aire y material.

La mayoría de los filtros y colectores disponibles, combinados con las diferentes características de los materiales que pueden afectar la filtración, indican que la selección de un filtro deberá ser hecha por una prueba actual a las condiciones de diseño, usando al fabricante que garantice todos los parámetros requeridos y que además sea el más barato.

Todos los fabricantes con reputación que producen filtros cuentan con plantas piloto para realizar estas pruebas y en un momento dado pueden dar ayuda al comprador en su selección con una escalación y aplicación de la experiencia ganada en aplicaciones similares de filtros para polvos.

Toda filtración de polvo en transportación neumática es verificado pasando al aire con la carga de polvo a través de un filtro en forma de tubos cilíndricos. Conforme el aire pasa a través del filtro, el polvo empieza a formar una pasta sobre los intersticios y los hilos del filtro, esta misma pasta sirve como medio filtrante.

En la práctica para que esta no llegue a ser una gran resistencia al paso del aire y no se reduzca el flujo de aire, es conveniente desalojar periódicamente esta pasta. La manera de efectuar la limpieza de los filtros es la diferencia básica entre los diferentes fabricantes de filtros.

En la comparación del area de filtración ofrecida por los diferentes tipos de vendedores, podemos reconocer los variados tipos de metodos de limpieza del fabricante, el criterio que debe seguir el comprador será el de tener una caída de presión constante a través de todo el filtro. <

El método de limpieza determina si el filtro es adecuado para un servicio de transportación intermitente o continuo.

Limpieza de filtros.- Los metodos de limpieza usados en general y las características mecánicas para completar la limpieza son los siguientes:

Flujo inverso: Una gran cantidad de variaciones de este método usan un flujo inverso de aire a través de tubos individuales.

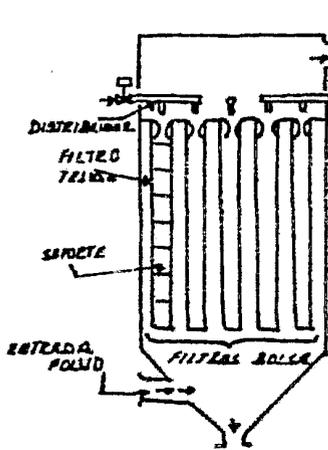
1.- Una boquilla de aire comprimido en la descarga de aire limpio en la punta de cada uno de los tubos del filtro, inyecta aire dentro del tubo en dirección inversa al flujo normal de aire, la rafaga es controlada por un medidor de tiempo, que opera una válvula solenoide. (Ver figura No. 16)

2.- Una camara plenum rotativa accionada por un motor, es colocada sobre la descarga de aire limpio de cada tubo del filtro, cuando se encuentra en posición, una leva abre una compuerta de maripoza en el plenum, y se inyecta aire dentro de los tubos en dirección inversa del flujo normal. El tiempo es determinado por la velocidad de rotación de la camara plenum. (Ver fig No. 17)

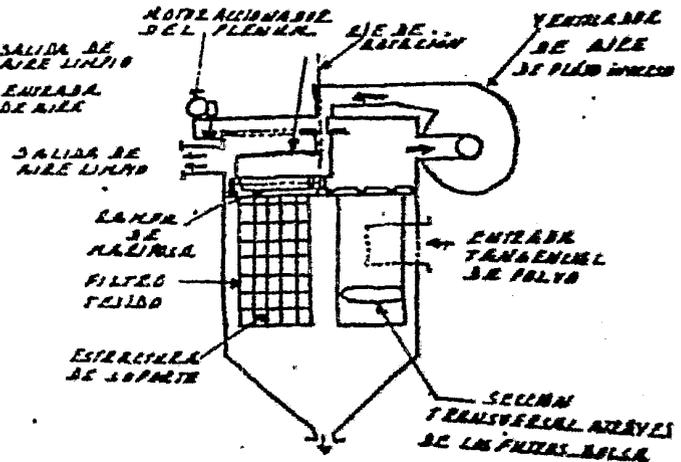
3.- Boquillas de inyección de aire a baja presión en la descarga de aire limpio de cada tubo del filtro inyecta aire desde un ventilador de desplazamiento positivo, en la dirección inversa del flujo normal de aire. La ráfaga de aire es controlada por un motor que regula la velocidad de rotación de un distribuidor de ai re instalado en la línea de descarga del ventilador.

4.- Una cámara plenum móvil es colocada a la descarga de aire limpio al final de las envolturas de las líneas verticales usando rollos de goma para sellar las envolturas adyacentes limpia das en un principio, aire atmosférico es jalado a través de la en voltura del filtro en la dirección inversa del flujo normal de aire por la operación normal de la succión del ventilador extractor.

Agitación con flujo inverso de aire: En este método un motor que está conectado a varillas que agitan los soportes de los tubos del filtro o del "nido" del filtro y de un motor auxiliar acciona unas compuertas que aíslan al compartimiento de los tubos del nido de la succión del ventilador de extracción, una compuerta de aire de flujo contrario es operado por medio de un sistema articulado, permite la entrada de una pequeña cantidad de aire atmosférico den tro del compartimiento de los tubos del nido, el aire atmosférico fluye en dirección inversa al flujo normal de aire. (Ver fig No.17A



BESICARA DE POLVO  
Fig. No. 16.



BESICARA DE POLVO  
Fig. No. 17.

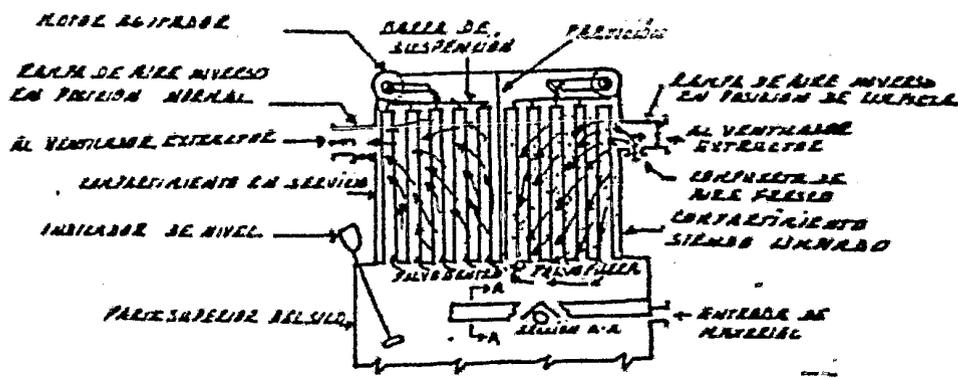


Fig No 17A

TESIS PROFESIONAL
DIAGRAMA. FILTROS DE BOLSAS
FAC. DE QUIMICA U.N.A.M. 1982.
DIRECCION VICENTE OLMAR FERNANDEZ

Despues de la limpieza, los agitadores son detenidos, la compuerta de aire atmosférico es cerrada y la compuerta que aislaba esta parte del filtro, es accionada para que de esta manera todos los compartimientos del filtro queden conectados nuevamente a la succión del ventilador extractor.

Esta operación es repetida sucesivamente para cada uno de los compartimientos del filtro. El tiempo de toda la operación de limpieza es controlada por un controlador de tiempo accionado por un motor.

Agitación sin flujo inverso de aire: Este metodo al igual que el anterior consiste de un motor que agita a alas varillas de los soportes de los tubos o el nido del filtro, a limpiar, solo que este sistema sólo funciona cuando el sistema de transportación numática ésta fuera de servicio y el ventilador extractor está parado, el sistema es arrancado por medio de un relevador y es detenido cuando se termina el tiempo en que esta detenido el sistema, o sea cuando la transportación empieza a funcionar.

En todos los metodos de limpieza de filtros antes mencionados la pasta formada por el polvo, cae dentro de una tolva para el polvo, sin embargo una cierta cantidad de este polvo, es nuevamente retenida en el filtro, el cual se encuentra aún en operación durante la limpieza, esto sucede en todos los tipos de unidades de filtrado, pero es más evidente en las unidades donde son liados nidos de unidades donde grupos pequeños de bolsas, o bolsas individuales son limpiadas.

Requerimientos del filtro: La siguiente es una lista de los requerimientos funcionales para filtros de polvos y los detalles de diseño que deberán ser provistos para encontrar estos requerimientos.

Instalación a la intemperie: Aislar o proteger a la unidad filtradora si existe la posibilidad de que ocurriese alguna condensación dentro del filtro. Una cubierta de fácil manejo y fácilmente removible deberá ser suministrada para proteger todos los mecanismos de operación, que de otra manera estarían al descubierto y expuestos a los elementos, todos los cables "conduit" y equipo eléctrico deberá ser hermético al-agua. Evitar agitadores o mecanismos neumáticos donde la condensación en tuberías es posible, usar materiales antiderrapantes para la construcción de accesos y plataformas en el equipo de filtración para que de esta manera sean más seguros estos accesos y los operadores no resbalen y se lastimen.

Aún cuando el filtro no requiera una cubierta, proveer de cubiertas al rededor de las tolvas de polvo, alimentadores rotativos y todo el equipo nombrado anteriormente para poder permitir el acceso a estos equipos y darles el servicio y mantenimiento en momentos cuando el tiempo sea inclemente.

Acesos para servicio: Plataformas y escaleras deberán ser suministradas para tener acceso a todos los equipos elevados que requieran de mantenimiento. Las escaleras de mas de 7 ft. de alto tendrán que tener un varandal o caja de seguridad. El acceso a los compartimientos de los tubos de los filtros serán suministrados con puertas de facil manejo y que al cerrarse no se tenga ninguna fuga de aire o sea que la puerta sea hermética, ademas la puerta deberá ser arreglada de manera que la abertura de esta sea manual sin la necesidad de usar algun tipo de llave o herramienta especial para su abertura, el criterio anterior deberá ser seguido para todas las puertas que den acceso a los compartimientos de los tubos de los filtros.

El final de los tubos del filtro deberán ser accesibles desde el horificio para hombre sin la necesidad de que algun hombre penetre dentro de la unidad de filtración, de otra manera el filtro será provisto de unos pasillos internos con lo que se hará facil el acceso a estas bolsas a través de estas puertas.

Servicio de ajuste: Unidades del tipo agitado o por filtros tubo, serán suspendidos por medio de rejillas de soporte y por medio de vástagos tratados, para que tengan la suficiente resistencia para ajustar la tensión de las bolsas.

Todas las rejillas o marcos para sostener y abrir las puntas de los filtros bolsas deberán ser del tipo de cerrado instantaneo o de palanca, de manera que no sean requeridas herramientas para la resosion de los tubos. Los programadores de tiempo deberán tener un suministro de engranes o de algún otro servicio para permitir la disminución del ciclo de limpieza por abajo de lo recomendado por el vendedor.

Un panel de botones deberá ser suministrado para permitir la operación de los motores de agitación y las compuertas mientras el sistema está fuera de servicio, esto servirá en el chequeo de la operación del motor y en la descarga de la carga de polvo cuando hay una sobrecarga debida a problemas en el sistema.

Operación: Operar los filtros bajo un sistema de vacío para evitar las descargas de polvo a la atmósfera, o en silos presurizados o en receptores en sistemas de transportación bajo presión positiva. Usar para la operación de las compuertas accionadores con cilindros de aire, esto es cuando se tienen ciclos de agitación ó limpieza cortos, donde la duración del ciclo de agitación lo permita, dar preferencia a los accionadores eléctricos para la operación de las compuertas, a pesar de tener un mayor tiempo para la respuesta, estos son más confiables. También un juego de baffles deberá ser suministrado para distribuir la descarga de polvo a través del filtro.

En la selección de un filtro en particular, se debe dar una atención particular al analizar la combinación de las unidades filtradoras-receptoras, estas unidades intentan combinar en una sola pieza de equipo compacto, las funciones de un receptor tipo ciclón y un filtro para polvos. Las características usualmente previstas para la separación del material es una boquilla de entrada tangencial en la base de la unidad, unos baffles o deflectores internos que dirigirán a la mayoría del polvo hacia los tubos del filtro.

Estas características son solo parcialmente efectivas pues to que no se tiene una real acción del ciclón como tal por que el limitado espacio disponible y las interferencias con la circu lación del aire hacen que el comportamiento de esta unidad no sea 100% el comportamiento del ciclón.

Cuando se considere el uso de filtros con multicompartimientos y con mecanismos de agitación para limpieza, se debe dar una atención especial tanto al incremento de la caída de presi ón duran te el ciclo de limpieza, cuando un nido completo de tubos esta fu era de servicio y a los soportes estructurales requeridos para la unidad, la gran masa del mecanismo que está en movimiento durante la limpieza impone un impacto muy pesado y una carga vibracional en el soporte estructural.

#### TOLVAS DE ALMACENAMIENTO

Los silos del tipo cilíndrico con tolvas cónicas en el fondo y descarga por gravedad son los silos que son usados con más fre cuencia para almacenar el material transportado en sistemas neumá ticos, a pesar de la tendencia de algunos materiales a sangrar, adherirse a las paredes o a inundarse. Esta forma de silos es de un costo bajo; puede ser fácilmente adquirida en un amplio ran go de diámetros y alturas adecuadas para su localización, pueden ser hechas de manera que se mantenga firme por si sola o asentada en columnas para eliminar las interferencias a otros equipos; pue de ser acondicionado con conductores de flujo para asegurar la des carga continua de material y puede ser obtenida en una serie de ma teriales o se puede adecuar con revestimiento para prepararlo con tra cualquier condición de corrosión.

Las formas especiales de silos deberá ser considerado sólo cuando el espacio y el techo del cuarto sea limitado o cuando el material almacenado tenga una característica de flujo poco usual.

Independientemente de la forma del silo, el medio de asegurar el flujo de material hacia la conexión de descarga deberá ser analizada y seleccionada de manera adecuada a las características de flujo del material almacenado.

Los lados y las pendientes de los silos deberán ser tan empujadas como sea posible, nunca menor que el ángulo de reposo del material. Todas las superficies en contacto con el material almacenado deberán ser tan lisas como sea posible y barnizadas o recubiertas con una película resbalante ( Una que no retenga el producto) además el interior del silo deberá estar libre de bordes, tornillos, remaches salidos o uniones internas de cualquier tipo que puedan impedir el libre flujo del material, esquinas, uniones de paredes inclinadas con paredes verticales y puntos de unión deberán ser formados o hechos con un radio tan grande como sea posible

Las aberturas de descarga deberán ser tan grandes como sea posible con uniones lisas como se requiere, para conectarse con las conexiones de entrada de la puerta de descarga del silo, alimentador o transportador usado para vaciar el silo.

En adición a la descarga de entrada y conexiones de venteo, las siguientes uniones y accesorios deberán ser provistos con:

Accesos en el techo y fondo del silo para limpieza e inspección deberán ser diseñadas de un tamaño generoso. Las boquillas para recibir los indicadores de niveles o para introducir cintas de sonido; pequeñas puertas para observación del indicador de nivel, detectar elementos o condiciones cerca del techo del silo; escaleras y plataformas para accesos a entradas hombre en localizaciones estratégicas.

El tipo de inductores de flujo y su localización deberá ser seleccionada de acuerdo a las características del material almacenado y a la configuración del silo. Vibradores del tipo neumático o eléctrico podrá ser usado. Estos vibradores deberán ser montados en platos reforzados unidos a paredes que esten en contacto con una superficie del material almacenado lo más grande posible. Los vibradores deberán ser del tamaño adecuado a la rigidez y extensión de la pared a la que está soportado. Estos vibradores deberán ser arreglados de manera que estén en operación solo cuando el material desalojado pueda fluir libremente fuera del silo, puesto que la vibración sin el flujo libre del material compactará al material y agravará el problema.

Existen 2 tipos de inductores de flujo accionados por aire, son los colchones de aire y las boquillas de aire los cuales son frecuentemente usados en transportación neumática.

Cuando el material tiene características de flujo muy poco usuales y ninguno de los inductores de flujo nombrados antes resulta útil, la tolva puede ser arreglada con un fondo movible, este puede ser en la forma de uno o más transportadores de tornillos, colocados para jalar el material.

Otros servicios tales como un mecanismo rotatorio, un rompedor de arco o un brazo de descarga para fondo plano, también pueden ser útiles para la descarga y fluidificación del material.

Tolvas horizontales construidas para lugares cerrados con techos bajos son comercialmente disponibles en diseños modulares para recibir materiales transportados neumáticamente. Estos diseños se muestran en la figura No. 18.

Los módulos pueden ser ensamblados para formar un silo rectangular de gran longitud con una salida o múltiples salidas en forma de "V" dependiendo del diseño del transportador de tornillo, o del diseño del transportador por gravedad activado con aire.

Los silos con descarga por gravedad o activado con aire tienen un diseño esencialmente similar a los cuerpos de trenes con tolvas cubiertas con transportador por gravedad activado con aire. Las paredes del fondo de los silos tienen la misma pendiente y forma que el prototipo de los carros tolva, la tubería de suministro de aire al transportador es arreglada como en el carro de tren, pero la presión del aire y capacidades requeridas son determinadas específicamente para el material que será almacenado.

Los silos con descarga por tornillo, tienen acoplado en cada fondo en "V" un transportador de tornillo continuo, el cual tiene espacios de descarga variables de manera que el material pueda ser retirado uniformemente a través de toda la longitud del silo.

Un baffle en "V" invertido es colocado sobre cada tornillo para quitar el peso del material almacenado en el mango del tornillo y mantener libre el espacio de alimentación en el tornillo. El tornillo puede ser arreglado de manera de tener la descarga del material en el centro (Figura No. 18a) fuera del centro con una sola salida (Figura No. 18b) o con doble salida (Figura No. 18c). La descarga con una sola salida reduce la capacidad de descarga de cada tornillo, por un medio para cada tamaño de tornillo dado, así que las descargas por el centro, fuera del centro o con doble descarga son preferidas. Los transportadores de tornillo en un silo con múltiples fondos en "V" pueden ser manejados individualmente por medio de un motor o conjuntamente por medio de una cadena.

La descarga de la línea de transportación neumática entra en el silo y puede distribuir el material en muchas direcciones dependiendo de la velocidad terminal de la corriente de transportación y de las características del material. Una boquilla de entrada es suficiente para llenar la totalidad del silo. De no ser así, la línea de transportación puede ser extendida a lo largo de la línea central del silo en forma de una tubería con canales de distribución, descendentes. Como cada canal comienza a ser bloqueado por el material, la corriente de transportación es automáticamente extendida hasta el siguiente canal, y así sucesivamente, hasta que el silo se ha llenado. Si existe duda sobre la probable distribución del material en el silo, se puede llegar a usar un nivelador o distribuidor de tornillo en la parte alta del silo para alludar en la distribución del material en el silo.

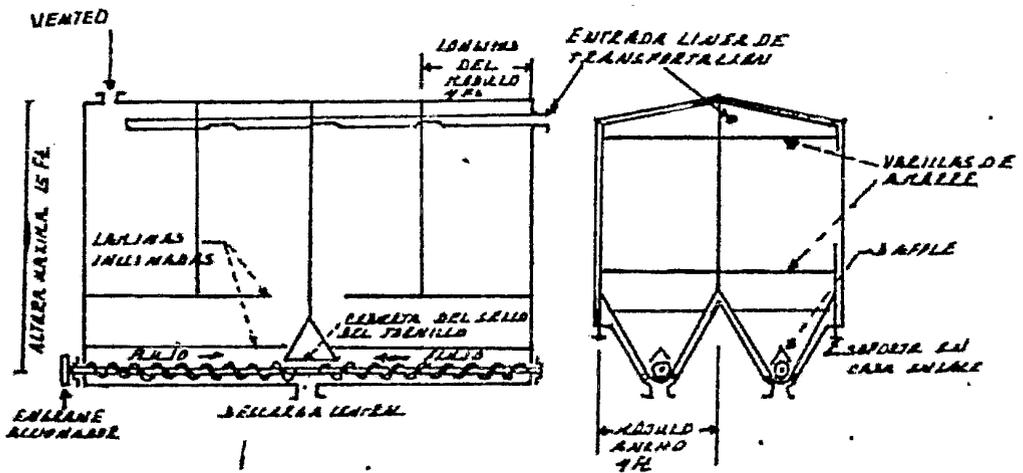


FIG No 18 a

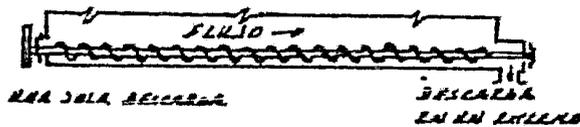


FIG. No. 18 b



FIG No 18 c

TESIS PROFESIONAL
DIAGRAMA. DESCARGAS DE MATERIAL
FAC. DE QUIMICA U. N. A. M. 1982
BUENTELLO VICENTE OMAR FRANCISCO

La apropiada localización de conecciones de venteo e indicadores de alto nivel a lo largo de los silos horizontales representa un verdadero problema. En caso de ser posible se recomienda usar conecciones flexibles o alternativas de la localización, dependiendo de la probable localización del nivel más alto del material y de las areas que anticipadamente se destinaron para el venteo.

#### LINEA DE TRANSPORTACION.

La línea de transportación puede ser fabricada de cualquiera de los materiales disponibles, seleccionados de acuerdo a las características y propiedades del material que será transportado. En muchos casos, tubería ligera puede ser usada en lugar de los tamaños estándar de la tubería. El tamaño de las líneas deberá ser recomendado por el vendedor, después de hacer las pruebas necesarias en su planta piloto. En general la tubería será tendida de manera que corra en una línea recta desde el suministro del material al punto de descarga con la menor cantidad de cambios de dirección como sea posible, el tendido de la línea deberá ser consistente con la localización de las posibles interferencias.

El tendido de la tubería será hecho embutiendo las puntas de la tubería, de manera de eliminar las grietas o puntos potenciales en donde el material a transportar pueda atorarse o amontonarse dentro de la tubería.

Las cubiertas deberán ser removidas y enderezadas sus puntas antes de ser embutidas en la tubería. El tipo usual de unión, es la manga tipo compresión con empaquetadura hecha de material adecuado de acuerdo a las condiciones de servicio. Este tipo de acoplamiento puede ser fácilmente desechado y deslizado sobre la tubería para romper la junta para limpiar las tuberías tapadas. Las uniones por bridas pueden ser usadas en conexiones a equipos y en tuberías armadas.

Todos los cambios de dirección deberán ser hechos usando grandes radios, teniendo un radio de 6 a 12 veces el diametro nominal de la tubería dependiendo de las características de abrasividad o compactación del material transportado. Todas las curvaturas en puntos estratégicos donde errores dimensionales pueden ocurrir deberán tener grandes tangentes, como para que los cortes en campo puedan ser hechos para corregir errores durante la erección.

Cuando una tubería ocupa grandes espacios abiertos, esta es usualmente hecha con soportes propios, para resistir inclinamientos o pandeamientos, como se muestra en la figura No. 19, usando la tubería misma como un miembro de compresión. Las juntas en estas tuberías son usualmente bridadas para mejor firmeza, y localizadas en puntos de cero momento. Los miembros de tensión pueden ser de acero que forman los puntos de soporte de la tubería.

Líneas de transportación con el extremo abierto en sistemas de presión negativa deberán ser diseñadas con boca de campana o boquillas tipo ASME y proveer con una pantalla para evitar la entrada del material anterior, si la tubería se encuentra a la intemperie, las boquillas deberán ser protegidas de la entrada directa de lluvia, nieve o cellisca.

Las conexiones de mangueras a carros de trenes, o a estaciones de descarga de camiones, deberá ser provista con terminales de bisagra de acuerdo al tipo de conexión de la manguera seleccionada en la planta como tamaño estándar, y deberá ser arreglado con un casquete a prueba de aire o cubierta cuando no este en servicio. Las cubiertas deberán estar sujetas a la tubería para prevenir pérdidas.

Las conexiones de mangueras deberán ser hechas a secciones verticales de la línea de transportación en un elevador, que permita la flexión de la manguera, y que a su vez prevenga el retorcimiento de la misma. En lugares cerrados, un codo articulado de metal puede ser instalado para permitir el movimiento de la manguera en un área en donde esta no se pueda doblar.

Frecuentemente, donde el espesor y características del material permiten que una tubería de plástico sirva para transportar varios materiales, esta será usada. Sin embargo si el material a transportar es muy puro, cualquier tipo de contaminación deberá ser evitada y por lo tanto, una línea especial para la transportación de este material deberá ser construida.

Cuando se tienen líneas específicas para cada material, se da una gran flexibilidad al sistema de transportación, en la demanda de material para el futuro.

#### VALVULAS O COMPUERTAS DESVIADORAS.

La facilidad para recibir y descargar el material a todas las localidades separadas como es deseado representa una ventaja que distingue a los sistemas de transportación neumática; el uso de múltiples descargas y estaciones receptoras de material se ha incrementado y con esto, la necesidad de divertir el material.

El equipo desviador viene a ser un componente crítico en el sistema cuando el material tiene cualidades abrasivas; una selección incorrecta resultará en un pobre cumplimiento y en un eventual fracaso.

Para evitar tales fallas, los ingenieros encargados de la compra de los equipos desviadores deben primero: Familiarizarse con las propiedades físicas del sólido que será transportado.

Evaluar el material para la construcción del equipo desviador y decidir sobre un óptimo diseño.

Examinar que tan frecuentemente el equipo desviador será usado y que volúmenes relativos de sólidos pasarán a través de cada equipo desviador.

Antes de que el equipo desviador sea comprado e instalado en el sistema, hay ciertas operaciones y procedimientos de mantenimiento que deberán ser seguidas; a continuación ofrecemos ciertas guías sobre estos puntos.

Investigación del sólido transferido.- En la selección de un equipo desviador y su material de construcción, los ingenieros deberán hacer un esfuerzo para evaluar la abrasividad de los sólidos que serán transportados. Desafortunadamente para lograr tener un exacto conocimiento de la abrasividad de los sólidos se necesita una ardua tarea. Varias pruebas han sido usadas para encontrar la magnitud de la abrasividad, pero ninguno ha sido estandarizado para el transporte neumático de sólidos. Normalmente estas pruebas con una parte del servicio proporcionado por el vendedor, pero para obtener datos reales del uso, depende de que tan cerca se pueda llegar a limitar el sistema de transportación a las condiciones actuales de la planta.

Ademas las pruebas que dan un dato real deberán ser acceptables para un cierto tiempo representativo. Frecuentemente el tiempo requerido hace que tal prueba sea impráctica.

La mayoría de las veces, el mejor aprovechamiento es comparar cada nuevo sólido a transferir con uno cuyas cualidades abrasivas sean conocidas. Un abrasivo es aquella substancia que tiene la propiedad de cortar o desgastar otros materiales, tales substancias tienen 3 propiedades características:

La primera es la dureza de la partícula; esta característica hace capás la transferencia del material, cortando o rasguñando la superficie interna del equipo desviador.

La segunda es la inflexibilidad, y ésta controla la resistencia de la partícula a la fractura despues de la colisión con la superficie de la válvula desviadora.

La propiedad final es la abrasividad neutral de la partícula cuando la fractura ocurre. Para algunos sólidos las fracturas crean nuevas asperesas en la partícula.

La escala de Mohs, comunmente usada como un indicador de la abrasividad de los sólidos, consiste de 10 materiales de diferente dureza, arreglados de tal manera que cada material que pueda desgastar al material que le preceda en la escala.

- |                         |                |
|-------------------------|----------------|
| 1.- Talco               | 6.- Feldespato |
| 2.- Yeso                | 7.- Cuarzo     |
| 3.- Carbonato de Calcio | 8.- Topacio    |
| 4.- Espato              | 9.- Safiro     |
| 5.- Apatita.            | 10.- Diamante. |

Si el ingeniero está familiarizado con la transferencia de sólidos, la dificultad en colocar al material en la escala de Mohs es mínima. (La clasificación de 814 minerales puede ser encontrada en el Lange Hand book o Chemistry novena edición pag 151) sin embargo si no existe un reconocimiento anterior, existe una simple prueba que puede ser usada para conocer de una manera aproximada la abrasividad relativa del material que será transportado neumáticamente. El procedimiento es como sigue: Primero conseguir pequeños platos de cobre, acero al carbón suave, acero inoxidable y vidrio ( El mejor resultado es obtenido cuando los platos de metal han sido pulidos).

Después se coloca una muestra del material sobre el plato y se comienza a moler una porción del material en cada plato y sobre el vidrio. Esto puede ser fácilmente hecho con un pequeño block de madera. Si la muestra desgasta o ralla al vidrio, considerar al sólido como de gran abrasividad. Si el sólido desgasta o ralla al acero inoxidable y no al vidrio, considerarlo como abrasivo. Si el material desgasta o ralla al acero al carbón suave y no al acero inoxidable, considerarlo moderadamente abrasivo. Finalmente, si el material ralla o desgasta al cobre y no al acero al carbón suave, considerar al material poco abrasivo.

Para el transporte neumático de sólidos en las 3 primeras categorías, los desviadores pueden ser diseñados de manera que sean resistentes a la abrasividad. En cualquier caso el ingeniero debe de evaluar todos los datos obtenidos y tomar una desición de acuerdo a su experiencia.

Causas de fallas en los desviadores. Una vez que la transferencia de sólidos ha sido evaluada, el equipo desviador puede ser seleccionado. Las preguntas que ahora se deben contestar son las siguientes:

- 1.- ¿Qué técnica de desviación deberá poseer el equipo?
- 2.- ¿ Que material de desviación deberá poseer el equipo?
- 3.- ¿ En que arreglo deberá ser instalado el desviador en la línea de transportación ?

La respuesta a estas preguntas se encuentra examinando cuales son las fallas en las que caen los desviadores por el ataque de la abrasión.

Existen 2 partes principales en el interior de los desviadores en donde la abrasión es más fuerte; El primero es denotado como area de choque de los desviadores (Ver figura No. 19) en donde se muestran las areas de choque para desviadores de diferentes tipos.

El grado de erosión en un area de choque depende del angulo de ataque en el cual las partículas transportadas pegan en la superficie. Esto será mejor entendido si imaginamos la superficie del desviador en 2 posiciones distintas. Cuando la superficie es paralela a la dirección del flujo, el aire con el material transportado pasa casi sin distorsión alguna en el flujo. No hay choque y de este modo hay un muy pequeño desgaste o no hay desgaste. Sin embargo si la superficie del desviador es colocada en diagonal a la dirección del flujo una porción de la energía de impacto causada por los choque es absorbida por la superficie (Ver fig. No.20)

La segunda localización susceptible de desgaste es en los puntos de menor sección transversal de los desviadores estos son los "Knife-Edge" de los desviadores o localización de mínimo espesor que recibe choques y ellos son identificados en varios tipos de desviadores que se muestran en la figura No. 19.

Un fenómeno conocido como "Blow-By" ocurre frecuentemente en los puntos de menor sección transversal.

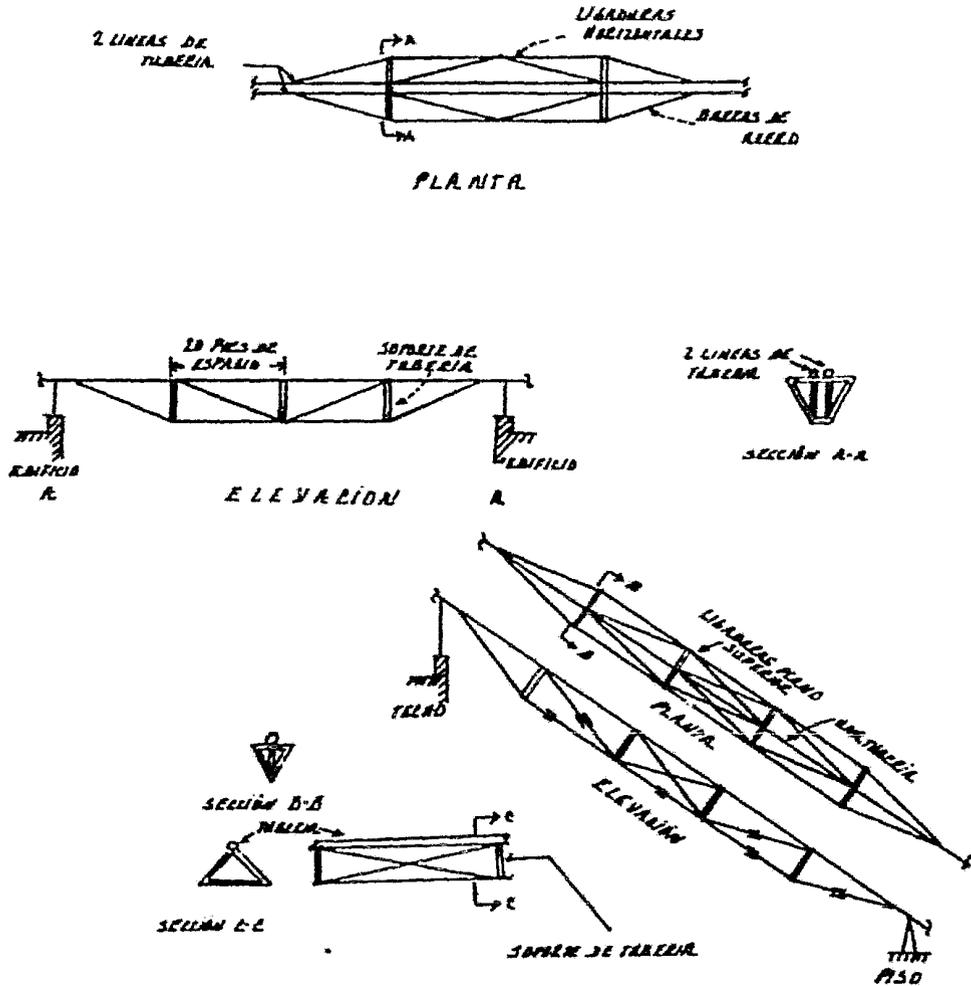
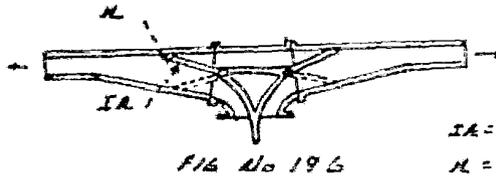
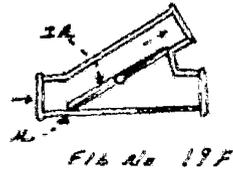
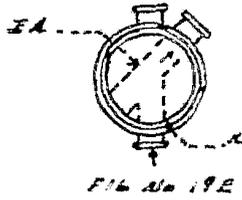
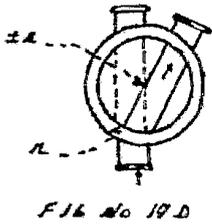
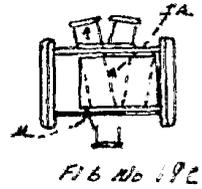
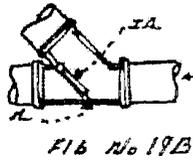
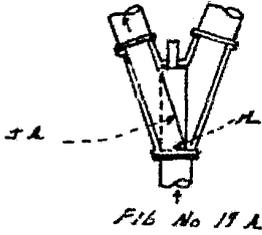


FIGURA No. 19

TESIS PROFESIONAL
DIAGRAMA SOPORTES DE TUBERIA
FAC. DE QUIMICA. U.N.A.M. 1992
BRENTELO VICENTE ORAR FRANCISCO



Porcentaje de la energía  
de choque absorbida  
por la superficie

IA = AREA DE CHOCLE  
M = PUNTO DE APLICACION  
AREA TRANSVERSAL

Tomado de: Chemical  
Engineering 25-Sep 1967

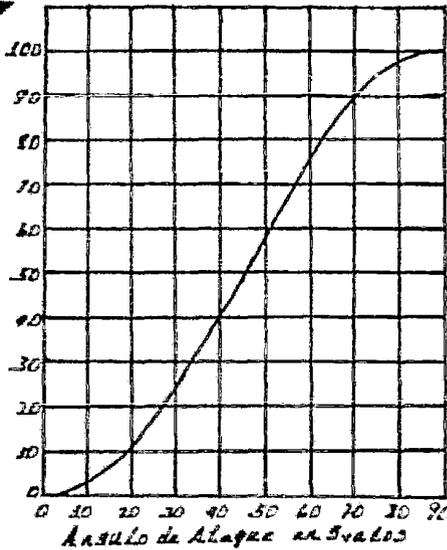


Fig No 20

TESIS PROFESIONAL
DIAG EQUIPO DESVIADOR
FAC. DE QUIMICA U.N.A.M. 1982
BIENTELO VICENTE CARR FRANCISCO

"Blow By" es el paso del aire por una sección transversal pequeña, cuando el material abrasivo junto con el aire cruza esta parte del equipo se incrementa la velocidad de la corriente, con lo que se causa un gran daño al equipo desviador. La mejor protección contra este tipo de uso, consiste en seleccionar desviadores que puedan soportar la abrasión en los puntos de menor área de sección transversal. El desviador tipo "Porta Piston" cumple muy bien bajo esta forma de ataque.

Selección de la mejor configuración de los desviadores; Aunque la configuración es frecuentemente observada como un elemento en la selección de los equipos desviadores, el juicioso uso de la configuración juega un papel fundamental en la vida de los desviadores.

Existen 2 tipos de configuraciones básicamente: El primero en la "Y", la cual tiene la ventaja de una pequeña diversión de ángulos (normalmente entre  $10^{\circ}$  y  $20^{\circ}$ ). La conexión lateral es la otra alternativa, esta configuración tiene el atributo de tener las descargas o entradas localizadas en el mismo centro de la línea.

La selección de la configuración de los desviadores deberá ser hecha después de evaluar la transferencia de masa que cruzará a través de cada una de las descargas o desviadores. Si una descarga es usada para transportar la mayoría de la cantidad del sólido, entonces la conexión lateral es la mejor selección.

Cuando ambos desviadores llevan la misma cantidad de materia entonces la "Y" es la mejor selección, para esta aplicación, la pequeña diversión de ángulos reducirá el desgaste. El sistema de transportación ilustrado en la figura No. 21 muestra una configuración ideal en cada punto de desviación.

#### TOMAS DE MATERIAL.

Las tolvas de alimentación de material, boquillas, válvulas y carros de auto descarga, son usados para inducir el flujo dentro de un sistema de presión negativa. Las boquillas de descarga de los carros puede ser contruidas formado parte de los carros de ferrocarriles, o puede ser portable, para fijarla a la conección de descarga por gravedad en el carro. En general estos servicios son diseñados para permitir la entrada de aire dentro de la línea de transportación, así como para barrer el material a lo largo de esta, el aire puede pasar por la entrada principal o puede dar una vuelta de 180° para meter al material que está fluyendo por gravedad hacia la boquilla. En la figura No. 22 se muestran algunos tipos de estos servicios.

Las tolvas de recolección de material deberán ser arregladas de manera que sean facilmente removibles, con puertas de acceso para checar el ajuste de la boquilla de aire y para remover los trozos de material que puedan bloquear la entrada a la línea de transportación. La tolva deberá ser acondicionada con indicadores de alto y bajo nivel para el control de la operación de alimentador y prevenir el inundamiento o tapamiento de la tolva.



Los cubos de descarga de los camiones deben ser simples, poco profundos y rugosos, pero ligeros en cuanto se refiere a su peso, de manera que un hombre pueda colocarla bajo el camión descargado. La boquilla de succión deberá tener una compuerta ajustable y un adaptador para permitir un rápido fijamiento a la manguera de descarga del camión.

#### COMPRESORES.

El tipo de compresor o accionador de aire seleccionado para un sistema de transportación neumático es primeramente determinado por el flujo de aire y la presión que se necesita para transportar un material específico de tubería a una rapidez dada. Esto requiere de un cierto margen por pérdidas dentro o fuera del sistema y un factor de seguridad si el vendedor no tiene el suficiente conocimiento y experiencia en el sistema específico a tratar.

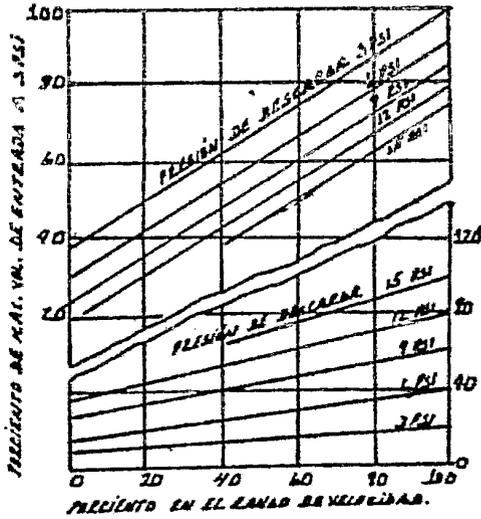
Los sistemas donde el material entra en una corriente de aire requiere de grandes volúmenes de aire a una presión relativamente pequeña, debido a la gran relación de aire a material usado. Estos sistemas que operan bajo una presión positiva o negativa, son generalmente suministrados con ventiladores de alta velocidad de desplazamiento positivo, o ventiladores centrífugos dependiendo de la preferencia del vendedor. Tales unidades pueden ser obtenidas en un amplio rango de tamaños y pueden ser impulsados con vandas, de manera de operar a cualquier velocidad requerida para encontrar las condiciones de operación.

El ventilador de desplazamiento positivo es preferido para la mayoría de los sistemas, puesto que este puede desarrollar altas presiones y suficiente capacidad como para mover al material cuando una línea del transporte neumático se atasque. Por el otro lado, la característica particular de los ventiladores centrífugos es que, el flujo de aire decrece rápidamente con el incremento de la resistencia del sistema. Este fenómeno se puede apreciar mejor con las figuras No's 23 y 24.

Los sistemas en los cuales el aire entra en una masa de material son generalmente suministrados con un ventilador de desplazamiento positivo, para encontrar los requerimientos de relativo bajo flujo de aire, y presión media, para los servicios del tanque trailer presurizado y del sistema de tanque insuflado a baja presión. Sin embargo, para los requerimientos de bajo flujo de aire y alta presión usando relaciones de aire a material muy pequeños, la selección es usualmente un compresor de aire de tipo reciprocante.

Los sistemas donde el aire y el material son intermezclados simultaneamente, y la relación de aire a material es baja son generalmente suministrados con 2 ventiladores de presión positiva los cuales operan en tandem con una flecha común, para bajo flujo de aire, y un servicio de presión media, o con un compresor de veleta deslizante para bajo flujo de aire y un servicio de alta presión.

FIGURA  
No. 23

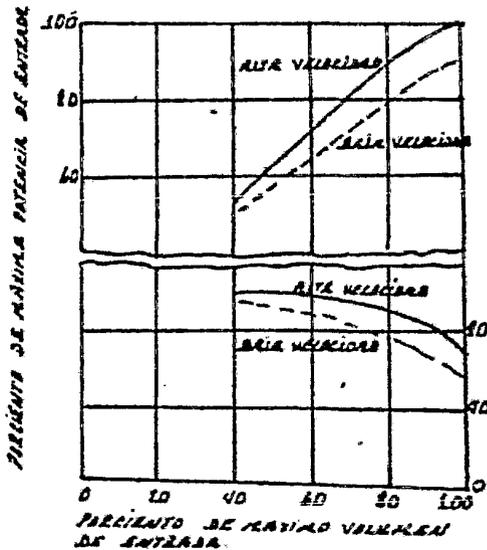


MECANISMO DE RAM. SUP. A LE. FU. DE RESERVA

TORRES DE: CAGUAS  
ELECTRICAS Nos. 18-19-1915

FIGURA

No. 24



MECANISMO DE RESERVA RAMINA

TESIS PROFESIONAL  
DISEÑO GRÁFICO  
SAC. DE MECÁNICA DE LA UPR  
MANUEL Y RUTH BRACERO

Los ventiladores de desplazamiento positivo tienen 2 lóbulos rotatorios, los cuales son accionados por engranes, cada uno de estos lóbulos giran en sentidos opuestos en un alojamiento de la maquinaria. El aire de entrada es atrapado entre los lóbulos y es descargado con relativa alta presión. El rotor está separado en el punto más estrecho por un pequeño espacio y nunca tienen contacto uno con otro, un simple motor o una banda en "V" acciona la flecha que impulsa a los engranes. La banda en "V" es preferida para permitir cambios de velocidad si es requerido para encontrar las condiciones de operación del sistema.

Los siguientes detalles deben ser considerados para asegurar la buena operación de los accionadores de aire.

Instalación.- Para instalaciones a la intemperie seleccionar un ventilador con todas las uniones y partes en movimiento lubricadas con grasa. Las unidades lubricadas con aceite deberán ser cubiertas con grasa. Las unidades lubricadas con aceite, también tendrán que estar cubiertas para prevenir la entrada de agua de lluvia, y el aceite combinado de acuerdo a la estación especialmente en aquellas unidades, que se encuentren en lugares cerrados sin un control de la temperatura y humedad.

2.- Para instalaciones a la intemperie, y accionadas con bandas, estas deberán estar totalmente encerradas y a la vez ventiladas para disipar el calor producido por la fricción.

3.- Instalar un filtro de aire tipo seco y renovable que tenga poca resistencia al flujo de aire, en la succión o tan cerca como sea posible en todos los ventiladores de presión positiva.

Sin embargo esto deberá ser en áreas libres de polvo y olores. Los cartuchos del filtro deberán ser de un tipo tal que prevenga el paso de polvo de un tamaño tal que pueda contaminar el material transportado.

4.- Instalar un filtro protector de baja resistencia al flujo de aire en la succión de los sistemas de presión negativa, esto es para prevenir la entrada de material a la cubierta del ventilador si un filtro de la tubería llega a romperse. Inastalar un switch de presión diferencial a través del filtro de manera de poder desconectar al sistema si el filtro llega a bloquearse con polvo.

Equipo y controles necesarios para el sistema de transportación.- Sin una idea clara de que será necesario en la instalación del transportador para el control, y sin una comprensión de como el equipo de control opera, para el prospectivo comprador no le será posible especificar claramente los requerimientos funcionales para un control manual, semiautomático, o automático, así como para permitir no dudar de que es lo que el vendedor deberá suministrar.

Algunos requerimientos básicos son los siguientes.

- 1.- Boton de arranque y paro para cada motor.
- 2.- Posicionador automático de puertas y válvulas previo al arranque.
- 3.- Cierre automático para alto nivel en los silos.
- 4.- Arranque automático para bajo nivel en los silos.
- 5.- Paro de la transportación cuando ciertas condiciones de operación específicas ocurran.
- 6.- Control dual para cietas estaciones de operación con un control maestro en una estación de operación particular.

Los siguientes detalles deberán ser tomados en consideración cuando sea desarrollado el diseño de la instalación del control para la transportación neumática.

Un recurso para el suministro de potencia para todo el equipo y controles que serán usados cuando se requieran, así como asegurar la energización de todo el equipo requerido para operar el sistema de transportación.

Donde más de un suministro de potencia deba ser usado por una gran separación en la localización de los equipos, los controles deberán estar entrelazados de manera que el sistema no pueda arrancar a menos que todos los suministros de potencia para los equipos involucrados en el sistema se encuentren energizados.

En un equipo importante en una localización lejana un relevador separado deberá ser instalado energizado de la misma carga del interruptor del circuito del motor así que el circuito de control del sistema de transportación no puede ser energizado a menos que el interruptor del circuito para esa unidad esté cerrado.

Usar un retardador de tiempo cuando se tenga que dejar un cierto intervalo de tiempo antes de comenzar la siguiente operación en la secuencia programada. Las siguientes condiciones usualmente requieren el uso de un retardador de tiempo: (1) Al arranque para establecer un flujo de aire antes de admitir al material dentro del sistema de alimentación. (2) Al desconectar el sistema para mantener un flujo de aire que limpie la línea de transportación durante un tiempo definido después de que se ha detenido la alimentación del material al sistema.

(3) En un sistema de transportación mecánico-neumático, para arrancar el sistema de transportación neumático antes del sistema mecánico. (4) En sistemas mecánico-neumático, para permitir el vaciado del sistema mecánico, después de que se ha detenido la alimentación de material a este sistema (5) Al desconectar el sistema para determinar el tiempo de agitación en los compartimientos del colector de polvos. (6) En sistemas con doble control para permiti el tiempo suficiente para el arranque de la estación de subcontrol antes de que el control sea transferido a la estación de control maestro. (7) En circuitos de alarma, para prevenir la operación de la alarma a menos que el problema sea de duración substancial.

Use switch para ejecutar las siguientes operaciones preliminares: 1.- Colocar los desviadores de flujo en la posición apropiada. 2.- Abrir o cerrar compuertas del recipiente de suministro de material o de los silos receptores de éste. 3.- Colocar en orden adecuado todos los servicios del sistema de transportación para permitir un arranque del sistema en la secuencia apropiada. 4.- Comunicar los relevadores para una operación particular donde el sistema pueda transportar más de un material, o pueda transportar un material a varios receptores.

Usar contactos auxiliares en arrancadores magnéticos para arrancar otros equipos en una secuencia sucesiva exep~~t~~o donde un cierto lapso sea requerido antes de arrancar una pieza particular del equipo.

Colocar luces e indicadores de alarma de tal manera que cada falla sea indicada con el sonido de la alarma y si mas de una falla ocurre de manera simultanea la luz y la alarma funcionen simultaneamente también.

En ventiladores extractores que mantengan la presión negativa en el colector de polvos en el recividor de un sistema presurizado, instalar un switch de flujo de aire en la succión del ducto intercomunicado con el sistema de transportación, para tener la seguridad de mantener la presión negativa en el colector de polvos durante el tiempo que este funcionando el sistema de transportación desde el arranque hasta despues de que los ventiladores son desconectados.

Donde se instalen inductores de flujo en el fondo de los alimentadores que jalan al material de los suministradores, deberán ser interconectados con el sistema neumático, de tal manera que los alimentadores no operen a menos de que el aire de transportación fluya a través del sistema.

Conectar luces indicadores de nivel de tal manera que se enciendan cuando el material se halle a la altura del nivel de prueba y se apaguen cuando el material caiga debajo de este nivel.

Conectar luces indicadoras de alto nivel en tal manera que una falla de potencia en el indicador pueda prevenir el arranque del sistema de transportación.

Un panel de control eléctrico deberá ser especificado con detenimiento y esto será conforme a los estándares NEMA y consistente con la cantidad de protecciones deseadas. Paneles de servicio exterior, deberán tener una puerta externa con visagras a prueba de agua, todas las puertas a los paneles deberán tener manijas arregladas con cerradura y llave, para prevenir el acceso a personas sin autorización al interior. Un panel gráfico deberá ser incluido con espacio interior suficiente para todos los reelevadores de control, y con un espacio adicional para algunos controles opcionales; de otra manera un panel de relevadores adicional puede ser requerido. El control del voltage deberá ser menor que el voltage suministrado esto es para tener seguridad en el sistema preferentemente a 110 volts.

Los siguientes artículos deberán ser especificados.

1.- Un diagrama de flujo gráfico completo de fácil lección con un esquema de colores basado en colores usados en la planta o de preferencia en estándares.

2.- Luces indicadoras y un selector de switches incorporado dentro del diagrama de flujo gráfico de manera que el operador pueda visualizar el arranque y funcionamiento del equipo para el cumplimiento de todas las operaciones del sistema de transportación.

3.- Luces en el diagrama de flujo para indicar la posición de flujo de todos los desviadores puertas o switches de la tubería

4.- Botones de para y arranque y luces indicadores rojas como se requieran para controles manuales o equipo accionado a control remoto.

5.- Un sistema indicador de nivel con luces incorporado dentro del diagrama de flujo para mostrar los niveles requeridos en cada tolva, silo o recipiente.

Para operación manual, las luces indicadoras de nivel deberá: ser usadas junto con una alarma sonora para avisar al operador cuando el nivel de material sea alto o bajo. Una señal inicial sonará y ocasionará que la luz encienda y apague. Cuando la señal sea vista por el operador, desconectará la alarma y la luz se apagará, si el nivel del material regresa a los límites permitidos.

#### DISPOSITIVOS DE CONTROL.

Los dispositivos de control, indicadores de protección son requeridos para integrar los componentes del sistema neumático, localizados en puntos remotos dentro del sistema de transportación. Un switch de flujo en el ducto del ventilador extractor prueba si el ventilador está en operación. Un switch de presión diferencial en el ducto del filtro es usado para conocer cuando el filtro se encuentra muy sucio. Un switch de movimiento que accione una banda o una cadena de un alimentador rotatorio, prueba si el rotor gira libremente e indica si el alimentador se encuentra apretado. Todos estos dispositivos requieren conexiones eléctricas desde sus terminales al centro de control, con lo cual se incrementa el costo de la instalación eléctrica. Un sistema que a primera vista sólo necesitaba un simple panel de control puede requerir un panel auxiliar de relevadores, y un gran sistema de controles eléctricos, después de que se ha demostrado que es necesario colocar ciertos dispositivos para el buen funcionamiento y operación del sistema.

Control del nivel del material, el más importante de estos dispositivos es el indicador de material en recipientes de almacenamiento. La mayoría de todos los indicadores de nivel, independientemente del tipo, tienen un defecto común, ellos sólo indican la presencia del material en el elemento detector. Cuando es necesario llevar un estricto control del nivel del material es necesario usar una serie de indicadores de nivel, localizados en distintos puntos alrededor del recipiente y a distintas alturas, de manera de obtener un perfil exacto del nivel del material. Donde sea peligroso tener niveles extra alto y extra bajo en el nivel de material, ya sea para el mantenimiento de la producción o para otro equipo, 2 indicadores de nivel adicionales pueden ser instalados en caso de que un indicador falle o deje de operar. La manera de transferir la señal desde el elemento detector al circuito exterior varia, 2 tipos básicos de indicadores de nivel son usados en los sistemas de transportación neumática. El tipo de paleta rotativa y el tipo de capacitancia de prueba. Cada tipo de indicador tiene sus propias limitaciones.

El tipo de paleta rotativa depende de su actuación sobre el material que rodea a la paleta y detiene su rotación a alto nivel, o libera a la paleta cuando el material cae a un nivel bajo. Las limitaciones en el uso del detector tipo paleta rotativa son las siguientes:

1.- La paleta no puede ser detenida si el material es aereado

2.- La longitud de la flecha para un indicador de instalación vertical es limitativo a 10 ft.

3.- Las paletas deberán ser protegidas de una avalancha de material, por medio de baffles.

4.- La flecha rotatoria deberá ser protegida conveniente y la entrada a la cubierta del actuador sellada contra polvos para prevenir el atascamiento, especialmente si el recipiente está bajo presión del aire.

5.- La protección de la tubería alrededor de la flecha deberá tener un sello contra polvo al final de la paleta, excepto cuando la flecha es flexible, así que el material no pueda aumentar dentro de la cubierta.

6.- La cubierta para el dispositivo actuador, deberá ser montado en la punta de la flecha.

La principal limitación en el uso del indicador de tipo prueba de capacitancia son:

1.- Su sensibilidad deberá ser ajustada para cada tipo de material y puede ser ajustado para la variación de las características del material día a día.

2.- El material puede amontonarse en la prueba y afectar su sensibilidad.

3.- el sistema en su totalidad desde la prueba a la casa de relevadores deberá ser sellado contra el polvo.

En general los indicadores de niveles de tipo diafragma no son usados en recipientes que reciben el material de líneas de transportación neumática, puesto que estos indicadores son sensitivos a la variación en la presión del aire y pueden mandar falsas indicaciones de nivel.

La localización de un indicador de nivel deberá ser determinado tomando en consideración sus propias limitaciones y las limitaciones presentadas por las características del material que será transportado. Las siguientes precauciones deberán ser observadas cuando se localicen los indicadores de nivel del tipo de paletas o pruebas de capacitancia: 1.- Detectar a los elementos que serán montados verticalmente donde posibles cambios inesperados en el nivel del material debido a las características del material serán compensados por cambios en la longitud de la prueba de capacitancia o en la flecha de la paleta. 2.- Detectar los elementos que deberán ser localizados donde se encuentren los cambios en el nivel del material más significativos, pero fuera del trayecto de flujo del material que pueden resultar en indicaciones falsas del nivel. 3.- Los elementos detectores deberán ser localizados fuera de las paredes y baffles del recipiente de manera que el material no se puentee entre el mismo. 4.- Los elementos detectores montados horizontalmente en los lados del recipiente, y los elementos de bajonivel montados verticalmente, deberán ser protegidos de avanchas del material colocando un baffle de protección diseñado para protegerlo del polvo. 5.- La cubierta para el mecanismo actuador o relevadores deberá ser completamente sellada de la mezcla debido a la condensación.

#### CAPITULO IV.

##### CALCULO DE LOS SISTEMAS.

La transportación neumática difiere por completo de las otras máquinas para transportar materiales. Esta depende de las altas velocidades de la corriente de aire para mover el material aproximadamente de la misma manera como lo hace el viento, pero si la velocidad disminuye, el material caerá y se amontonará en la tubería. Si la velocidad si es lo suficientemente alta, el material será arrastrado, formando una suspensión con el aire y causará una pequeña erosión en la tubería. La potencia y capacidad no puede ser predeterminada exactamente pero la experiencia ha provisto a los especialistas de los fundamentos y facilidades para estimar de una manera cercana a la realidad ciertos resultados con los que se pueden elaborar diagramas de flujo y estimar potencias y capacidades del transportador neumático.

La discusión teorica de la transportación neumática la cual a continuación presentamos, está basada en las lecturas de potencia, de velocidad del aire, volumen de aire y capacidades de una larga serie de instalaciones realizadas por varios especialistas en la material, de los resultados obtenidos se ha desarrollado una rutina matemática simple, la cual ha sido usada en el diseño de nuevas instalaciones. Los resultados concuerdan de una manera muy cercana con las fórmulas así desarrolladas.

Actualmente en la industria se cuenta con 2 métodos para el cálculo de sistemas de transportación neumática.

El primero de ellos consiste en 2 puntos principalmente, los cuales son los siguientes.

1.- Primero se determina la cantidad de aire requerido para transportar una libra de material sólido, en este sentido se ha encontrado que tomando 3.75 lb (50 ft<sup>3</sup>) de aire estándar a 70°f para transportar una libra de material (sin importar su densidad o peso específico, ni su densidad a granel) se tiene un buen rango de seguridad para evitar que el material se acumule y pueda fluir en la tubería.

2.- El segundo paso a seguir es fijar la velocidad a la cual será transportado el material, esta velocidad se lee en tablas, estas velocidades han sido encontradas o determinadas a base de una gran serie de experimentos y de acuerdo a los resultados que se han obtenido de los numerosos sistemas de transportación neumática ya instalados.

A continuación se presenta una de estas listas, en donde se encuentran una serie de materiales sólidos diversos utilizados en la industria y la velocidad de transportación fijada para el dimensionamiento del sistema de transportación.

Una vez que se ha seleccionado la velocidad y cantidad de aire necesario para la transportación, se procede al dimensionamiento de la tubería y cálculo de los HP requeridos por el compresor. A partir de este punto los cálculos tanto de este método como del que se presenta a continuación son los mismos.

<u>MATERIALES A TRANSPORTAR</u>	<u>VEL DEL AIRE</u>
CENIZAS DE TIERRA DE CLINCKERS	6000-9000
ABRASIVO EN PELUSA SECO	2500-3500
ABRASIVO EN ASTILLAS SECO	3000-4000
CEMENTO	6000-9000
CARBON EN POLVO	4000-5000
PELUSA DE ALGODON	1500-2000
SEMILLA DE ALGODON	4000-6000
HARINA	3500-6000
CENIZA LIGERA	3000-4000
POLVO DE FUNDICION	3500-4500
GRANOS	4000-5000
POLVOS DE GRANOS	2000-3000
POLVOS FINOS	3500-4500
CAL	5000-7000
VIRUTAS DE METAL	4000-5000
ASTILLAS DE MADERA SECA	4000-6000
TRAPOS	4000-6000
SAL	6000-7500
ARENA	6000-9000
ARENA PULVERIZADA	3500-4000
ASERRIN Y VIRUTA SECA	2000-3000
ASERRIN Y VIRUTA HUMEDA O VERDE	3000-4000
AZUCAR	5000-7000
TROZOS PEQUEÑOS DE MADERA	4000-5000
POLVO DE ARENA, ASERRIN PULVERIZADO	2000-4000

*TABLA No 4*

Después de una larga serie de instalaciones industriales de transportadores neumáticos, se ha encontrado que por el método anterior se tiene un sobrediseño intrínseco de aproximadamente 15 a 25 % dependiendo de la facilidad de fluidización del material, por lo que si cuenta con un equipo piloto, se recomienda que se efectúen pruebas antes de la instalación definitiva por ser factible la disminución del tamaño del equipo de transportación.

El segundo método está basado en fijar la cantidad de aire requerido para la transportación del material en función de la densidad específica del material, ya que se ha encontrado una ecuación que relaciona los volúmenes de material y gas, involucrando las densidades del material, por lo que las cantidades de gas que se necesitan para la transportación se calcula de una manera más exacta y de este modo los tamaños y capacidades del equipo serán menores que si se calcularan por el método anterior.

La ecuación que relaciona con mayor exactitud los volúmenes de aire y el material es:

$$\frac{.3 W^2}{100} = \frac{ft^3 \text{ de aire/hr}}{ft^3 \text{ de mat/hr}} \quad A$$

En donde W es el peso específico del material.

Los pies cúbicos de material por hora se calculan de la siguiente manera:

$$\frac{T \times 200}{W} = ft^3 \text{ de material/hr} \quad B$$

En donde T son las toneladas de material por hora. Por lo tanto substituyendo la ecuación "B" en la ecuación "A" podemos calcular la cantidad exacta de aire necesaria para la transportación, de la siguiente manera.

$$\frac{3W^2}{100} = \frac{FE^3 \text{ de aire/hv}}{T \times 200 / W}$$

Con lo que tenemos que la cantidad de aire necesario se cal  
cula por medio de la siguiente ecuación.

$$30 W \times T = FE^3 \text{ de aire por Hora}$$

Para los casos en donde la densidad del material a granel  
varia mucho con respecto a la densidad real del material tenemos  
que la relación de volúmen de aire a volúmen de material a granel  
es:

$$\frac{3W^2}{100} \times \frac{W/s}{W} = \frac{3W \times W/s}{100}$$

Por lo que respecta a la velocidad del aire a través del duc  
to, depende de la presión mantenida por el ventilador o extractor  
y como con un fluido se obtiene:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \angle$$

Donde: V = Velocidad en pies por segundo.

h = Peso de la columna de aire en libras por pie cuadrado.

g = 32.16

El peso del aire a 70°F es 0.076 Lb/ft<sup>3</sup>, pero como nosotros  
trabajamos con el peso (presión) en onzas por pulgada cuadrada, se  
tiene:

*P = Peso del aire en onzas por pulg. cuadrada*

$$P = h \times (0.0764 \times 16) / 144$$

O resolviendo para h.

$$h = 118 P$$

Substituyendo en C, se tiene:

$$V = 87.5 \sqrt{P} \quad \text{o} \quad P = V^2 / 7600$$

o más convenientemente;

$$(V^2 / 10,000) \times 1.32$$

aproximadamente en onzas por pulgada cuadrada.

Una tibería con descarga abierta tiene aproximadamente el 82% de area efectiva para un flujo de entrada de aire; de esta manera la velocidad el aire en el extremo de la tubería es mayor que en el centro de esta 6

$$P = \frac{V^2}{10,000} \times \frac{1.32}{0.82} = \frac{V^2}{10,000} \times 2$$

aproximadamente.

Las boquillas de entrada a mangueras tienen aproximadamente un 60% del area del ducto para acelerar la velocidad de arrastre en la boquilla, con lo cual tenemos:

$$P'' = (V^2 / 10,000) \times 5$$

La cual es usada para determinar la velocidad del aire en boquillas y mangueras.

Pérdidas por fricción en la línea de transportación.

$h$  = Caída de presión en pies a  $0.0764 \text{ lb/ft}^3$   $f$  = Coeficiente de fricción.  $L$  = Longitud de la tubería en pies.  $D$  = Diámetro de la tubería en pies.  $R$  = Radio hidraulico el cual es  $D/4$ ; entonces;  $h = \frac{FLV^2}{K \times 2g} = \frac{fF \times L}{D} \times \frac{V^2}{2g} = \frac{F \times L \times V^2}{D \times 16}$  en  $\text{lb/in}^2$

Para "p" en onzas por pulgada cuadrada, "L" como 100ft y "d" como el diámetro en pulgadas, substituyendo estos valores en la ecuación anterior, como pérdidas por fricción en onzas por pulgada cuadrada por 100 ft de longitud.

$$P = \frac{V^2}{d} \times \frac{16}{25} \times f$$

Kent usa  $f = 1/2\%$  ó  $50/10,000$ ,  $p = 32/d$  oz. por  $\text{in}^2$

Rest usa  $f = 5/8\%$  ó  $62.5/10,000$  ó  $p = 40/d$  oz. por  $\text{in}^2$

Unwin usa  $f = .0023(1 + 3.6/d)$ , ó  $p = 13/d (1+3.6/d)$

en onzas por pulgada cuadrada. Esto es para  $V = 100$  ft/seg y  $L = 100$ ft. Para otras velocidades la expresión de presión se tendrá que multiplicar por  $(V/100)^2$  y para otra longitud multiplicar por  $L_1/100$ .

En la siguiente tabla se muestran las caídas de presión en onzas por pulgada cuadrada, obtenidas en líneas de diferentes diámetros, con una longitud de 100 pies y a una velocidad de 100ft/seg calculadas con los tres factores de fricción.

Diámetro "d"	Kent	Root	Unwin	Vol del aire(Q) en $\text{ft}^3/\text{min.}$
4	8.00	10.00	8.50	520
5	6.40	8.00	6.25	820
6	5.32	6.67	4.80	1117
7	4.57	5.72	3.95	1600
8	4.00	5.00	3.25	2090
9	3.50	4.44	2.77	2650
10	3.20	4.00	2.43	3270
11	2.91	3.64	2.14	3690
12	2.67	3.33	1.93	4710
13	2.45	3.07	1.76	5550
14	2.29	2.85	1.60	6400
16	2.00	2.50	1.38	8400
18	1.78	2.22	1.20	10600
20	1.60	2.00	1.07	13100
24	1.33	1.67	0.865	19000

Las pérdidas por fricción en los codos de la tubería, debido a las fuerzas involucradas por el cambio de dirección del flujo son por conveniencia resueltas en longitudes equivalentes de tubería recta. Para un fin práctico para cada codo de 90° añadir 6 veces el diámetro de la tubería como pérdida por fricción; así por ejemplo 3 codos de 90° en una tubería de 3 pulgadas de diámetro, producirán una caída de presión de 12 ft. de tubería recta.

A continuación se presentan las caídas de presión en orificios en onzas por pulgada cuadrada.

Presión velocidad para 100% de eficiencia de orificios =  $V^2/1000$   
multiplicado por 1.32

TABLA No. 5

Pérdidas de presión por fricción en orificios en onzas/pulg.<sup>2</sup>

Entrada	Factor	Entrada	Factor
80 %	3.00	63 %	5.00
75 %	3.50	60 %	5.50
70 %	4.00	57 %	6.00
67 %	4.50	50 %	8.00

Existen 2 maneras para realizar la transportación por medio de aire. Una de ellas usa un gran volumen de aire y una baja presión la otra un pequeño volumen de aire a muy alta velocidad. En los sistemas de presión negativa la forma más eficiente cuando el material a transportar es denso y tiene que haber una gran capacidad de carga el 2° método es el más indicado; además que las caídas de presión por fricción en la tubería y en el extractor son menores.

Sin embargo existen ciertos materiales, los cuales requieren una grán velocidad de la corriente de aire.

La cantidad de aire depende del peso específico del material y de la capacidad de manejo del mismo. La transportación neumática no es un area en donde el cálculo pueda ser exacto, por ejemplo, en el caso del peso específico del material para diseño del transportador es mayor que el peso del material a grane, este tipo de incremento en el peso del material será determinado de acuerdo a la experiencia de la persona que tenga a su cargo el manejo de material a granel. Asi por ejemplo el carbón bituminoso tiene un peso a granel de 50 lb/ft<sup>3</sup> y un peso sólido de 84 lb. Este material es difícil de fluidificar y una estimación de peso específico de no menos de 90 lb. es aconsejable. La sal tiene un peso específico a granel de 45 a 50 lb/ft<sup>3</sup>, en sólido de 80 lb/ft<sup>3</sup>, la sal es lenta y por lo tanto se usará para el diseño del transportador un peso de la sal de 136 lb. La linasa fluye facilmente y por esto, se usará un peso específico de diseño de 82 Lb/ft<sup>3</sup> contra un peso a granel de 45 Lb/ft<sup>3</sup>

de acuerdo a lo observado anteriormente, para el cálculo de la cantidad de aire necesario para la transportación del material, se tiene que la cantidad de aire en ft<sup>3</sup>/min es:

$$Q = \frac{60 WT}{60} = WT$$

Donde Q = pies cúbicos de aire por minuto. W = Peso específico del material en libras por ft<sup>3</sup>. T = Toneladas de material manejadas por hora.

Esta fórmula puede ser escrita para pies cúbicos de aire por minuto por libra de material como:

$$Q = \frac{W \times T}{T \times 2000/60} \quad \text{o' } \quad Q = \frac{3 \times W}{100}$$

La velocidad de la corriente depende del promedio en el peso y tamaño de las partículas individuales, y debe por lo menos equi valer a su peso para elevar a las partículas en trechos de tube ría vertical, la mayoría de los sistemas para transportar mate- rial usualmente utiliza una velocidad de aire mayor de 50 ft por segundo. Cuando el material es movido horizontalmente, la veloci dad del aire puede ser menor que en una tubería con frecuentes cambios en la dirección del flujo. Ahora supongamos que:

$s^2$  = Area promedio de las partículas en pulgadas cuadradas.

$l$  = Espesor máximo de la partícula en pulgadas.

$W_1$  = Peso en onzas por pulgada cúbica.

$V$  = Velocidad del aire en pies por segundo

$c$  = Eficiencia de el soplado.

El soplado para el levantamiento de la partícula en tramos de tubería vertical es  $= (V^2/7600) \times s^2 \times c$ , y esto es equivalente al peso de la partícula, el cual es:  $s^2 \times l \times W_1$  en onzas.

Pero  $W_1 = W \times 16/(1728) = W/108$ . donde  $W$  es el peso específi co en libras por pie cúbico. De esta manera tenemos que la velo cidad del aire para el levantamiento del material puede ser es- crita de la siguiente manera.

$$V = 7.4 \sqrt{\frac{W \cdot L}{E}}$$

De una gran serie de pruebas en instalaciones los siguientes valores para la velocidad del aire en pies por minuto fueron adoptados con resultados satisfactorios en instalaciones subsecuentes.

		Velocidad Lineal Vertical	Velocidad Tuberia <sup>®</sup>	Velocidad Manguera
Ducto Recto Horizontal	Mat. Polvoso	$5\sqrt{\frac{W \cdot L}{Q}}$	$10\sqrt{W}$	$14\sqrt{W}$
	Granos	$6\sqrt{\frac{W \cdot L}{Q}}$	$12\sqrt{W}$	$20\sqrt{W}$
	Mat. Polvoso y Tamaño Variable	$7.5\sqrt{\frac{W \cdot L}{Q}}$	$15\sqrt{W}$	$24\sqrt{W}$
Ductos con descenso y Elevaciones	Mat. Polvoso	$10\sqrt{\frac{W \cdot L}{Q}}$	$12.5\sqrt{W}$	$20\sqrt{W}$
	Granos	$12\sqrt{\frac{W \cdot L}{Q}}$	$15\sqrt{W}$	$24\sqrt{W}$
	Mat. Polvoso y Tamaño Variable	$15\sqrt{\frac{W \cdot L}{Q}}$	$18.7\sqrt{W}$	$30\sqrt{W}$

1.  $\pm 6\%$  Dependiendo de la Fluidificación, Humedad, Tamaño de Partícula etc.

Potencia.- La potencia necesaria para mover "Q" pies cúbicos de aire limpio por minuto a una presión de "P" libras por pulgada cuadrada, se obtiene por medio de las siguientes fórmulas:

$$HP = \frac{Q \times P \times 144}{33,000} \quad \text{ó} \quad \frac{Q \times P \times 4.35}{1000} \quad \text{ó} \quad \frac{Q \times P}{230}$$

Si asumimos que la eficiencia recarga es de 87.5% la potencia resultante queda como sigue (Este valor se debe a que experimentalmente se ha encontrado que existe un deslizamiento de 14% en promedio en el material transportado.)

$$HP \text{ (reales)} = \frac{Q \times P \times 4.35}{0.875 \times 1000} = \frac{Q \times P}{200}$$

En sistemas que operan presurizados:

$$\text{MOTOR HP} = \frac{Q \times P}{175}$$

En sistemas de presión negativa:

$$\text{MOTOR HP} = \frac{Q \times P}{175} \times \left( \frac{14.7 + P}{14.7} \right)$$

De la fórmula para el cálculo de la potencia inicial podemos conocer la presión que tendremos en el sistema de la siguiente manera:

$$P = \frac{HP \times 100}{Q} = \text{En Libras por Pulgada Cuadrada}$$

$$P = \frac{HP \times 3200}{Q} = \text{En onzas por Pulgada Cuadrada}$$

A continuación se mostrará paso por paso el procedimiento usado para el cálculo de sistemas neumáticos tomando 3 diferentes arreglos del sistema de transportación y para la transportación de 3 materiales diferentes: Sal gruesa, Linasa y corcho.

Los dibujos de la colocación de los sistemas de transportación se muestran a continuación, y estos son solamente ilustrativos. En el aspecto económico, este sistema puede ser más costoso que lo que sería un transportador de bandas en donde se tendrían que comprar 400 pies de banda transportadora, 600 poleas para las bandas, la estructura de soporte, un reductor de 10HP y la banda, comparado contra una línea de transportación, un motor de 200HP y un ventilador. (ya que un transporte mecánico utiliza el 5% de la potencia que consume un sistema neumático). La comparación se vuelve más interesante cuando el material a transportar es un material muy ligero como lo puede ser el corcho pulverizado.

PRODEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE SISTEMAS NEUMATICOS A BAJA PRESION Y GRANDES VOLUMENES DE AIRE.

1.- Determinar la cantidad de aire requerido por libra de material.

$$Q' = (3W/100) \text{ FL}^3/lb$$

2.- Determinar de tablas la velocidad del aire, tomando en consideración el recorrido de la línea (cuando la tubería es recta o con desviaciones)

3.- Seleccionar el tamaño de la tubería con la cual un flujo de "Q" ft<sup>3</sup>/min. de aire proveerá de la velocidad determinada anteriormente.

4.- Ajustar el volúmen y la velocidad del aire para adecuar las dimensiones de la tubería a tamaños standards de tuberías.

5.- Determinar las caidas de presión del aire, las cuales són las siguientes.

a).- Caída de presión en orificios:

b).- Caída de presión en mangueras:

c).- Caída de presión en tuberías:

d).- Pérdidas de presión en tanques o recipientes; 4 oz. por tanque promedio.

e).- Pérdida de presión en la línea de aire entre el extractor y el separador o entre el separador y el colector de polvos; 3oz en promedio.

Total pérdida de presión en el aire a través de la tubería es:

(A) = a + b + c + d + e. en onzas por pulgada cuadrada.

6.- Pérdidas de presión por fricción en el material. Asumimos que la velocidad de el material es del 80% la velocidad de la corriente de aire en la cual flota el material, esta velocidad es alcanzada por el resto del material en 1 segundo por la velocidad de arrastre de la corriente de aire en la boquilla, y en la manguera.

$$V_1 = \text{Velocidad en la boquilla} = 1.6V$$

Velocidad del material en el extremo de la manguera :

$$V_1/2 = .8V \text{ entonces:}$$

f).- Pérdida de presión debida a la inercia.

g).- Pérdida de presión en manguera asumiendo como:

$$1/2 \times f = (T \times V^2) / 10,000 \quad \text{en HP}$$

h).- Pérdida de presión en la línea de transportación.

H = cambio de altura del punto inicial al final de la línea en ft.

k).- Pérdida de presión en cada codo de 90°

m).- HP totales iniciales requeridos para el material:

f + g + h + k convirtiendo la potencia inicial en presión;

m x 3200 / Q en onzas pro pulgada cuadrada (M)

n).- La caída de presión total es A + M en onzas por pulgada cuadrada, o la suma de pérdidas de presión en la línea comenzando con la presión en el orificio y en el extremo del tanque.

Convertir "n" a libras por pulgada cuadrada; la caída de presión total es  $(A + n)/16$  en libras por pulgada cuadrada - (P).

Para sistemas presurizados.

$$HP = \frac{Q \times P}{175}$$

Para sistemas con presión negativa.

$$HP = \frac{Q \times P}{175} \times \frac{(14.7 + P)}{(14.7)}$$

De estas dos ecuaciones finales, el tamaño del ventilador es determinado.

Ahora aplicamos el procedimiento anterior a tres tipos de arreglos en las líneas de transportación con tres tipos distintos de materiales.

1.- El sistema hipotético presurizado (Dibujo No. 25), con una línea recta horizontal que tiene una longitud de 1,900 ft. desde el ventilador hasta el receptor de material.

Determinación del sistema presurizado; Capacidad 40 Tons. por Hora, Longitud 1,900 ft. tendido de la línea: Horizontal - recta, arreglo como en la figura No. 25.

Suponiendo que transporta sal gruesa:

Peso del sólido en  $lb/ft^3 = 80$

Peso específico en  $lb/ft^3 = 136$

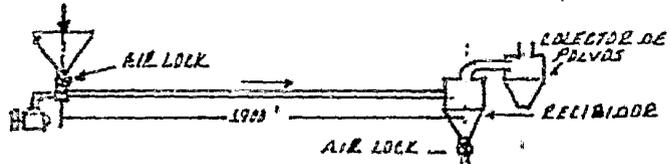


Fig. No 25

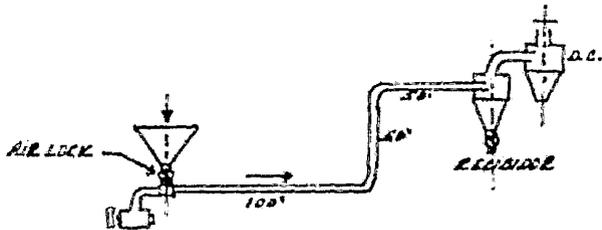


Fig No 26

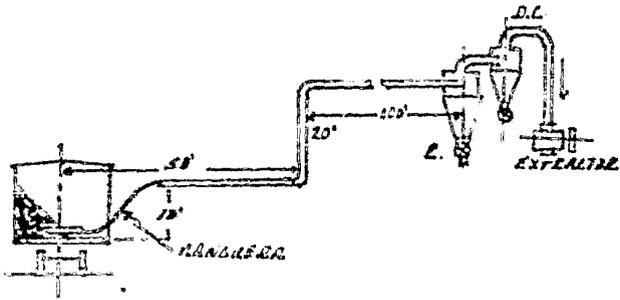


Fig No 27

TESIS PROFESIONAL
TITULAR: SISTEMAS DE TRANSPORTE
TABLA NARRATIVA
FAC. DE QUIMICA U. N. A. M. 1982
INVENTOR: WILBERTO DIAZ FLORES

MATERIAL: SAL GENCRA (No. 01)

PESO POR PIE CUBICO 80 lb

PESO ESPECIFICO 136 lb / ft<sup>3</sup> W

(1) CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO  $Q = W \cdot T$

$$Q = 136 \times 40 = 5440 \text{ ft}^3/\text{MIN PARA TRANS-} \\ \text{PORTAR 40 TON DE SAL POR HORA}$$

(2) VELOCIDAD DEL AIRE =  $10 \sqrt{W} + 6\%$

$$V = 10 \sqrt{136} + 6\% = 124 \text{ ft/sec}$$

(3) SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA TUBERIA

$$V \times A = \text{FLUJO} \quad A = \text{FLUJO} / V_{\text{EL}}$$

$$A = \frac{5440 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}}}{124 \text{ ft/sec}} = .731 \text{ ft}^2$$

$$.731 \text{ ft}^2 = A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \therefore D = \sqrt{\frac{.731 \times 4}{\pi}}$$

$$D = .964 \text{ ft} \quad \therefore D = 12 \text{ in}$$

(4) AJUSTAR EL VOLUMEN Y LA VELOCIDAD DEL AIRE DE ACUERDO A LAS DIMENSIONES REALES DE LA TUBERIA

CON UN DIAMETRO DE 12 PULS TENEMOS

$$Q_{\text{REAL}} = 5650 \text{ ft}^3/\text{MIN}$$

$$V_{\text{REAL}} = 110 \text{ ft/sec}$$

(5) CAIDAS DE PRESIÓN POR FRICCIÓN DE AIRE EN ONZAS POR PULGADA CUADRADA

a) CAIDA DE PRESIÓN EN DEFICIO:  $\left(\frac{V^2}{10,000}\right) \times 5$

$$\left(\frac{120^2}{10,000}\right) \times 5 = 7 \text{ oz/in}^2$$

b) CAIDA DE PRESIÓN EN MANGUERA:  $\left(\frac{V_1}{100}\right)^2 \times \frac{35 \times P}{100} =$

(b) = 0 PORQUE NO HAY MANGUERA

c) CAIDA DE PRESIÓN EN LA LINEA  $\left(\frac{V}{100}\right)^2 \times \frac{L}{100} \times \text{Coef (L/min)}$   
(Tabla 4)

$$\left(\frac{120}{100}\right)^2 \times \frac{1900}{100} \times 1.93 = 53 \text{ oz/in}^2$$

d) CAIDA DE PRESIÓN EN TORNILLOS: 4 OZ. POR TORNILLO (Prom.)

$$4 \times 2 = 8 \text{ oz/in}^2$$

e) CAIDA DE PRESIÓN EN LA LINEA ENTRE EL EXTRACTOR Y EL SEPARADOR O ENTRE EL SEPARADOR Y EL COLECTOR DE POLVOS: 3 OZ./in<sup>2</sup> (Promedio)

$$\text{TOTAL (a) + (b) + (c) + (d) + (e) = (A) = 71 \text{ oz./in}^2$$

(6) CAIDA DE PRESIÓN POR FRICCIÓN DEL MATERIAL

f) CAIDA DE PRESIÓN DEBIDA A LA INERCIA  $\frac{K V^2}{2 \times 550} = \frac{7 V^2}{100,000}$  EN HP

$$\frac{40 \times 120^2}{100,000} = 6 \text{ HP}$$

g) CAIDA DE PRESIÓN EN MANGUERAS COMO  $\frac{1}{2}$  DE F. =  $\frac{F V^2}{1000000}$  EN HP

(g) = 0 PORQUE NO HAY MANGUERA

h) CAIDA DE PRESIÓN EN LA LINEA DE TRANSPORTACIÓN  $\frac{F}{1000} \left( H + \frac{L}{5} \right)$

(H) CAE = ELEVACIÓN DEL PUNTO FINAL AL PUNTO INICIAL

$$\frac{40}{1000} \times \frac{1900}{5} = 16 \text{ HP}$$

k) CAIDA DE PRESIÓN POR CADA RODD DE 90° =  $\frac{F V^2}{200000}$  EN HP

(k) = 0 PORQUE NO HAY RODOS.

m) POTENCIA INICIAL TOTAL NECESARIA PARA EL MATERIAL :

F + g + h + k. LA CONVERSION DE LA POTENCIA EN PRESIÓN SE HACE DE LA SIGUIENTE MANERA  $\times 3200 / Q$  EN OZ/IN<sup>2</sup> (N)

$$M = 6 + 16 = 22 \text{ HP}; N = \frac{22 \times 3200}{5650} = 13 \text{ OZ/IN}^2$$

n) CAIDA DE PRESIÓN TOTAL R + M

$$71 + 13 = 84 \text{ OZ/IN}^2 \quad \frac{84}{16} \text{ EN LB/IN}^2 = 5.25 \text{ (P)}$$

$$\text{HP} = \frac{Q \times P}{175} = \frac{5650 \times 5.25}{175} = 170 \text{ HP}$$

SUPONIENDO AHORA QUE EL MATERIAL ES: LINASA

PESO POR FT<sup>3</sup> EN LIBRAS 95  
PESO ESPECIFICO EN LIBRAS 82

(1)  $Q = 82 \times 40 = 3280 \text{ FT}^3/\text{MIN}$

(2)  $V = 12 \sqrt{82} + 6\% = 117 \approx 110 \text{ FT}/\text{SEG}$

(3) UNA TUBERIA DE 10 IN DA 3600 FT<sup>3</sup>/MIN

(4)  $Q = 3600 \text{ FT}^3/\text{MIN}$   $V = 110 \text{ FT}/\text{SEG}$

(5) CAIDA DE PRESIÓN POR FRICCIÓN DEL AIRE EN ONZAS POR PULGADA CUADRA

a)  $\left(\frac{110}{100}\right)^2 \times 5 = 6 \text{ ONZAS}/\text{PULGADA CUADRA}$

b) 0 ONZAS/PULGADA CUADRA

c)  $\left(\frac{110}{100}\right)^2 \times \frac{1900}{100} \times 2.43 = 56 \text{ ONZAS}/\text{PULGADA CUADRA}$

d)  $4 \times 2 = 8 \text{ ONZAS}/\text{PULGADA CUADRA}$

e) 3 ONZAS/PULGADA CUADRA.

(6) CAIDA DE PRESIÓN POR FRICCIÓN DEL MATERIAL

f)  $40 \times \frac{110^2}{100,000} = 5 \text{ HP}$

g) 0 HP

h)  $\frac{40 \times 1900}{1000} \times \frac{1}{5} = 16 \text{ HP}$

k) 0 HP

$M = \frac{21 \times 3200}{3600} = 19 \text{ oz}/\text{in}^2$   $P = \frac{73 + 19}{16} = 5.75 \text{ lb}/\text{in}^2$

$\text{HP} = \frac{3600 \times 5.75}{17.5} = 120 \text{ HP}$

SUPONIENDO QUE EL MATERIAL A TRANSPORTAR ES CORCHO PLANO

PESO POR FT<sup>2</sup> EN LIBRAS 5 a 10

PESO ESPECIFICO EN LIBRAS 37.5

L1)  $Q = 37.5 \times 40 = 1500 \text{ FT}^3/\text{Min}$

L2)  $V = 10 \sqrt{37.5} - 3\% = 60$

L3) UNA TUBERIA DE 9 IN DA 1600 FT<sup>3</sup>/Min. CON ESTA VEL.

L4)  $Q = 1600 \text{ FT}^3/\text{Min}$        $V = 60 \text{ FT/SEC}$

L5) CAIDA DE PRESION POR FRICCION DEL AIRE EN OZ./IN<sup>2</sup>

L6)  $\left(\frac{40}{100}\right)^2 \times 5 = 2 \text{ OZ./IN}^2$

L7)  $= 0 \text{ OZ./IN}^2$

L8)  $\left(\frac{60}{100}\right)^2 \times \left(\frac{1500}{100}\right) \times 2.73 = 19 \text{ OZ./IN}^2$

L9)  $9 \times 2 = 9 \text{ OZ./IN}^2$

L10)  $\underline{3 \text{ OZ./IN}^2}$

TOTAL. 32 OZ./IN<sup>2</sup>

L11) CAIDA DE PRESION POR FRICCION DEL MATERIAL

L12)  $40 \times \frac{60^2}{100,000} \times 3' = 4.5 \text{ HP}$

3' EL POLVO FINO DE CORCHO LLEGA A LA VEL. MAX. EN 1/3 DEL TIEMPO POR ESO SE

MULTIPLICA POR 3

L13)  $J(K) = 0 \text{ HP}$

L14)  $\frac{40}{1000} \times \frac{1900}{5} = \underline{16 \text{ HP}}$

L15) TOTAL = 20.5 HP

L16)  $(20.5 \times 3200) \div 1600 = 41 \text{ OZ./IN}^2$

L17)  $(32 + 41) \div 16 = 4.6 \text{ lb/IN}^2$

HP =  $(1600 \times 4.6) \div 175 = 42 \text{ H.P.}$

ANDE ANALIZAREMOS EL SISTEMA A PRESIÓN CON LOS MISMOS MATERIALES Y LAS MISMAS CAPACIDADES, EL ARRREGLO DE ESTE SISTEMA SE MUESTRA EN EL SIGUIENTE NO 26

	SAL GUESA	LINAS A	LOREN PLAND
PESO POR FE <sup>3</sup> EN LB	30	45	5 a 10
PESO ESPECIFICO EN LB	136	92	37.5
(1) Q FE <sup>3</sup> /MIN	5440	3280	1500
(2) V FE/seg	$12 \frac{1}{2} \sqrt{136} + 6\% = 154$	$15 \sqrt{92} + 6\% = 146$	$12 \frac{1}{2} \sqrt{37.5} + 3\% = 79$
(3) DIAMETRO TUBERIA	11 in a 150 FE/seg	9 in a 110 FE/seg	8 in a 76 FE/seg
(4) Q real y V real	Q = 5950 FE <sup>3</sup> /min V = 150 FE/seg	Q = 3700 FE <sup>3</sup> /min V = 110 FE/seg	Q = 1600 FE <sup>3</sup> /min V = 76 FE/seg
(5) CAIDA DE PRESION POR FRICCION DEL AIRE			
a)	$\left(\frac{150}{100}\right)^2 \times 5 = 110 \text{ oz/in}^2$	$\left(\frac{140}{100}\right)^2 \times 5 = 100 \text{ oz/in}^2$	$\left(\frac{76}{100}\right)^2 \times 5 = 30 \text{ oz/in}^2$
b)	0 oz/in <sup>2</sup>	0 oz/in <sup>2</sup>	0 oz/in <sup>2</sup>
c)	$\left(\frac{150}{100}\right)^2 \times \frac{2.12}{100} \times 2.14 = 10 \text{ oz/in}^2$	$\left(\frac{140}{100}\right)^2 \times \frac{2.12}{100} \times 2.77 = 11 \text{ oz/in}^2$	$\left(\frac{76}{100}\right)^2 \times \frac{2.12}{100} \times 3.25 = 4 \text{ oz/in}^2$
d)	4 x 2 = 8 oz/in <sup>2</sup>	8 oz/in <sup>2</sup>	8 oz/in <sup>2</sup>
e)	$\frac{302 \text{ oz/in}^2}{32 \text{ oz/in}^2}$	$\frac{302 \text{ oz/in}^2}{32 \text{ oz/in}^2}$	$\frac{302 \text{ oz/in}^2}{18 \text{ oz/in}^2}$
f) R = (a)+(b) + (c) + (d) + (e)			
(6) CAIDA DE PRESION POR FRICCION DEL MATERIAL			
f)	$90 \times \left(\frac{150^2}{100,000}\right) = 9 \text{ HP}$	$40 \times \left(\frac{140^2}{100,000}\right) = 8 \text{ HP}$	$90 \times \left(\frac{76^2}{100,000}\right) \times 3 = 7 \text{ HP}$
g)	0 HP	0 HP	0 HP
h)	$\frac{90}{1000} \left(\frac{50 + 212}{5}\right) = 4 \text{ HP}$	4 HP	4 HP
k) APROX	$\frac{90 \times 150^2 \times 2}{200,000} = 9 \text{ HP}$	$\frac{40 \times 140^2 \times 2}{200,000} = 8 \text{ HP}$	$\frac{90 \times 76^2 \times 2 \times 3}{200,000} = 7 \text{ HP}$
m) TOTAL	22 HP	20 HP	18 HP

	SAL GRUESA	LINASA	COCHO PLANO
M	$\frac{22 \times 3200}{5950} = 12.02 \text{ in}^2$	$\frac{20 \times 3200}{3700} = 17.03 \text{ in}^2$	$\frac{18 \times 3200}{1600} = 36.00 \text{ in}^2$
P	$\frac{32 \times 112}{16} = 224 \text{ lb/in}^2$	$\frac{32 \times 112}{16} = 224 \text{ lb/in}^2$	$\frac{18 \times 136}{16} = 153 \text{ lb/in}^2$
HP	$\frac{5960 \times 0.35}{175} = 94 \text{ HP}$	$\frac{3200 \times 3}{175} = 63 \text{ HP}$	$\frac{1600 \times 3.5}{175} = 32 \text{ HP}$

FINALMENTE ANALIZAREMOS EL SISTEMA DE PRESION NEGATIVA PARA LOS MISMOS MATERIALES Y CAPACIDADES DE ACUERDO AL ARREGLO DE LA FIGURA No 27

	SAL GRUESA	LINASA	COCHO PLANO
1.- Q FT <sup>3</sup> /MIN	5540	3280	1500
2.- V FT/SEG	$12.5 \sqrt{15} + 6\% = 154$	$15 \sqrt{12} + 6\% = 146$	$12.5 \sqrt{35} - 3\% = 75$
3.- DIAMETRO DE TUBERIA Y MANOLETA	1 1/2" a 150 FT/SEG 9 in a 225 FT/SEG	9 in a 140 FT/SEG 7 in a 230 FT/SEG	8 in a 76 FT/SEG 6 in a 136 FT/SEG
4.- Q + CAL FT/SEG V tub FT/SEG V mans FT/SEG	5950 120 27.5	3700 140 230	1600 76 136
5.- CAIDA DE PRESION POR FRICCION DEL AIRE EN OZ./IN <sup>2</sup>			
a)-	$\left(\frac{22.5}{100}\right)^2 \times 5 = 25$	$\left(\frac{230}{100}\right)^2 \times 5 = 26$	$\left(\frac{176}{100}\right)^2 \times 5 = 10$
b)-	$\left(\frac{22.5}{100}\right)^2 \times \frac{35}{100} \times 2.77 = 5$	$\left(\frac{230}{100}\right)^2 \times \frac{35}{100} \times 3.95 = 7$	$\left(\frac{176}{100}\right)^2 \times \frac{35}{100} \times 4.8 = 3$
c)-	$\left(\frac{350}{100}\right)^2 \times \frac{180}{100} \times 2.14 = 10$	$\left(\frac{140}{100}\right)^2 \times \frac{180}{100} \times 2.77 = 11$	$\left(\frac{26}{100}\right)^2 \times \frac{180}{100} \times 3.25 = 4$
d)-	4 x 2 = 8	8	8
e)-	$\frac{3}{51 \text{ oz./in}^2}$	$\frac{3}{55 \text{ oz./in}^2}$	$\frac{3}{28 \text{ oz./in}^2}$
A) = (a) + (b) + (c) + (d) + (e)			

- 127 -

SAL GRUESA                      LINDASA                      LOBILHO PLANO

6.- CAIDA DE PRESIÓN POR FRICCIÓN DEL MATERIAL

F):	$40 \times \frac{150^2}{100,000} = 9 \text{ hP}$	$40 \times \frac{140^2}{100,000} = 8 \text{ hP}$	$40 \times \frac{76^2}{100,000} \times 3 = 7 \text{ hP}$
J):	$50\% \times F = 5 \text{ hP}$	$50\% \times F = 4 \text{ hP}$	$50\% \times F = 4 \text{ hP}$
K):	$40 \times \left( \frac{30 + 190}{5} \right) = 3 \text{ hP}$	$3 \text{ hP}$	$= 3 \text{ hP}$
L): Cal totales	$F/2 \times 3 \text{ hP} \times 2 = 14 \text{ hP}$ 31 hP	$12 \text{ hP}$ 27 hP	$11 \text{ hP}$ 25 hP
M)	$\frac{31 \times 3200}{5950} = 17 \text{ oz/m}^2$	$\frac{27 \times 3200}{3700} = 23 \text{ oz/m}^2$	$\frac{25 \times 3200}{1600} = 50 \text{ oz/m}^2$
N)	$\frac{51 + 17}{16} = 4.25 \text{ lb/in}^2$	$\frac{55 + 23}{16} = 5 \text{ lb/in}^2$	$\frac{28 + 50 + 5 \text{ lb/in}^2}{16}$
HP)	$\frac{5950 \times 4.25 \times (14.7 + 5)}{175} =$ $= 187 \text{ HP}$	$\frac{3700 \times 5 \times (14.7 + 5)}{14.7} =$ $= 142 \text{ HP}$	$\frac{1600 \times 5 \times (14.7 + 5)}{175} =$ $= 62 \text{ HP}$

El primer material usado en el ejemplo, es un material típicamente pesado. La linasa, por su parte es un material de un peso medio, y por último el corcho plano, es un material sumamente ligero, con estos 3 diferentes tipos de material hemos ilustrado el efecto de las características de los materiales, cuando son transportados por medio de un sistema de transportación neumática.

En el segundo caso, por ejemplo encontramos que para transportar sal gruesa con 5440 ft<sup>3</sup> se requiere una potencia de 94 HP con una tubería de 11" de diam. Ahora se mostrará la diferencia en la potencia si en lugar de una tubería de 11" usamos para la transportación una tubería de 10" de diam.

$$Q = 5440 \text{ FE}^3/\text{Min}$$

$$V = 166 \text{ FE}/\text{seg}$$

CAIDA DE PRESION DEL AIRE EN  $\text{oz}/\text{in}^2$

$$b) \left(\frac{166}{100}\right)^2 \times 5 = 14 \text{ oz}/\text{in}^2$$

$$c) \left(\frac{166}{100}\right)^2 \times \frac{212}{100} \times 2.75 = 14 \text{ oz}/\text{in}^2$$

$$d) \qquad \qquad \qquad 8 \text{ oz}/\text{in}^2$$

$$e) \qquad \qquad \qquad \frac{3 \text{ oz}/\text{in}^2}{\text{TOTAL } 39 \text{ oz}/\text{in}^2}$$

CAIDA DE PRESION DEL MATERIAL

$$f) 40 \times \left(\frac{166^2}{100000}\right) \qquad \qquad 11 \text{ HP}$$

$$g) \qquad \qquad \qquad 4 \text{ HP}$$

$$h) 40 \times \left(\frac{166^2}{100000}\right) \qquad \qquad \frac{11 \text{ HP}}{\text{TOTAL } 26 \text{ HP}}$$

$$i) \frac{26 \times 3200}{5440} = \qquad \qquad 15 \text{ oz}/\text{in}^2$$

$$j) \frac{39 + 15}{16} = \qquad \qquad 3.4 \text{ oz}/\text{in}^2$$

$$k) \frac{5440 \times 3.4}{174} = \qquad \qquad 106 \text{ HP}$$

CAPITULO V.

C O S T O S.

En el presente capítulo se pretende hacer la evaluación del equipo desde el punto de vista económico.

Como ya se vió anteriormente, los equipos de transportación neumática se utilizan en sistemas donde el material permite que se realice este tipo de transportación en donde además la transportación por métodos mecánicos resultaría mucho más difícil de efectuar.

Es por esto que una comparación económica entre los sistemas de transportación mecánica y neumática resultaría poco ilustrativa, ya que de nada serviría encontrarnos que un sistema de transportación mecánica resulta más económico, si el arreglo del sistema es tal que resulta imposible la transportación del material por medio del sistema mecánico. Por otro lado, resulta también incongruente hacer una evaluación económica para la transportación de materiales sólidos en bloques , puesto que estos bloques no podrán ser transportados por medios neumáticos, a menos que sean molidos.

De acuerdo a lo anterior, se procederá a dar una evaluación económica de los tres sistemas de transportación neumática utilizados en la ejemplificación de los cálculos del capítulo IV, de manera que esta evaluación pueda servir como guía, a quien en un momento dado desee tener una idea de los costos en que se incurren para la instalación de sistemas de transportación neumática.

Costos de transportación neumática como en la figura No. 25.

1.- Tolva de alimentación.

Capacidad: 10 Tons.

Material: Acero al carbón de 1/8" de espesor.

El precio que se especifica a continuación involucra los costos de fabricación y los costos por instalación. \$ 65,000.00.

2.- Soplador de aire.

Con una capacidad máxima de 10,000 pscm.

Potencia de 200 HP.

Presión de descarga del aire 6 ib/in<sup>2</sup>

Equipo auxiliar: post enfriador del aire

Bomba de aceite, etc.,

Costo del equipo incluida la instalación. \$ 500,000.00.

3.- Válvula rotatoria, a prueba de fugas de aire.

Capacidad de alimentación 40 tons/hr. de 12" de diámetro.

Accionada con cadena y estrellas.

Costo de la válvula incluyendo motor accionado, motoreductor, instalación, cadenas, etc. \$ 250,000.00.

4.- Tubería.

Línea de acero al carbón, cd. 40 y accesorios.

Logitud 2,000' de 12" de diámetro.

Costo de la línea incluyendo la instalación, soportes, material para la instalación, etc. \$ 3,177,540.00.

5.- Ciclón separador.

Capacidad aproximada 40 ton/hr.

Este ciclón servirá para atrapar las partículas de materiales que lleguen a desprenderse del manejo del material.

Valor total del ciclón, incluyendo materiales, mano de obra, e instalación \$ 78,000.00.

6.- Válvula rotatoria.

Capacidad de descarga 40 ton/hr. a prueba de fugas de aire.

Accionada con estrellas y cadenas.

Costo de la válvula incluyendo: motor accionador, motoreductor, instalación, cadenas, etc. \$ 250,000.00.

7.- Colecto de polvos.

Capacidad de 4 ton/hr.

Contará con dos series de bolsas, las cuales retendrán todos los polvos finos que salieran del ciclón,

El precio incluye: materiales, fabricación, conteniendo las -- instalaciones necesarias para su operación, instalación del -- equipo, motor para vibración, y descarga, etc. \$ 60,000.00.

Costo Total: \$ 4,380,540.00.

Costos de transportación neumática como en la figura  
No. 26.

1.- Tolva de alimentación.

Capacidad 10 toneladas.

Material: acero al carbón de 1/8" de espesor.

El precio que se especifica a continuación involucra los costos de fabricación y los costos por instalación \$ 65,000.00.

2.- Soplador de aire.

Capacidad máxima de 10,000 PCSM

Potencia: 100 HP.

Presión de descarga del aire: 4 Lb./in<sup>2</sup>.

Equipo auxiliar: post enfriador del aire.

Bomba de aceite, etc.

Costo del equipo incluida la instalación \$ 390,000.00.

3.- Válvula rotatoria.

A prueba de fugas de aire.

Capacidad de alimentación 40 ton/hr. de 12" de diámetro.

Accionada con cadenas y estrellas.

Costo de la válvula incluyendo: motor accionador, motor reductor, instalación, cadenas, etc. \$ 250,000.00.

4.- Tubería.

Línea de acero al carbón Cd. 40 de 10" de diámetro y accesorios.

Longitud 170 ft.

Costo de la línea incluyendo la instalación, soportes, material para la instalación, etc. \$ 270,090.00

5.- Ciclón separador.

Capacidad aproximada 10 ton/hr.

Este ciclón servirá para atrapar las partículas de materiales que lleguen a desprenderse del manejo del material.

Valor total del ciclón, incluyendo materiales, mano de obra, e instalación. \$ 78,000.00.

6.- Válvula rotatoria.

Capacidad de descarga 40 ton/hr. a pruebas de fugas de aire.

Accionada con estrellas y cadenas.

Costo de la válvula incluyendo: motor accionador, motoreductor, instalación, cadenas, etc. \$ 250,000.00.

7.- Colector de polvos.

Capacidad 4 ton/hr.

Contará con dos series de bolsas, las cuales retendrán todos los polvos finos que salieran del ciclón.

el precio incluye: materiales, fabricación conteniendo las instalaciones necesarias para su operación, instalación del equipo, motor para vibración y descarga del material. \$ 60,000.00.

Costo Total: \$ 1.353,090.00.

Costos de transportación neumática con en la figura No. 27.

1.- Tolva de alimentación.

Capacidad: 10 toneladas.

Material: acero al carbón, de 1/8" de espesor.

El precio que se especifica a continuación involucra los costos de fabricación y los costos por instalación \$ 65,000.00.

2.- Soplador de aire.

Capacidad máxima: 10,000 psm.

Potencia requerida: 200 HP.

Presión de descarga del aire: 61b/in<sup>2</sup>

Equipo auxiliar: post enfriador de aire.

Bomba de aceite, etc.

Costo del equipo incluida la instalación: \$ 500,000.00.

3.- Válvula rotatoria.

A prueba de fugas de aire.

Capacidad de alimentación 40 Ton/Hr. de 10" de diámetro.

Accionada con cadenas y estrellas.

Costo de la válvula incluyendo: Motor accionador, motoreductor, instalación, cadenas, etc.: \$ 250,000.00.

4.- Tubería.

Línea de acero al carbón cd. 40 de 10" de diámetro y accesorios, Longitud 200 ft.

Costo de la línea incluyendo la instalación, soportes, material para instalación, etc. \$ 317,754.00.

5.- Ciclón separador.

Capacidad aproximada 10 Ton/hr.

Este ciclón servirá para atrapar las partículas de materiales que lleguen a desprenderse del manejo del material.

Valor total del ciclón, incluyendo materiales, mano de obra e instalación \$ 78,000.00.

6.- Válvula rotatoria.

Capacidad de descarga 10 Ton/hr. a prueba de fugas de aire. Accionada con estrellas y cadena.

Costo de la válvula incluyendo: motor accionador, motoreductor, instalación, cadenas, etc. \$ 250,000.00.

7.- Colector de polvos.

Capacidad de 4 Ton/hr.

Contará con 2 series de bolsas, las cuales retendrán todos los polvos finos que salieran del ciclón.

El precio incluye: materiales, fabricación, conteniendo las instalaciones necesarias para su operación, instalación del equipo, motor para vibración y descarga del material - - \$ 60,000.00.

Costo Total: \$ 1.520,754.00.

Como se puede observar, los costos son muy semejantes en las figuras números 26 y 27, en tanto que en la figura número 25 los costos se elevan mucho, lo cual es debido a la gran longitud de la tubería que se utiliza en ese sistema de transportación, en cambio, en las figuras 26 y 27, las distancias de la tubería son muy semejantes.

Si comparásemos los costos de los tres sistemas de transportación neumática independiente de la longitud de la tubería, se podrá observar que los costos son prácticamente los mismos, esto es debido a que en los sistemas de transportación neumática positiva, negativa y mixta, la única diferencia consiste prácticamente en la colocación del equipo, por ejemplo en un sistema positivo el soplador se encontrará al principio de la línea, mientras que en uno negativo se encontrará al final de la línea de transportación.

De lo dicho anteriormente se puede concluir que la comparación de costos entre los tres sistemas no sirve como un indicador para efectuar una selección de un sistema con respecto a otro.

## CAPITULO VI

## CONCLUSIONES

En este capítulo se procedera a exponer las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a partir de la elaboración de este trabajo:

1.- La velocidad recomendada en tablas concuerda con la velocidad calculada para la línea horizontal, sin embargo cuando se compara con la velocidad para la línea vertical, la recomendada es mucho mayor que la calculada para esta línea (vertical), esto se debe a que en líneas verticales los choques que el material tiene contra las paredes de la tubería, son menores que en una tubería horizontal; por el contrario, cuando comparámos la velocidad recomendada, con la calculada para mangueras, podemos observar que esta última es mayor, debido a que existen numerosos cambios de dirección, lo cual provoca que el material este constantemente chocando con las paredes de la manguera, ocasionando con esto que el material pierda velocidad constantemente, por lo cual para evitar estancamientos es necesario tener una velocidad superior a la que se tendría en una línea recta horizontal.

2.- La cantidad de aire que es recomendada en tablas es muy grande, mientras que la cantidad de aire requerido de acuerdo a los cálculos es mucho menor, por lo que cuando se haga la evaluación de esta cantidad de aire, es necesario que la persona que esta haciendo la evaluación, tome en cuenta los posibles problemas que se puedan presentar para la fluidificación del material, de manera tal que la cantidad de aire asignada para la transportación sea lo suficientemente grande, como para poder evitar cualquier contingencia en la transportación, tal como se muestra en el capítulo IV, al hacer la evaluación para la transportación de sal (Na Cl).

3.- La selección de un sistema de transportación neumática, no puede hacerse indiscriminadamente, esto es, no es posible utilizar en un sistema dado, un transportador neumático positivo, negativo o mixto, ya --

que dependiendo de este arreglo será el sistema a utilizar, una buena guía para esta selección es la siguiente.

- a).- Si el material se recoge de un solo punto y se descarga a varios, el sistema de transportación a utilizar será el sistema de transportación neumático positivo.
- b).- Si el material se recoge de varios puntos y se va a descargar en uno solo, el sistema más adecuado para la transportación es el sistema de transportación neumático negativo.
- c).- Si el material se recoge de varios puntos y es descargado a varios, el sistema de transportación neumático ideal, es el sistema mixto, ya que agrupa las cualidades de los sistemas positivo y negativo.

4.- La duración de la vida y el buen funcionamiento del sistema de transportación, dependerán de la exactitud con que se especifiquen los siguientes puntos.

- a).- El material que será transportado.
- b).- Como se llevará este material hasta la planta.
- c).- Necesidades del departamento de producción.
- d).- Grado de control del sistema de transportación.
- e).- Selección del proveedor del sistema de transportación.

5.- El cálculo del sistema de transportación es aproximado y por lo tanto esta expuesto a ciertas variaciones en el diseño del sistema de transportación, los cuales son causados por ciertos factores, los cuales resultan sumamente difícil de evaluar pero los cálculos del sistema de transportación, de manera tal, que se pudiese llegar a un diseño óptimo del sistema de transportación, algunos de estos factores son los siguientes:

- a).- Fluidificación del material, ya que este puede sufrir variaciones debidas a causas tales como tamaño de la partícula, Humedad del material, compactación del material, humedad del aire etc.

b).- Obstruccionamiento creciente en las líneas de transportación, sobre todo en los puntos donde hay cambios de dirección, debido al deterioro en los desviadores insertados en la línea de transportación.

CAPITULO VII

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

- 1.- Brown G.C. Operaciones Básicas de la Industria -- Química. Editorial Merin Segunda Edición, España. p. 76-84, 1965.
- 2.- Gluck S.E. Design Tips for Pneumatic Conveyors -- Hydro Carbon Processing 47, 10 Octubre, 88, 95, 1968.
- 3.- Howley M.B. Materials Handling and Factory Trans--portation. Editorial Ulrich, Tercera Edición, New York, 157, 190, (1941).
- 4.- Jones V. and Frenska E. Systems Approach to Pellet Handling Hydrocarbon Processing, 47, 10, Octubre 104-105 (1968).
- 5.- Kent's <sup>5</sup> B.N. Mechanical Engineers Hand Book. Edito--rial Mc. Hill, Cuarta Edición New York. 27.90, 27.103, 18.6 - 18.11, (1957).
- 6.- Klinzing G.E. Vertical Pneumatic Transport of So--lids in the Minimum Pressure Drop Region Ind. Eng. Chem. Pro--cess. Des Dev., 18, 3, Febrero, 404-408, (1979).
- 7.- Knafelc F.M. Trouble Free Diverters for Pneumatic Conveying Systems, Chemical Engineering. 25, 176, 179 (1967).
- 8.- Kraus M.N. Pneumatic Conveying Chemical Engineering 12. Abril, 166-182, (1965), 10, Mayor, 149-164, (1965), 3 Enero 104-108, (1966).
- 9.- Kraus M.N. Starting Up. Pneumatic. Conveyors Chemi--cal Engineering, 31, Enero, 94-100, (1966).

10.- Metha N.C., Smith J.M. and Cumings F.W. Pressure - Dropping Air-Solid Flow Systems, Industrial and Engineering - - Chemistry, 49, 6, Junio, 986-992, 1957

11.- Nakamura K. y Copes C.E. Vertical Pneumatic Conve<sub>u</sub>ying the Canadian Journal of Chemical Engineering. 51, Febrero, 39-46 (1973).

12.- Poper Cost. Engineering in the Proceso Industry, Ed. Mc. Graw Hill, Segunda Edición New York, 313- 317, 336-338, 99-139, 380-384.

13.- Smith D. Pneumatic Transport and It's Hazards, -- Chemical Engineering Progress, 66, 9, Septiembre, 41-48, (1970)