



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**CRITERIOS DE SELECCION Y DISEÑO DE SISTEMAS
PARA TRANSPORTE NEUMATICO**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

Presenta:

CARLOS MONDRAGON LOPEZ

México, D. F.

1985



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**PUEDES
SI CREES
QUE PUEDES**

I N D I C E

CAPITULO I

I.1 Introducción.

CAPITULO II

GENERALIDADES DEL TRANSPORTE NEUMATICO.

- 2.1.- Clasificación.**
- 2.2.- Sistema a Presión Positiva.**
- 2.3.- Sistema a Presión Negativa.**
- 2.4.- Combinación de sistemas de Presión Positiva y negativa.**
- 2.5.- Sistema de transporte neumático por medio de Tanque Presurizador**

CAPITULO III

VARIABLES FUNDAMENTALES DE LOS SOLIDOS QUE AFECTAN LA OPERACION EN UN TRANSPORTE NEUMATICO

- 3.1.- Introducción**
- 3.2.- Superficie de la partícula**
- 3.3.- Tamaño de la partícula**
- 3.4.- Densidad**
- 3.5.- Angulo de reposo**
- 3.6.- Cohesión y Uniformidad**
- 3.7.- Compresibilidad**
- 3.8.- Higroscopicidad**

- 3.9.- Punto de ablandamiento
- 3.10.- Corrosividad
- 3.11.- Abresividad
- 3.12.- Seguridad
- 3.13.- Fuerzas Electroestáticas

CAPITULO IV

CRITERIOS DE SELECCION DE LOS COMPONENTES DE UN TRANSPORTE NEUMATICO

- 4.1.- Alimentador tipo venturi
- 4.2.- Válvula Rotatoria
- 4.3.- Colector de Polvos
- 4.4.- Colector de Polvo Tipo Ciclón
- 4.5.- Ventiladores y compresores
- 4.6.- Válvulas, Tubería y coples
- 4.7.- Silos y Tolvas
- 4.8.- Controles de Nivel
- 4.9.- Sistemas de Aeración y Vibración

CAPITULO V

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO

- 5.1.- Información necesaria para el diseño de un transporte neumático.
- 5.2.- Flujo de sólidos en tuberías
- 5.3.- Cálculo del sistema separador de sólidos (ciclón).

- 5.4.- Cálculo de la potencia del ventilador
o compresor
- 5.5.- Secuencia de cálculo

CAPITULO VI

APLICACION

- 6.1.- Enunciado del problema
- 6.2.- Cálculo de la caída de presión total en la
tubería
- 6.3.- Cálculo del ciclón
- 6.4.- Cálculo del compresor o ventilador
- 6.5.- Costo y gastos de operación del sistema de
transporte neumático

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 7.1.- Ventajas de usos de un sistema de transporte
neumático
- 7.2.- Análisis fenomenológico de un sistema de transporte
neumático
- 7.3.- Comportamiento de un sistema de transporte
neumático

SIMBOLOGIA

BIBLIOGRAFIA

C A P I T U L O I

I.I.- INTRODUCCION

Hace 40 años se hizo el primer sistema de transporte neumático y desde entonces han aparecido muchas publicaciones de estudios realizados acerca de este tema en forma desorganizada y seguidamente aparecen contradicciones con los resultados obtenidos de diferentes tipos de experimentos.

La tesis tiene como objetivo dar los criterios de selección y el diseño de sistemas de transporte neumático en forma clara y sencilla para efectuar una evaluación rápida de un transporte neumático y su posible aplicación en cualquier proceso.

Las industrias en las cuales se utiliza el transporte neumático son las siguientes:

- 1- Industria Petroquímica.
- 2- Industria de alimentos.
- 3- Industria de la construcción.
- 4- Industria farmacéutica.
- 5- Industria minera.

Todas estas industrias procesan partículas sólidas las cuales requieren un manejo limpio, rápido y adecuado.

Lo cual ha propiciado que las técnicas de transporte neumático se hayan desarrollado rápidamente durante los últimos años.

C A P I T U L O I I

GENERALIDADES DEL TRANSPORTE NEUMATICO

2.1.- CLASIFICACION.

El transporte neumático es adecuado para partículas granulares que fluyen libremente en una corriente - gaseosa en la cual las partículas pueden dispersarse y no se adhieren, ni se aglomeran en las paredes de la tubería, accesorios, ni equipo de transporte.

El transporte neumático se puede clasificar en dos - maneras muy generales, de la forma siguiente:

a- De acuerdo al arreglo del sistema.

b- De acuerdo a una velocidad del gas y por una relación de flujo en masa de la mezcla sólido/gas.

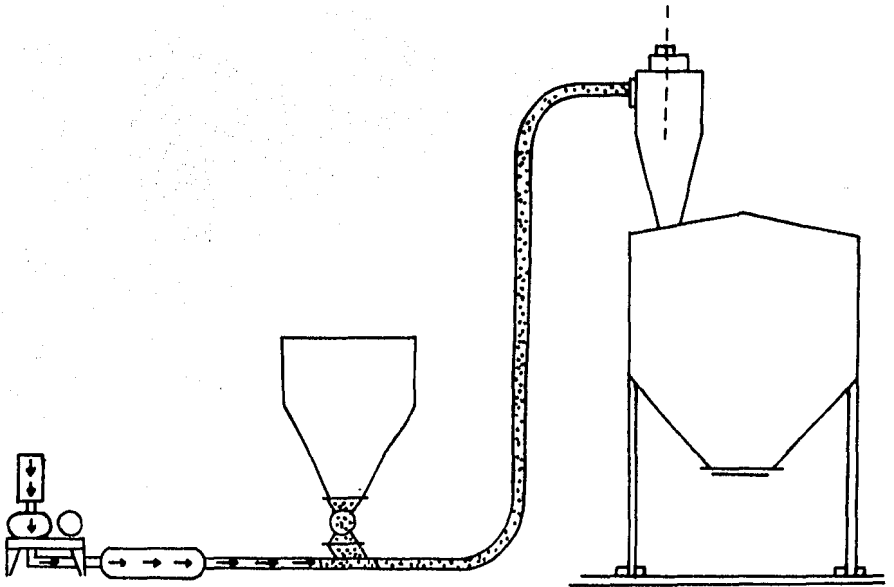
a- El transporte neumático de acuerdo al arreglo del sistema se subdivide en: Transporte a presión positiva y Transporte a presión negativa.

El transporte a presión positiva se puede distinguir fácilmente porque el suministro de aire ó gas se encuentra antes de la alimentación del material que se transportará, ver Figura II-1.

El transporte a presión negativa se distingue porque el suministro de aire ó gas se localiza despues de - la alimentación del material a transportar, ver figura II-2.

Existen procesos en que se requiere la combinación de sistemas de presión negativa y positiva como un arre-glo.

SISTEMA A PRESION POSITIVA






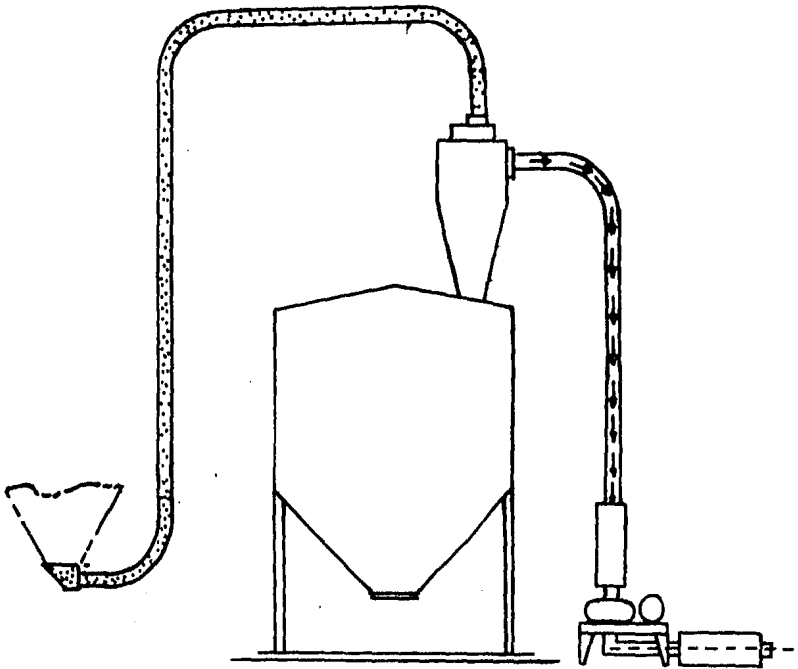

- Transporte de:
- A  aire
 - B  aire y material
 - C  aire a la atmósfera


fig. 11-1


SISTEMA A PRESION NEGATIVA



Transporte de:

A  aire y material

B  aire

C  aire a la atmósfera

- fig.11-2 -

Los equipos que se mencionen a continuación serán descritos en forma detallada en el capítulo IV.

Las partes fundamentales que componen a un sistema neumático a presión positiva son las siguientes:

La parte " A ", esta parte se caracteriza por que solo se transporta aire, esta parte comprende suministro de aire de la atmósfera a la entrada del material y consiste generalmente en: ventilador, - compresor, filtro y tubería.

La parte " B ", que es de la entrada de el material hasta su destino, y que consiste generalmente en: fuente de entrada de material que puede ser de diferentes tipos, por ejemplo tipo venturi, válvula rotatoria o simplemente un tubo por el cual se adicione el material; antes de que el material llegue a su destino es necesario que se efectuó una separación del aire o del gas que lo transporta, para tal fin se emplean colectores de polvo, ciclones o una combinación de los dos. Finalmente las particulas son depositadas en tolvas o silos, como característica de esta parte del sistema se transporta el aire y el material.

La parte " C " que es del destino del material a la atmósfera, en esta parte solo es transportado aire o gas y que consiste generalmente en silenciadores, filtros o colectores de polvos. (ver figura II-I)

Las partes fundamentales que componen un sistema neumático a presión negativa son las siguientes: La parte " A " que es de la entrada del material a su destino, y que consiste generalmente en: Tolva de descarga, recipiente receptor de material conocido como --- Pick-Up el cual permite el paso del aire más fácilmente, válvula rotatoria, tubería por donde se transporta aire y material, y finalmente tolvas ó silos.

La parte " B " que va de la tolva o del silo hasta la salida del ventilador o compresor, en esta parte del sistema solo se maneja aire.

La parte " C " la cual va de la salida de aire del - compresor hasta la atmósfera, pasando primeramente por un filtro o un silenciador. (ver figura II-2)

b- El transporte neumático de acuerdo a una velocidad del gas y por una relación de flujo en masa de la mezcla sólido-gas, lo podemos subdividir en:

I- Transporte neumático en fase diluida.

2- Transporte neumático en fase densa.

Se definen estos dos tipos de transporte en forma siguiente: El transporte neumático en fase diluida, se caracteriza por manejarse a baja presión (por abajo de 15 PSIG) y altas velocidades (por arriba de 3 000 pies/minuto).

Transporte neumático en fase densa, se caracteriza por manejarse a alta presión (por arriba de 15 PSIG) y a bajas velocidades (por debajo de 3 000 pies/ minuto. Cuando se menciona un sistema en fase densa generalmente se piensa en un sistema a presión positiva, en el - cual se emplea una pequeña cantidad de aire para mane- jar una gran cantidad de material.

En caso de un sistema en fase diluida se piensa en un transporte neumático a presión positiva y también a - presión negativa, empleando una cantidad de aire muy grande para manejar una pequeña cantidad de material. En sistemas de transporte neumático fase densa es más conveniente manejar materiales pesados, pues este ti- po de materiales son muy abrasivos y en este sistema debido a la baja velocidad el efecto de la abrasión - sobre el equipo y la tubería puede disminuirse, y de- bido a que se manejan presiones altas el equipo tiene que ser sobre-diseñado para soportar dichas presiones. En un sistema de transporte neumático fase diluida es conveniente manejar materiales ligeros y materiales no abrasivos, pues en este sistema se manejan altas velo- cidades y por lo tanto la abrasión de los materiales - se favorecerá, el equipo y la tubería pueden diseñarse de una forma menos severa que un sistema de fase densa.

2.2.- SISTEMA A PRESION POSITIVA.

Los sistemas a presión positiva se emplean generalmente para transportar los sólidos de un punto hasta diferentes puntos de descarga del sistema, también es posible en algunos casos transportar el material desde varios - puntos de alimentación hasta un solo punto de descarga, el arreglo de los equipos dependerá principalmente del objetivo para el cual se requiere emplear el transporte neumático, por lo tanto en un caso particular no será - necesario poner todos los equipos que se indicarán, pues el empleo de un equipo dependerá también de las características del material, capacidad y distancia de transporte. ver figura No. 3.

Los sistemas generalmente operan a una presión de 10 a 15 PSIG., dependiendo del tipo de equipo que se este - empleando por ejemplo; cuando se emplea válvula ro - tatoria las pérdidas de presión y aire de transporte - se reducen en comparación si se empleara otro tipo de alimentador como un gusano alimentador o un alimentador tipo venturi.

Cuando en un sistema de presión positiva este en fase diluida se transportan aproximadamente 20 lb de material por cada libra de aire ó un pie cúbico del pro - ducto por cada 20 pies cúbicos de aire a condiciones estandar.

En los sistemas a presión positiva debe existir un sello adecuado entre la tubería y los equipos, pues cualquier fuga se produce hacia el exterior, por lo que es necesario tener un mantenimiento continuo para que el sistema opere en buenas condiciones y éste se mantenga limpio.

Un sistema a presión positiva esta compuesto por el siguiente equipo :

- 1- Filtro de entrada.
- 2- Compresor o ventilador.
- 3- Silenciador a la salida.
- 4- Receptor de material.
- 5- Válvula rotatoria.
- 6- Tolva receptora de material.
- 7- Codos.
- 8- Junta de unión de la tubería.
- 9- Ciclón separador de material.
- 10- Tolva adaptadora de colector de polvos.
- 11- Colector de polvos.
- 12- Enfrisor o calentador de aire.
- 13- Válvula desviadora.
- 14- Sistema de distribución.
- 15- Silo de almacenamiento.

En caso de que se transporten materiales sensitivos, tóxicos y explosivos se instalarán más equipos en el sistema como secadores y suministros de gas inerte.

SISTEMA A PRESION POSITIVA

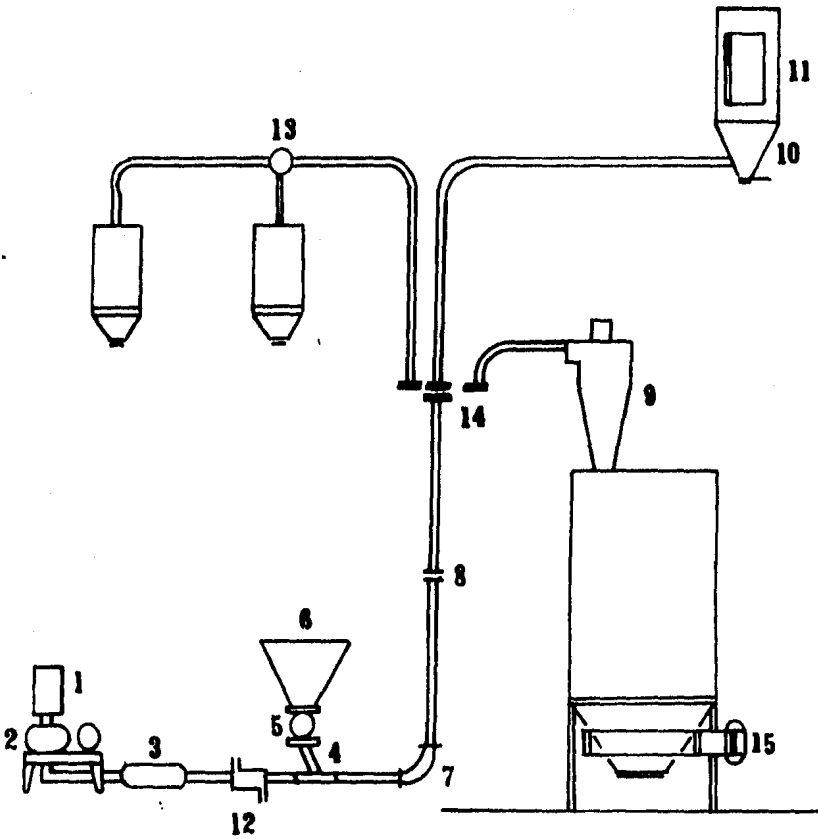


FIG. 11-3

2.3.- Sistema a Presión Negativa.

Los sistemas a presión negativa generalmente se emplean para transportar el material de varios puntos a un solo destino. En este sistema no es necesario poner en la alimentación una válvula rotatoria, por lo anterior se podría pensar que este sistema es más económico que un sistema a presión positiva pero esto no es cierto pues en los sistemas a presión negativa se debe tener un control absoluto de las partículas polvorrientas debido a que estas pueden llegar al compresor o ventilador y dañarlos.

Los sistemas normalmente operan a una presión negativa de 15 a 16 pulgadas de agua, las capacidades de transporte son muy pequeñas, aproximadamente la mitad de los sistemas a presión positiva.

El equipo que se emplea en un sistema a presión negativa depende de las características del material a transportar, capacidad y distancia, por lo que en un caso particular no será necesario emplear todos los equipos indicados. (ver figura II-4)

Este sistema de transporte se recomienda para transportar materiales ligeros y polvosos debido a que no existen fugas, puesto que la tubería y los equipos están a una presión negativa y en caso de que hubiera una rotura o un mal sello se produciría una succión de aire -

SISTEMA A PRESION NEGATIVA

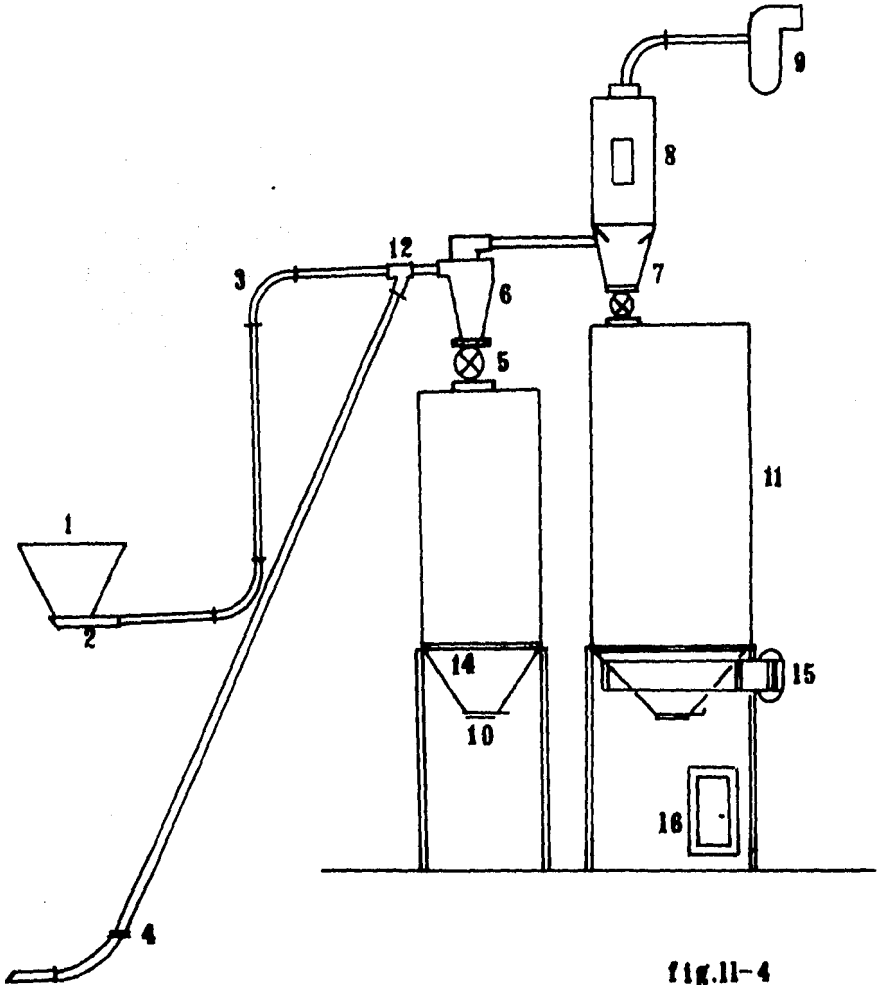


fig.11-4

hacia el sistema y por lo tanto no escaparía el material.

Un sistema a presión negativa esta compuesto por el siguiente equipo:

- I- Tolva de admisión de material.
- 2- Receptor de tolva a tubería del material.
- 3- Codos.
- 4- Junta rápida de unión.
- 5- válvula rotatoria.
- 6- Ciclón separador de material.
- 7- Tolva auxiliar de colector de polvos.
- 8- Colector de polvos.
- 9- Ventilador.
- 10- Válvula de cuchilla.
- 11- Silo de almacenamiento.
- 12- Válvula desviadora.
- 13- Válvula de mariposa.
- 14- Sistema de aeración.
- 15- Sistema vibratorio.
- 16- Puerta de acceso.

2.4.- Combinación de sistemas de presión negativa y positiva.

Este tipo de arreglo se emplea cuando se requieren varios puntos de levantamiento de material y uno ó más puntos de descarga.

En este arreglo se combina la gran capacidad de un sistema a presión positiva con la facilidad de introducir los sólidos de un sistema a presión negativa.

Una característica de este arreglo es que el transporte de los sólidos puede ser en forma continua o independiente en cada sistema, esto dependerá de los equipos que se instalen.

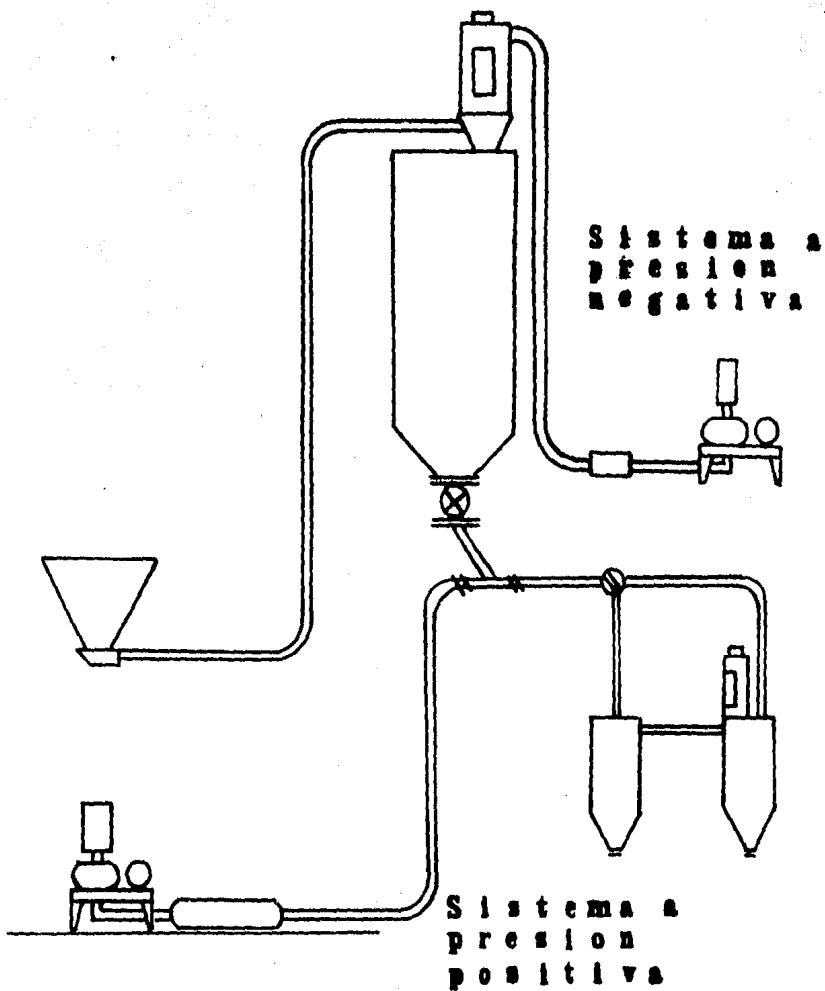
En la figura II-5 se muestra un sistema de transporte neumático combinado, el funcionamiento de este sistema es el siguiente:

El material es introducido al sistema empleando el transporte a presión negativa y es transportado hasta un equipo intermedio pudiendo ser un silo o una tolva, posteriormente el material es introducido a un sistema de presión positiva empleando una válvula rotatoria, y finalmente el material es transportado a su destino.

Generalmente en el sistema de transporte combinado

SISTEMAS COMBINADOS DE TRANSPORTE NEUMATICO

fig. II-5



se emplea en primer lugar el transporte a presión negativa debido a que se transporta el material de varios puntos a uno solo y por la facilidad de introducir el material al sistema.

Por ejemplo varios camiones o carros de ferrocarril pueden ser vaciados por medio de succión empleando - el transporte neumático a presión negativa y transportar el material hasta un silo de gran capacidad - y al mismo tiempo pueden estar alimentando a otro silo o a la línea de proceso empleando el transporte a presión positiva.

2.5.- Sistemas de transporte neumático por medio de tanque presurizador.

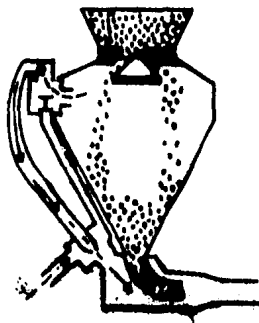
Este tipo de sistema se ha desarrollado durante los últimos años debido a las ventajas que presenta. Se emplea para manejar materiales abrasivos (cal, yeso y otros) y también materiales sensibles al calor (plásticos, azúcar y gelatina). Este tipo de sistema de transporte no es continuo, la forma de operar es la siguiente: el material entra al tanque por gravedad hasta un nivel determinado, una vez -- efectuado esto la válvula se cierra y posteriormente entra aire a presión al recipiente cuando se termina de presurizar el tanque, la válvula de descarga se -- abre y el aire fluye en la tubería y el material es arrastrado al mismo tiempo. Cuando el tanque está -- vacío, la válvula de descarga se cierra y el tanque se llena y se presuriza repitiéndose el ciclo. Si se quiere una operación continua se conectan dos tanques mientras uno esta descargando el material a la tubería, el otro esta presurizando. (ver figura II-6) El ciclo depende del tipo de material que se esté -- transportando, la capacidad del tanque y de la distancia hasta la descarga.

Los controles de nivel del material en el tanque presurizador deben ser controlados por sensores o indicadores de nivel pues un control manual no funciona.

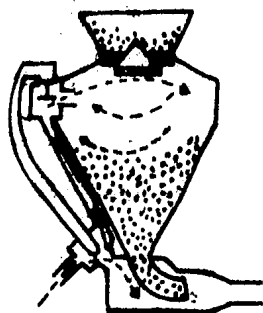
Tanque Presurizador

fig. H-6

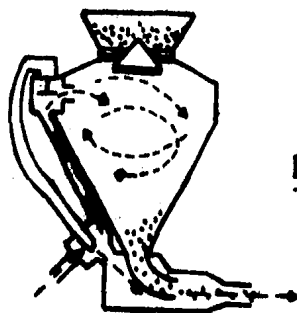
La válvula de venteo y de admisión de material se abren y el material es introducido hasta un nivel determinado del tanque.



Se cierra la válvula de venteo y la de admisión de material, y se abre la válvula de suministro de aire, elevando la presión dentro del tanque.



La válvula de descarga se abre y sale el aire arrastrando el material en la tubería.



Sistema Continuo

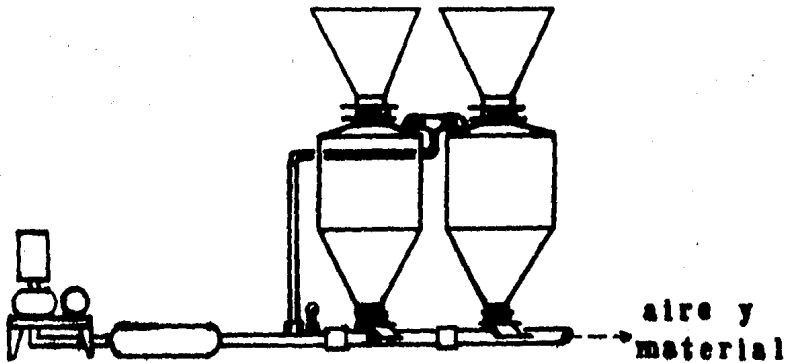


fig. II-7

Sistema de transporte de material en forma continua mediante la combinación de los dos tanques. Mientras uno descarga el material a la tubería el otro se -- llena y se presuriza.

C A P I T U L O I I I

VARIABLES FUNDAMENTALES DE LOS SÓLIDOS QUE AFECTAN

LA OPERACION EN UN TRANSPORTE NEUMATICO

3.I.- Introducción.

Para el diseño de un sistema de flujo de sólidos, el Ingeniero tiene que hacer un estudio de las propiedades físicas principalmente, teniendo un especial interés -- con respecto al comportamiento del flujo del material. La medición del flujo de los sólidos no es fácil en comparación por ejemplo con los líquidos, que tienen una forma de fluir como un solo cuerpo y una continuidad tal que al presionar una partícula del fluido, ésta es distribuida através de toda la masa y entonces el flujo puede ser medido con una gran variedad de equipos, y en caso del flujo de los sólidos no hay tal continuidad, sin embargo esta puede considerarse en dos formas, una continuidad formada por partículas individuales libres y la otra como una aglomeración de partículas, las cuales su movimiento es inconsistente.

En la mayoría de los casos es posible obtener y conocer las propiedaes físicas de los sólidos que se transportarán, debido a que no se requieren equipos especiales y en muchos casos se encuentran reportados en manuales.

A continuación se mencionarán cada una de las propiedades características de las partículas que influyen en el transporte neumático.

- I- Superficie de la partícula.
- 2- Tamaño de partícula.
- 3- Densidad.
- 4- Angulo de reposo.
- 5- Cohesión y Uniformidad.
- 6- Compresibilidad.
- 7- Higroscopicidad.
- 8- Punto de ablandamiento.
- 9- Corrosividad.
- 10- Abrasión.
- II- Toxicidad, combustibilidad y explosivo. (seguridad)
- I2- Fuerzas eléctricas.

3.2.- Superficie de la partícula.

El comportamiento de el flujo es muy influenciado por la superficie de la partícula, pues si esta es lisa y de forma redonda fluiré fácilmente en comparación con otra que fuera áspera y de forma irregular.

3.3.- Tamaño de partícula.

El tamaño de una partícula es una relación directa del área de la partícula. A menor tamaño de una partícula, más grande será la superficie relativa de la partícula y viceversa.

El tamaño de una partícula a la cual las fuerzas sobre la superficie predominan y la fuerza de gravedad depende principalmente de la estructura y del peso.

3.4.- Densidad

La densidad de un material es el peso por unidad de volumen de muchas partículas que componen al material las unidades generalmente empleadas son; libras por cada pie cúbico del material, en el caso de los sólidos no es útil relacionar la densidad con la fluidez del material, pues existe el efecto de compresibilidad y por lo tanto no hay una relación directa entre estas.

Sin embargo la densidad no es solamente un número, si no que es un dato entre muchos que se deben de conocer para entender el comportamiento de los sólidos a fluir.

La importancia de la densidad de un material esta en:

- Diseñar el tipo de alimentación del material al sistema de transportación.
- Calcular el tipo de tolva y la capacidad de la misma.
- Conocer y determinar los esfuerzos por compresión y empaque que puedan ocurrir dentro de la tolva.
- Indicar si el material dentro de la tolva puede formar una bóveda o bolsas de aire.

Se pueden conocer dos tipos de densidad:

a) Densidad sin empaçar: Si se deposita el material en un recipiente en donde se efectuará la medición sin oprimir, agitar el recipiente ó aplicar cualquier otro tipo de fuerza. Se mide el volumen ocupado por el material y se pesa, con esta relación se obtiene la densidad sin empaçar.

b) Densidad de empaque: Al depositar el material en un recipiente hasta el volumen deseado y posteriormente - se hace vibrar el recipiente, al hacer esto se provoca que las partículas se acomoden en el recipiente y por lo tanto se disminuye el volumen, se mide este volumen y se toma el peso neto, con esta relación se obtiene - la densidad de empaque del material.

3.5.- Angulo de reposo.

El ángulo de reposo es una característica de los sólidos fluidizables más conocido y es definido como un ángulo - constante formado por la horizontal y el cono formado - por las partículas del material, una forma fácil de me - dirlo es apilar el material en forma de cono sobre una - tablita y esta inclinarla, el material irá cayendo, una vez hecho esto, se mide el ángulo formado por donde res- baló el material y la horizontal. (ver figura III-I)

El ángulo de reposo es una relación directa del potencial de fluidez del material, la relación con el flujo es como sigue; para partículas fácilmente fluidizables tiene un - ángulo de reposo de 25 a 35 grados, de 38 a 45 son partí- culas con una fluidez aceptable y más de 60 grados son - muy poco fluidizables.

En conclusión para partículas muy fluidizables presentan un ángulo de reposo de 33 a 40 grados, menos fluidizables de 40 a 45 grados, cuanto más bajo sea el ángulo más es la fluidez del material.

El ángulo de reposo es una medida simple y rápida para tener una idea de: tamaño, uniformidad, porosidad, cohesividad, fluidización y densidad de las partículas del material.

Determinación del Ángulo de Reposo

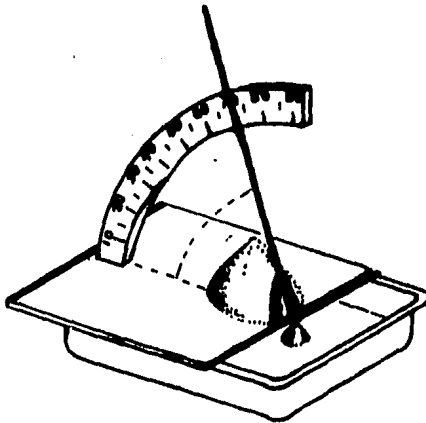


fig. III-1

3.6.- Cohesión y Uniformidad.

La cohesión y la uniformidad son propiedades que son alternantes en el estudio del flujo de sólidos es decir la cohesión es empleada con materiales muy polvorientos y la uniformidad en materiales granulares, - la cohesión de las partículas depende del tamaño, dureza, superficie, fuerzas electrostáticas, higroscopicidad etc; debido a que en las partículas granulares no existe la cohesión en comparación con las partículas polvorientas, no se puede utilizar como una medida de flujo, y por lo tanto se emplea el coeficiente de uniformidad y este es un valor numérico, - el cual se obtiene al dividir el tamaño del tamiz al cual solo pasa el 60 % del flujo del material con el tamaño del tamiz en donde pasa el 10 % de la muestra.

3.7.- Compresibilidad.

La compresibilidad es obtenida por la diferencia entre la densidad sin empacar y la de empaque por cien y dividida por la densidad de empaque, este valor es una indicación muy buena del potencial de fluidez de las partículas. Si un material es más compresible será menos fluidizable y en forma contraria poco compresible más fluidizable. Un material con una compresibilidad de 5 a 18 % es muy fluidizable, de 18 a 22 % medianamente y más de 22 % es muy poco fluidizable.

3.8.- Higroscopicidad

Este término se emplea para denotar la tendencia de los sólidos a tomar humedad del medio ambiente, este efecto hace que las fuerzas de cohesión aumente y por lo tanto el material se aglomere y no fluya libremente siendo por lo tanto un factor muy importante.

3.9.- Punto de ablandamiento

Existe una gran cantidad de sólidos, generalmente - compuestos orgánicos que tienen un punto de ablandamiento muy bajo y que en la superficie de partículas muy pequeñas este es de 30 a 40 % abajo del punto normal de ablandamiento, por lo tanto este - tipo de materiales tiene que ser transportado a bajas temperaturas y a velocidades también bajas debido a que la fricción en la superficie deteriora al material.

3.10.- Corrosividad

Cuando se hace fluir un compuesto químico este no es corrosivo si no existe humedad por lo tanto dos cosas es necesario conocer para saber que tanto es corrosivo el material; primero el pH y la tendencia a absorber la humedad, pues una vez conocidos estas dos propiedades podremos especificar los materiales de construcción del sistema.

3.II.- Abrasión.

Los factores principales que intervienen en la abrasión son el tamaño de partícula y la dureza, pues si el tamaño de la partícula es grande y también su dureza el material será muy abrasivo, de acuerdo a la escala de dureza (ESCALA DE MOHS) para los materiales con un valor mayor de 0.8 son materiales muy abrasivos.

3.I2.- Seguridad.

La seguridad en el diseño de un sistema de transporte neumático es un factor muy importante pues requiere - que el sistema sea confiable durante su operación y - sobre todo que no existan fugas de material para tener una limpieza dentro de la planta, así como para prevenir accidentes cuando se transportan materiales tóxicos y explosivos.

3.I3.- Fuerzas Electroestáticas.

Las fuerzas electrostáticas causen adhesión o cohesión y de este modo influyen en el flujo, generalmente materiales no metálicos y óxidos se cargan positivamente y bases se cargan negativamente.

C A P I T U L O I V

CRITERIOS DE SELECCION DE LOS COMPONENTES DE UN TRANSPORTE NEUMATICO

En este capítulo se mencionarán cada uno de los equipos que componen a un transporte neumático, en forma detallada con el objetivo de hacer una selección adecuada, conociendo sus ventajas y al mismo tiempo sus limitaciones.

Se mencionarán en el orden siguiente:

1. Alimentador tipo rénturi.
2. Válvula rotatoria.
3. Colector de polvos.
4. Colectores de polvos tipo ciclón.
5. Ventiladores y compresores.
6. Válvulas.
7. Tubos y codos.
8. Tolvas y silos.
9. Controles de nivel.
10. Sistemas de aeración y vibración.

4.I.- Alimentador tipo Venturi.

El empleo del alimentador tipo venturi se emplea normalmente en sistemas de baja presión y cuando se manejan partículas polvorientas fácil de fluir en las que solo se emplean un ciclón para separar el aire y las partículas, la fuente de suministro generalmente es un ventilador debido a que este - alimentador opera en forma adecuada a una presión de menos de 45 pulgadas de agua.

Los materiales que se manejan en este tipo de alimentadores son: pastas de sopa, frijol, haba y algunas otras leguminosas.

Los alimentadores tipo venturi están limitados debido al tamaño reducido de la alimentación por ejemplo si la tubería del sistema es de 4 pulgadas, la boquilla de entrada sera de 2 pulgadas como máximo. La caída de presión através del venturi es aproximadamente de 7 psig, lo cual significa que la presión de la descarga de la fuente de suministro de aire tiene que ser como mínimo de 10 a 11 psig para poder tener a la salida del venturi una presión de descerga de 4psig., debido a la poca eficiencia de los alimentadores venturi se emplean en casos especiales.

4.2.- Válvula Rotatoria.

Las válvulas rotatorias tienen como función la de dosificar el material al sistema y también la de servir como sello para impedir la pérdida de aire en la alimentación.

Las válvulas rotatorias son consideradas como la parte más importante del sistema, debido a que estas controlan la cantidad de material que entra al sistema.

Los materiales de construcción son generalmente acero al carbón, acero inoxidable y aluminio. El diseño más empleado en las válvulas rotatorias es el de la alimentación por la parte de arriba y la descarga por la parte inferior.

Los rotores pueden ser de dos tipos de acuerdo a su construcción; Tipo abierto y de tipo cerrado.

El rotor de tipo abierto se caracteriza por que la cavidad formada por dos hojas sencillas están unidas solamente a la flecha, y el rotor de tipo cerrado la parte final de las hojas que forman las cavidades están unidas por medio de un disco en ambos lados del rotor, los rotores de tipo abierto son más económicos, pero tienen la desventaja de desgastarse fácilmente en la parte final de cada hoja y de romperse debido a que no son tan fuertes como los del tipo cerrado.

La velocidad adecuada para una válvula rotatoria será aquella que desplace mayor cantidad de material en menor

tiempo, a altas velocidades se reduce la cantidad de producto que entra en cada cavidad de la válvula la rotatoria debido a que el tiempo de exposición de cada cavidad a la entrada del material no es suficiente.

Un rango de velocidad adecuado es de 35 a 45 RPM. esto dependerá del diseño de la transmisión, tamaño y materiales de construcción de la válvula.

Válvula Rotatoria

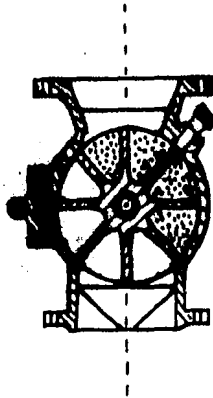


fig. IV-1

En los sistemas a presión positiva cuando se manejan materiales polvosos se reduce la eficiencia de la válvula debido a que la densidad de los materiales se disminuye, causado por la cantidad de aire que escapa através de la válvula, pues el material ocupa mayor volumen. Este aumento de volumen es debido a que existe mayor distancia entre las partículas que pasan através de la válvula rotatoria.

Existen básicamente cuatro tipos de rotores que se emplean en las válvulas y son los siguientes:

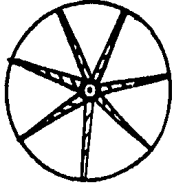
El tipo I tiene grandes cavidades y un máximo volumen de desplazamiento. Ver figura IV-A.

El tipo II es similar al tipo I teniendo en la parte final de las hojas puntas ajustables y que son fabricadas de diferentes materiales para poder soportar la abrasión. Ver figura IV-B.

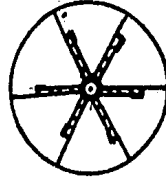
El tipo III tiene pequeñas cavidades y desplaza un volumen aproximado a la mitad del tipo I, este se emplea a la descarga de silos de gran tamaño pudiéndose sacar pequeñas y grandes cantidades de material ver figura IV-C.

El tipo IV se emplea principalmente cuando se manejan materiales muy pegajosos y que provoquen que el rotor no gire libremente, este tipo de rotores generalmente se construyen con una placa de fácil acceso para una limpieza continua. Ver figura IV-D.

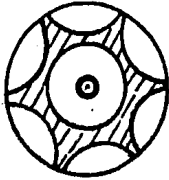
Tipos de Rotores



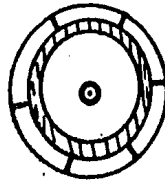
A



B



C



D

fig. IV-2

4.3.- Colector de polvos

Se denomina colector de polvos al equipo que tiene como objetivo separar las partículas de una corriente de aire por medio de unos filtros hechos con fibra natural o artificial y que tienen la forma de -bolsas, estando distribuidas dentro de una estructura metálica de forma cilíndrica o cúbica dependiendo del proceso, a continuación se describirán las -partes que lo componen así como también su funcionamiento.

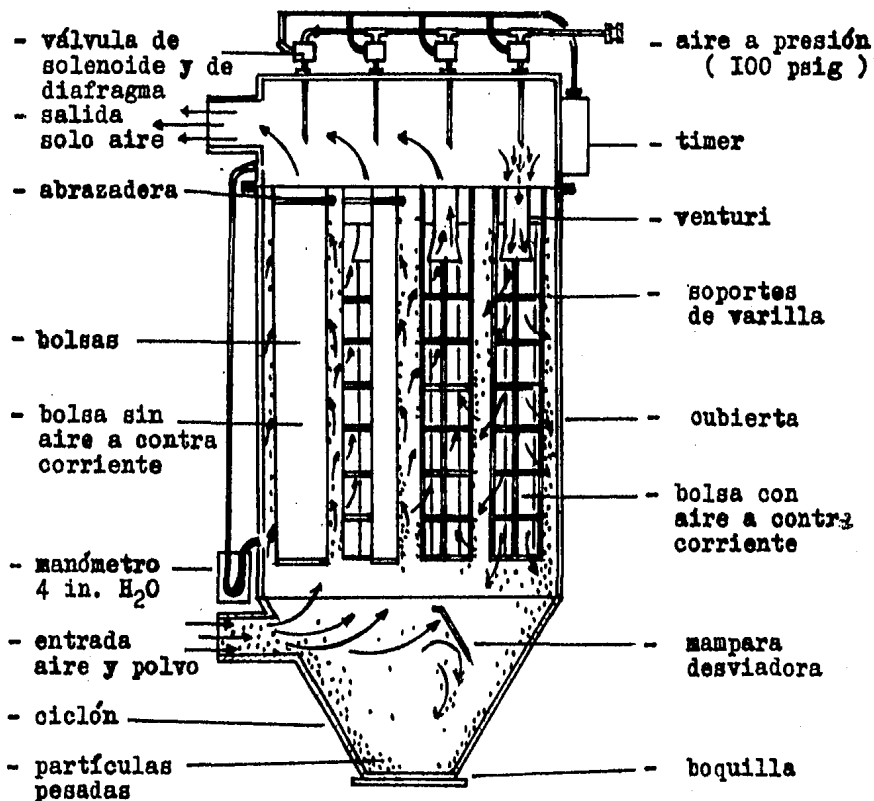
El diseño y selección de los colectores de polvos -están basados principalmente en:

a) La experiencia y b) Pruebas en las cuales se emplean diferentes gastos de aire, tipo de material, fibras naturales o sintéticas, tipos de limpieza y adaptaciones con otros equipos.

El medio filtrante de un colector de polvos es la -tela aunque durante los últimos años se ha empleado papel filtro, el cual presenta muchas ventajas en comparación con la tela, por ejemplo con el papel se -puede hacer múltiples dobleces y así se aumenta la superficie de filtrado y por lo tanto se disminuye el tamaño del colector de polvos.

La corriente de aire-partículas pasa a través de la tela de las bolsas y las partículas se quedan en -ella y el aire queda libre, una vez hecho esto las bolsas son limpiadas con aire a contracorriente ó por medio mecánico. (ver figura No. 3)

DIAGRAMA DE UN COLECTOR DE POLVOS CON
LIMPIEZA DE AIRE CONTRA-REFLUJO



(FIGURA No. 3)

El método de limpieza es básicamente lo que hace la diferencia entre los colectores de polvo, lo que se tiene que conocer para una adecuada selección del colector de polvos es lo siguiente:

- a) Velocidad del aire através de la tela.
- b) Cantidad de aire por área del medio filtrante.
- c) Caída de presión.
- d) Tipo de tela.

a) La velocidad del aire através de la tela o del medio filtrante es un factor muy importante, se recomienda que materiales con una densidad de 5 a 15 lb/ft³ la velocidad sea de 2 pies/segundo como máximo y para materiales más pesados una velocidad de 3 pies/segundo.

b) La cantidad de aire por superficie del medio filtrante es de 3 pies cúbicos por pie cuadrado, aunque en colectores con aire de limpieza a contrarreflujo se tiene un rango de 6 a 12 pies³ / pies² dependiendo del material, por ejemplo en caso de que se manejen materiales como carbonato de calcio, carbón activado y negro de humo se recomienda de 2 a 4 pies³ / pies², suponiendo que la cantidad de aire através de la tela es por minuto.

c) La caída de presión através de un colector de polvos se considera generalmente de 6 a 10 pulgadas de agua, teniendo en cuenta que las bolsas estan limpias

pues en caso contrario esta aumenta debido a que las partículas de polvo forman una ligera torta alrededor de la bolsa. Esta torta aunada al medio filtrante aumenta el efecto de la filtración haciendo que el pa-so del aire, sea cada vez más difícil através de la bolsa.

d) El tipo de tela o del medio filtrante debe de tener las siguientes características:

- 1- Pasar la mayor cantidad de aire posible.
- 2- Detener todas las partículas a filtrar.
- 3- Limpiarse, para tener una baja caída de presión.
- 4- tener una duración alta.
- 5- El costo de la bolsa sea bajo.

Existen dos tipos básicos de medio filtrante, los medios afelpados y los medios tejidos.

Las telas tejidas tienden a limpiarse mejor y se em-plean en partículas mayores de 50 micrones o más.

Las telas afelpadas tienden a retener partículas más finas y se utilizan cuando se trata de filtrar partículas pequeñas (10 micrones o menos).

Las telas afelpadas no son empleadas cuando se trata de filtrar materiales que son higroscópicos o inestables, en caso muy general se recomienda utilizar te-las de algodón. A continuación se muestra una tabla de las propiedades de las telas de las bolsas colec-toras.

Características Principales de fibras naturales
y Sintéticas

Fibra	Nombre genérico	Resistencia a:		Resistencia a:		Tem. Max. 'F
		tensión	Abrasión	Acidos	Alcalinos	
Algodón	fibra natural	B	H	M	E	180
Lana	Proteínica	R	R	R	M	200
Nylon	Poli-Amida	E	E	M	E	200
Polipropileno	Poli-Olefina	E	R	E	E	200
Orlon	Acrilica	B	R	B	R	260
Dacron	Poliéster	E	B	B	R	275
Vidrio	fibra de vidrio	E	M	R	M	550
Nomex	Poliamida aromática	E	B	R	E	400
Teflon	Fluorocarbono	R	R	E	E	400
Polietileno		-	-	B	B	165

EXCELENTE (E)

REGULAR (R)

BUENA (B)

MALA (M)

(Ver; Información bibliográfica No. 9)

Características Principales de fibras naturales
y Sintéticas

Fibra	Nombre genérico	Resistencia a:		Resistencia a:		Tem. Max. 'F
		tensión	Abrasión	Acidos	Alcalinos	
Algodón	fibra natural	B	H	M	E	180
Lana	Proteínica	R	R	R	M	200
Nylon	Poli-Amida	E	E	M	E	200
Polipropileno	Poli-Olefina	E	R	E	E	200
Orlon	Acrilica	B	R	B	R	260
Dacron	Poliéster	E	B	B	R	275
Vidrio	Fibra de vidrio	E	M	R	M	550
Nomex	Poliamida aromática	E	B	R	E	400
Teflon	Fluorocarbono	R	R	E	E	400
Polietileno		-	-	B	B	165

EXCELENTE (E)

REGULAR (R)

BUENA (B)

MALA (M)

(Ver; Información bibliográfica No. 9)

Sistemas de limpieza de los colectores de polvos,
Dos métodos de limpieza básicamente existen en los
colectores de polvo: I) Limpieza mecánica.

II) Limpieza mediante aire.

La limpieza mecánica consiste en sacudir las bolsas mediante vibraciones, las cuales provocan que el polvo depositado en la superficie de la tela se desprenda, estas vibraciones son producidas por cabezales excéntricos que están unidos a la flecha del motor directamente.

El sistema de limpieza mediante aire es el más empleado, la forma de limpiar las bolsas consiste en inyectar aire comprimido dentro de éstas, provocando que las bolsas se inflen y el material depositado en ellas se desprenda.

Descripción del funcionamiento de un colector de polvos con limpieza de aire a contra-corriente.

La corriente de aire o gas con las partículas en suspensión entran al filtro en su parte inferior, en este punto se pueden tener los efectos de acentamiento, mediante una mampara desviadora o por medio de un ciclón el empleo de un ciclón en la parte inferior de un colector de polvos es una forma ideal para la separación de las partículas, pues la cantidad de polvos que pasarán a través de las bolsas se reduce y al mismo tiempo las tolvas receptoras del material no están sujetas

a las presiones del sistema, pero esto depende de los requerimientos del sistema y de las características del material.

Las partículas pesadas caen directamente a la tolva, disminuyendo la cantidad de polvos que pasarán a través de las bolsas de separación.

La operación normal se efectúa a vacío ligero dentro de la cámara de filtración, en algunas ocasiones esta cámara opera también a presión dependiendo del tipo de sistema que este empleando.

El gas o aire y el resto de las partículas de polvo fino ascienden hacia las bolsas del filtro, debido a la presión diferencial creada entre el exterior y el interior de las bolsas, y son filtradas tendiendo las partículas a adherirse a la tela y la corriente de aire a pasar a través de las bolsas y hacia el lado limpio de éstas, para su descarga a la atmósfera.

Después de un tiempo de operación, las partículas de polvo forman una pequeña capa al rededor de la bolsa. Esta capa, aunada al medio filtrante aumenta el efecto de filtración, haciendo que el paso del gas, sea cada vez más difícil a través de la bolsa, esta resistencia adicional es la caída de presión del colector principalmente siendo esta como el máximo de 6 pulgadas de agua, los filtros de este equipo llevan integrados normalmente un manómetro diferencial a fin de poder leer esta caída de presión en pulgadas de agua.

Conforme aumenta la capa de polvo sobre la superficie de la bolsa, la resistencia através de la misma se -- aumenta.

La resistencia aumentaría hasta que las bolsas no - permitieran el paso de aire, para evitar este bloqueo se requiere una limpieza a contra-corriente se logra inyectando aire comprimido por medio de la bolsa, a una presión de 90 a 100 PSIG.

Inicialmente el disparo de aire comprimido causa que la bolsa se infle de manera similar a un globo, al - mismo tiempo la presión se refleja a lo largo de la bolsa. Esta expansión causa vibración, perdiendo así la capa de polvo que contenía su superficie.

A fin de que la acción de filtración se tenga continua solamente un grupo de bolsas se limpian al mismo tiempo. Las bolsas que se están limpiando actúan a presión positiva mientras que el resto actúan en vacío.

El control y la secuencia del ciclo de limpieza se logra mediante un regulador de tiempo que eléctricamente energiza a una válvula solenoide y esta a su vez a una válvula de diafragma. La limpieza del filtro depende fundamentalmente de dos factores: A) Tener una superficie en la bolsa adecuada al volumen de aire y productos manejados. B) La duración del ciclo.

Un ciclo demasiado lento ocasionará que las bolsas - se tapen y obstruyan la limpieza.

Un ciclo de limpieza demasiado rápido causará un desgaste innecesario de las bolsas y reduce el efecto - de filtración, la capa de polvo debe existir pero no al grado de bloquearlas.

El tiempo que normalmente se da es de 6 a 10 segundos sin limpieza y de 0.1 a 0.2 segundos inyección de aire comprimido, esta secuencia se obtiene solamente con varios experimentos o por la recomendación de los fabricantes de colectores de polvo.

Conforme las bolsas han sido limpiadas, el polvo que se ha aglomerado en ellas por efecto de aumentar su masa, cae por gravedad dentro de la tolva o dentro - de la cámara de asentamiento en la parte inferior del filtro, y el aire limpio sale en la mayor parte de - los casos con ayuda de un ventilador.

4.4.- Colectores de polvo tipo ciclón.

El equipo más empleado para separar polvos de una corriente gaseosa es el tipo ciclón, su nombre se debe a que hace girar la corriente de aire-polvo en su interior en forma de remolino por lo que la fuerza centrífuga provoca que las partículas se desplacen contra la pared y que caigan a la descarga del ciclón, - debido a la fuerza de gravedad.

Los giros dentro del ciclón son producidos al dirigir la corriente de aire-polvo tangencialmente dentro del cuerpo del ciclón y en la parte cónica resbalan los polvos debido a que su ángulo de reposo es mucho menor que el ángulo formado por la parte cónica y la horizontal.

Los ciclones pueden operar bajo las siguientes condiciones:

- 1- Con materiales polvosos secos.
- 2- A altas temperaturas.
- 3- Con grandes cantidades de polvo.
- 4- Presiones altas.
- 5- En condiciones en la que el gas ó el polvo sean corrosivos.

Los ciclones están limitados para su empleo bajo las siguientes condiciones:

- 1- Al manejar materiales que son adherentes y que se aglomeran en el interior del ciclón.

2- Cuando se manejen polvos de tamaño pequeño (por abajo de 1 a 5 microns), dependiendo de la densidad y la cantidad de aire que se maneja.

En forma muy general los ciclones se pueden clasificar de la siguiente forma:

- a) Ciclones de diámetro grande.
- b) Ciclones de diámetro pequeño.

a) Se considera un ciclón de diámetro grande cuando el diámetro del cuerpo es de 3 1/2 a 6 veces el diámetro de la tubería de entrada.

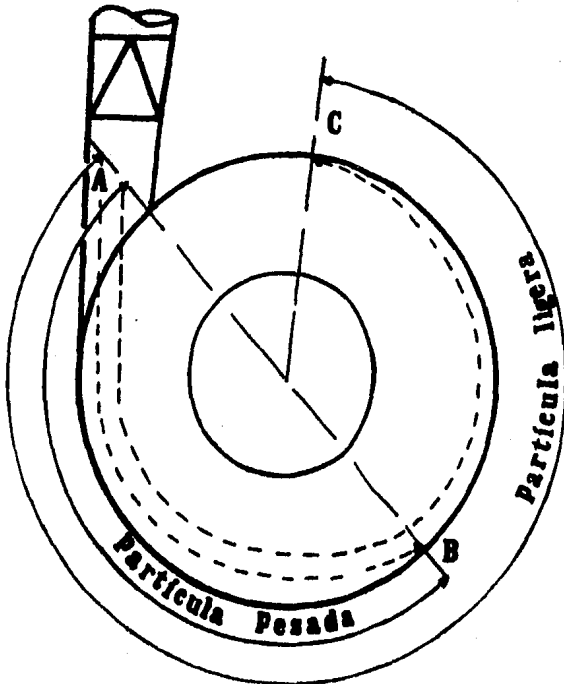
Este tipo de ciclones se emplean generalmente en la separación de aserrín, plásticos granulares y materiales no menores de 50 micrones, por lo tanto no se separan materiales tales como harinas finas, polvos de cosméticos, pigmentos, talcos o materiales finamente divididos.

b) Los ciclones de diámetro pequeño, tienen como diámetro máximo 4 pies y en consecuencia están limitados en su capacidad, se emplean para manejar materiales polvorientos de 30 micrones.

En la figura W-4 se muestra el recorrido de una partícula pesada del punto A hasta el punto B y el recorrido de una partícula ligera hasta el punto C.

Como se puede observar el recorrido de la partícula ligera es mucho mayor que el de la partícula pesada, por lo que para una partícula ligera el número de -
espirales del remolino interno es mayor y por lo tan
to la separación será adecuada. En los ciclones de
diámetro pequeño se provoca que el número de espira-
les sea mayor y por lo tanto se pueda separar mate-
riales ligeros a diferencia de los ciclones de diá-
metro grande.

fig.IV-4



En la figura IV- 5 se muestra la trayectoria del aire entrando y saliendo de un ciclón. Las líneas continuas marcan la corriente de aire entrando en espiral hacia abajo y las líneas punteadas ilustran el aire saliendo también en espiral. El aire con fuerte giro sale por la parte superior del tubo de descarga y sale directamente a la atmósfera o entra a un ventilador, según el sistema que se emplee.

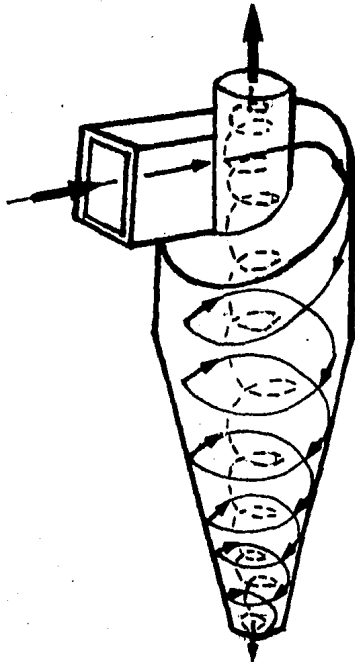


fig. IV- 5

Ciclón con entrada
en espiral

4.5.- Ventiladores y compresores

Cuando se quieren grandes volúmenes de aire a presiones bajas, del orden de 45 pulgadas de agua, se utilizan los llamados ventiladores o abanicos. Frecuentemente se conectan los ventiladores en serie para obtener mayor presión o vacío, se puede obtener una presión de 170 pulgadas de agua aproximadamente 6 PSIG. y un vacío de 120 pulgadas de agua aproximadamente 4 PSIG.

Para presiones hasta 20 lb/pulg² y capacidades de 5 000 a 50 000 pies³ / min. se utilizan compresores rotatorios o sopladores, este tipo de compresores puede usarse para producir vacío parcial de 38 cm de mercurio.

Los compresores centrífugos o turbocompresores se aplican para presiones manométricas hasta de 35 - lb/pulg² con compresores en una etapa y para presiones mayores hasta de 125 lb/pulg² con presión en varias etapas.

Los compresores de tornillo de desplazamiento positivo se utilizan para producir aire comprimido para usos industriales, a presiones manométricas hasta 125 lb/pulg².

Los compresores recíprocos o compresores de pistones se utilizan para producir aire comprimido a

presiones mayores que todos los anteriores, aunque su campo de aplicación más común es a presiones -- hasta 125 lb/pulg.² y la compresión puede efectuarse en una o más etapas.

4.6.- Válvulas, Tubería y Coples

Debido al desarrollo de los sistemas de transporte neumático, se requieren accesorios tales como: válvulas, codos, desviadores de corriente, distribuidores de material etc.

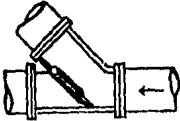
El ingeniero, para poder seleccionar el tipo de -- accesorio más adecuado debe tener la siguiente información: Las propiedades físicas del material que se transportará y el volumen.

La erosión en una válvula depende del ángulo con que las partículas colisionan con la pared interna, pues cuando la superficie del accesorio es paralela al - flujo de las partículas casi no chocan con la superficie y por lo tanto casi no hay desgaste, a medida que la superficie esté en diagonal con la dirección del flujo, los impactos de las partículas aumentan así como su fuerza. Por lo tanto la forma de la válvula es uno de los factores importantes que se toman en cuenta para evitar en lo posible la abrasión.

Otra forma de tener mayor durabilidad de las válvulas

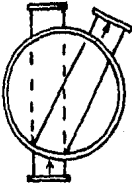
VALVULAS DESVIADORAS

Características



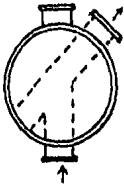
Tipo Aleta

Una aleta o placa gira dentro de la válvula, de tal manera que puede cerrar la salida del ramal. Se emplea en materiales granulares.



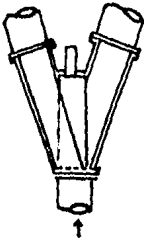
Tipo Tapón

Este tipo de válvula se emplea para manejar materiales polvosos y abrasivos.



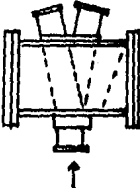
Tipo Tunel

Este tipo de válvula no es apropiada para sólidos finos debido a que éstos toparian directamente contra la superficie de la válvula.



Tipo giratorio

Este tipo de válvula se emplea generalmente para desviar grandes cantidades de material a diferentes ramales.



Tipo émbolo

Es empleada para manejar materiales polvosos y cuando se requiera una protección máxima contra fugas.

es la de proteger las partes que están sujetas a la abrasión con materiales altamente resistentes como por ejemplo: materiales de aleación Cromo-Níquel, los cuales son económicos y no requieren espesores muy grandes, normalmente se emplean espesores de 0.002 pulgadas.

Para válvulas en las que los polvos son muy abrasivos se emplean espesores de 0.005 a 0.01 pulgadas - obteniéndose buenos resultados.

En algunos casos se requiere emplear superficies blandas pero que resistan la abrasión, en estos casos se emplea neopreno. Frecuentemente el neopreno se utiliza como empaque y como recubrimiento en la lengüeta o disco divisor de las válvulas. En la práctica los materiales blandos solo se emplean para manejar polvos medianamente abrasivos, para polvos muy abrasivos se emplean materiales resistentes y duros así como grandes espesores.

En los sistemas de transporte neumático generalmente se emplean tubos de pared delgada (1/16 de pulgada) aunque en casos muy extremos se emplean tubos de cedula 40, principalmente cuando el material es muy abrasivo.

El material de construcción de los tubos es normalmente acero al carbón, acero inoxidable, aluminio y plástico.

Los codos generalmente se construyen de materiales muy

resistentes a la abrasión y tienen un radio mínimo de 4 pies y hasta 8 pies como máximo, los codos de níquel-cromo endurecido son fabricados en segmentos de 15 -- grados cada uno y unidos tres o seis si se quiere un ángulo de 45 o 90 grados respectivamente.

4.7.- Silos y Tolvas

A continuación se mencionarán los factores que influyen en el transporte neumático debido al flujo dentro de los silos y tolvas. La forma más adecuada de almacenar materiales granulares en grandes cantidades es con silos, fabricados generalmente de acero al carbón con recubrimiento de pintura epóxica, en la parte interna y recubierto en la parte externa con primer anticorrosivo. Los silos pueden ser soldados ó atornillados dependiendo de las necesidades de la planta, pues los silos pueden ser instalados en forma provisional si son atornillados siendo estos fácilmente desmontados y transportados.

Las tolvas de los silos pueden ser de sección transversal circular ó cuadrada, el ángulo de inclinación de las tolvas es de 45 a 60 grados dependiendo principalmente del ángulo de reposo del material.

Los silos están soportados por estructuras metálicas o por medio de un faldón que es la continuación del cuerpo del silo, empleándose para instalar los ventiladores compresores u otro tipo de equipo de transporte neumático y protegerlos del medio ambiente.

No todos los materiales fluyen dentro de los silos y menos en la descarga, por ejemplo los materiales polvosos tienden a depositarse en las paredes de los silos o compactarse y por lo tanto no fluyen. El flujo es afectado fundamentalmente por: tamaño y forma de partícula, humedad, distribución del tamaño de las partículas dentro del silo, cohesión y tiempo de almacenamiento.

El material puede fluir, dentro del silo en dos formas:

1- Flujo de embudo o de túnel

2- Flujo másico.

El flujo de embudo o de túnel se caracteriza porque el material fluye formando un túnel de igual tamaño a la de la boquilla de descarga del material.

El material que se encuentra en la periferia del túnel formado, resbala lentamente hasta cierto tiempo a partir del cual queda en reposo. A este túnel también se le conoce como agujero de ratón.

Como característica de este flujo es que el material que entra primero al silo, es el último en descargarse, por lo que no es muy recomendable para aquellos materiales que se deterioran, se adhieren o se oxidan.

El flujo másico se caracteriza porque el material - tiende a fluir uniformemente dentro del silo a una misma velocidad sin importar la forma de la boquilla de descarga, el principal problema de este tipo de -

flujo es que todo el material se compacta y provoca la formación de un puente o una bóveda que impide que el material siga fluyendo.

Al llenar los silos ocurre una clasificación del material, esta consiste en que las partículas grandes se trasladan a la periferia del silo y las pequeñas se depositan en la parte central.

La clasificación es un problema si el proceso requiere que la distribución del material sea uniforme.

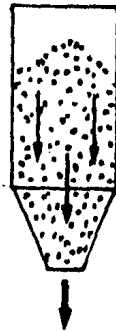
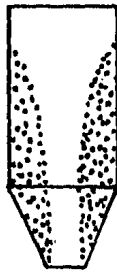
fig. IV-6

FLUJO DE EMBUDO

FLUJO MASICO



material
sin fluir



material
sin fluir

4.8.- Controles de Nivel

Pueden ser alarmas sonoras, interruptores, o luces indicadoras que detecten el nivel del material dentro de tolvas, silos y equipo.

El sistema de control más empleado es el que consiste en una paleta que gira libremente, cuando es detenida por el material envía una señal indicando que el material ha alcanzado el nivel de la paleta giratoria, cuando el material desciende la paleta gira nuevamente y envía otra señal indicando que el material no se encuentra a ese nivel.

Existen también otros controles de nivel que trabajan por medio de presión y los cuales consisten en un diafragma que cuando se presiona por el material envía una señal indicando que el material ha llegado al nivel del diafragma, este tipo de control no se emplea en recipientes que se encuentran a presión debido a que se podrían obtener señales falsas provocadas por presión del sistema y no del material.

Otro tipo de control de nivel es por medio de cables o varillas que se encuentran suspendidas dentro de los recipientes y cuya parte final contienen un interruptor, el cual envía una señal indicando que el material se encuentra en ese nivel y finalmente se tiene el control visual por mirillas de vidrio através de las cuales se puede observar directamente el nivel del material dentro del recipiente.

4.9.- Sistemas de Aeración y Vibración.

Debido a que muchos materiales tienden a compactarse cuando se almacenan, es necesario emplear sistemas de aeración que tienden a evitar la compactación.

Los sistemas de aeración consisten en suministros de aire a presión mediante válvulas reguladoras, los materiales que requieren aeración son materiales polvorientos de 20 mallas de tamaño tales como el cemento cal, sal, yeso y productos químicos.

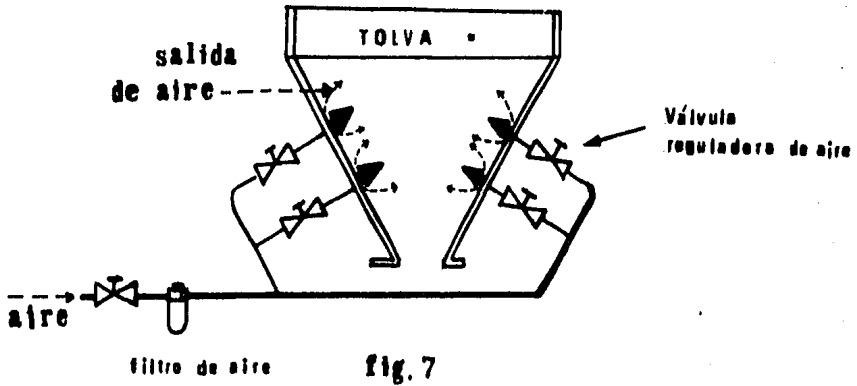
La aeración también se emplea para materiales que requieren una humedad constante y que no se descomponen durante su almacenamiento tales como azúcar, detergentes, cereales y resinas plásticas.

Los sistemas de aeración generalmente se instalan en las tolvas de los silos independientemente del tipo de tolva, para que dicha aeración sea a través de todo el silo.

El aire que se suministra debe estar limpio y con una humedad controlada, por lo tanto se requieren filtros purificadores de aire y humidificadores o deshumidificadores.

La presión a la que se suministra el aire es de 20 psig como mínimo y 90 psig como máximo. Para evitar un consumo de aire éste, puede suministrarse por secciones en la tolva, en forma alternada o con una secuencia y que cada suministro de aire este separado a una distancia de 12 pulgadas.

Sistema de Aeración



C A P I T U L O V

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO

Los sistemas de transporte neumático se han venido empleando desde hace 40 años y desde entonces se han desarrollado un gran número de procesos en los cuales se emplean, sin embargo en la literatura no se ha desarrollado una técnica para plantear el diseño de los sistemas de transporte neumático, se han publicado muchos textos y artículos que en algunos casos son extremadamente empíricos o solo se han limitado a experimentos que se emplean en casos particulares.

El desarrollo de ecuaciones para estimar el comportamiento del flujo de sólidos es relativamente reciente es por eso que en muchas publicaciones solo se limitan a dar recomendaciones y velocidades adecuadas para cada tipo de material.

Por lo que en la presente tesis se expondrán bases teóricas y también recomendaciones prácticas experimentales que se han encontrado en la literatura, además proporcionar al Ingeniero los elementos necesarios y alternativas para resolver problemas de transporte neumático en la forma más adecuada.

El diseño de un sistema neumático está constituido por una serie de actividades de cálculo que involucra:

- A) Cálculo de diámetro de tubería.
- B) Capacidad del compresor o ventilador.
- C) Cálculo del sistema separador de partículas (ciclón).

Para llevar a cabo estas actividades , se requiere disponer de información sobre la naturaleza del material a transportar y de la capacidad de transporte.

5.1.- Información necesaria para el diseño de un transporte neumático.

Generalmente en los sistemas de transporte neumático son necesarios como mínimo los siguientes datos:

- Capacidad a transportar.
- Características fisicoquímicas del material
- Trayectoria de flujo.

1) La capacidad a transportar: es por lo general fijada por las necesidades del proceso o por especificación.

2) Las características fisicoquímicas del material: se encuentran en la literatura o pueden ser determinadas fácilmente por el diseñador. (ver cap. III)

- 3) Para especificar la trayectoria de flujo es necesario conocer el tipo de sistema más adecuado, los accesorios, longitud y la altura del sistema.

5.2.- Flujo de sólidos en tuberías.

Las variables fundamentales a determinar o especificar son las siguientes:

- a) Longitud equivalente del trazado o tubería.
- b) Velocidad del aire y del material.
- c) Cantidad de material a transportar en la corriente de aire.
- d) Consumo de aire y diámetro de la tubería.
- e) Caída de presión en tuberías y accesorios.

a) Longitud equivalente.

Se llama longitud equivalente de una resistencia localizada, tal como un codo, una válvula, una desviación, etc. a la longitud de tubería que produciría la misma pérdida de carga que el elemento considerado. Por ejemplo la longitud equivalente para un codo será igual a $n/90 (2R/4)$ donde n es los grados del codo y R es el radio del codo en pies.

b) Velocidad del aire y del material.

La velocidad de la corriente de aire no debe de ser ni excesivamente alta ni baja. Lo primero conduce a consumos de potencia excesivos y lo segundo a la posibilidad de obstruir las tuberías por depositarse material sobre la misma.

b.I).- Velocidades recomendadas de aire.

Aproximadamente en un 90 % de los sistemas de transporte neumático (a presión positiva y negativa) la velocidad más adecuada es de 5 000.00 pie/min.

A continuación se presenta una tabla con las velocidades de aire recomendadas dependiendo de los materiales a transportar.

TABLA V-A

M A T E R I A L	Vel. DEL AIRE F.P.M.	
	de	hasta
Arena	6 000	7 000
Arena pulverizada	3 500	4 000
Aserrín y viruta seca	2 000	3 000
Aserrín y viruta húmeda	3 000	4 000
Azúcar	5 000	6 000
Avena	4 000	4 500
Cenizas polvorosas	3 000	4 000
Cal	5 000	7 000
Cemento Portland	5 000	6 000
Carbón en polvo	4 000	5 000
Cebada	3 000	4 500
Granos	4 000	5 000
Harina	3 500	6 000
Material polvoso abrasivo	3 000	4 000
Material polvoso de granito	2 000	4 000

(Continuación)

<u>M A T E R I A L</u>	<u>Vel. del aire F.P.M.</u>	
	de	hasta
Pedascos de hule	3 000	4 000
Polvo de fundición	3 000	4 500
Polvo de bakelita	2 000	2 500
Sal	6 000	6 500
Semilla de algodón	4 000	6 000
Pelusa de algodón	1 500	2 000
Trozos pequeños de madera	4 000	5 000

b.2).- Velocidades del material

En un sistema la velocidad en el punto de entrada del material es mucho menor que la de descarga debido a - que en el punto de entrada la presión es mucho mayor, por lo que para el cálculo, la velocidad en un sistema se estima como el promedio de las velocidades de - entrada y salida.

También se ha relacionado y obtenido velocidades de aire recomendadas en función de la densidad de acuerdo a resultados experimentales así por ejemplo para para materiales con una densidad de 55 lb/pie³ y un tamaño máximo de 1/8 de pulgada se recomiendan las - siguientes velocidades.

TABLA V-B

Distancia Total (pies)	Velocidad Promedio (pie/min)
200	4 000
500	5 000
1 000	6 000

Densidad (lb/pie ³)	Incremento de la velocidad promedio (pie/min)
de 55 a 85	1 000
de 85 a 115	2 000
más de 115	Se recomienda hacer pruebas.

b.3).- Velocidad Terminal del material

Considere la partícula de la figura V-I cayendo en un campo gravitacional, de tal manera que otras partículas que pudieran estar presentes no interfieran su caída. Conforme cae la partícula, la velocidad aumenta y continúa aumentando hasta que las fuerzas acelerantes y de resistencia se igualen. Cuando se alcanza este punto, la velocidad de la partícula -- permanece constante durante el resto de la caída, hasta que las fuerzas se desbalancen.

La velocidad constante última, recibe el nombre de -
Velocidad Terminal.

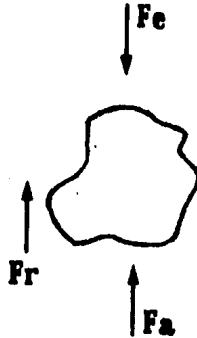


Fig.V-1

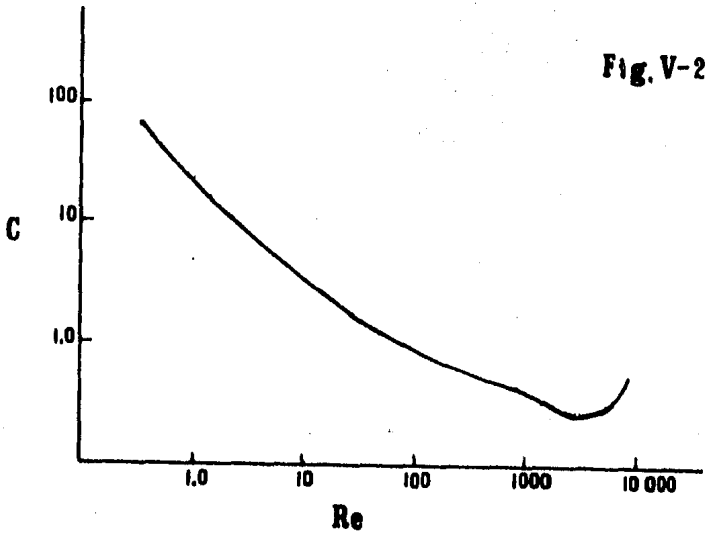
Una expresión para la velocidad terminal, es

$$v_t = \left(\frac{4(\rho_m - \rho_f)g D_p}{3C\rho_f} \right)^{0.5} \quad \text{Ec. V-I}$$

Esta expresión puede usarse para calcular la velocidad terminal en flujo laminar, de transición o turbulento. El coeficiente de arrastre se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$C = \frac{4 g D_p (\rho_m - \rho_f)}{3 v_t^2 \rho_f} \quad \text{Ec. V-2}$$

O bien, utilizando la figura V-2 y con el número de Reynolds $Re = \frac{D_p v_g \rho_f}{\mu}$



Del análisis de esta figura se determinan rangos del número de Reynolds para el cálculo del coeficiente - de arrastre por medio de las siguientes ecuaciones.

$C = 24 / Re$	$Re < 2.0$
$C = 18.5 Re^{-0.6}$	$2.0 < Re < 500$
$C = 0.44$	$500 < Re$

Por lo que la velocidad terminal se expresará como sigue para cada rango:

Para $Re < 2.0$

$$v_t = \frac{(\rho_s - \rho_f) g D_p^2}{18 \mu}$$

Ec. V-3

Para $2.0 < Re < 500$

$$v_t = 0.152 \frac{D_p^{1.4} g^{.11} (\rho_s - \rho_f)^{.11}}{\mu^{.4} \rho_f^{.28}} \quad \text{Ec. V-4}$$

Para $500 < Re$

$$v_t = (3g D_p \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f})^{.5} \quad \text{Ec. V-5}$$

Una expresión más real para determinar la velocidad de los sólidos es

$$v_t = v_g (1 - 1.41 D_p^3 (\rho_s/62.3)^{.5}) \quad \text{Ec. V-6}$$

Bajo las siguientes condiciones

velocidad de aire: de 66 a 119 pie/s

Diámetro de partículas: de 0.014 a 0.33 pulgadas

Densidad de los sólidos: de 65.5 a 113 lb/pie³

c) Cantidad de material a transportar.

Por experiencia una buena aproximación es suponer que la cantidad de aire requerido para transportar una -- libra de material es de 4 libras a una temperatura de 70 °F sin que el material se acumule y pueda fluir -- fácilmente en la tubería.

TABLA V-C

CAPACIDADES RECOMENDADAS DE MATERIAL A
TRANSPORTAR DE ACUERDO AL DIAMETRO DE TUBERIA

Diámetro (pulgadas)	Flujo de aire SCFM a 5 000 FPM.	Capacidad de los sistemas X 1 000 lb/hr.	
		Positivo	Negativo
2	240	6 a 12	1 a 2
4	440	12 a 40	2 a 6
5	680	15 a 60	3 a 10
6	980	20 a 80	4 a 15
8	1 800	30 a 160	15 a 30

d) Consumo de aire y diámetro de la tubería

En la tabla anterior se indica el flujo de aire requerido dependiendo de la cantidad de material a transportar y del diámetro que se recomienda.

e) Caída de Presión en tuberías y accesorios

Se presentarán dos métodos para el cálculo de la caída de presión en sistemas de transporte neumático. El primero de ellos consiste en considerar cinco factores que determinan la caída de presión y los cuales se mencionan a continuación.

- 1) Caída de presión debida solamente al gas o aire de transporte.
- 2) Caída de presión estática.
- 3) Caída de presión debida a la aceleración de las partículas.
- 4) Caída de presión debido a la fricción de los sólidos en la línea de transporte.
- 5) Caída de presión debida a los cambios de dirección de flujo, accesorios y terminales del sistema.

e.I).- Caída de presión debida solamente al gas o aire de transporte.

La caída de presión debida al gas de transporte se puede calcular por la siguiente expresión

$$\Delta P = 4 f L v_f^2 \rho / 2 g_c D_t \quad \text{Ec. V-7}$$

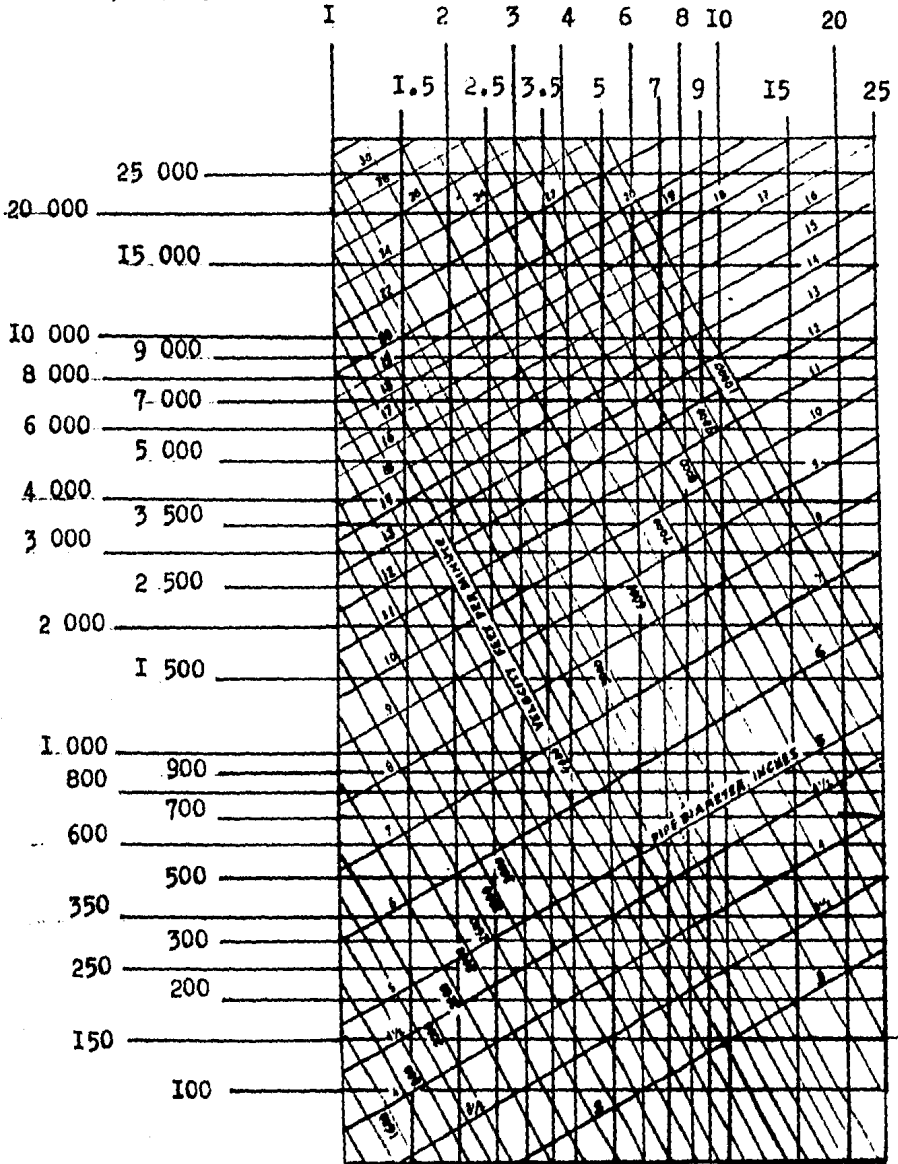
También se puede emplear la figura No. V-3 conociendo la velocidad del aire y el diámetro de la tubería.

FIGURA No. V. 3

(continuación)

flujo de aire
pie cubico / minuto

presión en pulgadas de agua/100 pie



e.2).- Caída de presión estática.

Esta está dada por el producto de la altura de la línea de transporte y la densidad promedio del sólido y el aire o gas de transporte.

$$\Delta P = L_t \rho_{\text{prom.}} \quad \text{Ec. V-8}$$

e.3).- Caída de presión debida a la aceleración de las partículas.

En la fig V-I se muestran las fuerzas que actúan - sobre un cuerpo que cae libremente. Dichas fuerzas son: la fuerza externa (F_e), fuerza de empuje hacia arriba (F_a) y la fuerza de resistencia (F_r) debida a la fricción del fluido. Si F es la fuerza resultante de estas tres fuerzas, por aplicación de la segunda ley de Newton se tiene que:

$$F = M \cdot a$$

donde M = masa, a = aceleración = $\frac{dv}{d\theta}$

En base a la figura V-I se tiene:

$$F_e - F_r - F_a = \frac{M}{g_c} \frac{dv}{d\theta}$$

y para un transporte ascendente vertical se obtendrá:

$$F_a - F_r - F_e = \frac{M}{g_c} \frac{dv}{d\theta} \quad \text{Ec. V-9}$$

En donde:

-- F_a es la fuerza de arrastre del aire o gas de transporte, y la cual se calcula como:

$$F_a = \left(\frac{3 f_f M}{4 D_p \rho_s} \right) (v_g - v_s)^2 C / g_c \quad \text{Ec. V-10}$$

-- F_r es la fuerza debida a la fricción de los sólidos y calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$F_r = \frac{2 M v^2 f_s}{D_t g_c} \quad \text{Ec. V-11}$$

-- F_e es la fuerza de gravedad expresada como:

$$F_e = \frac{M \cdot g}{g_c} \quad \text{Ec. V-12}$$

Sustituyendo las ecuaciones V-10, V-11 y V-12 en la ec. V-9 obtenemos

$$a_s = \frac{dv}{d\theta} = \left(\frac{3 f_f}{4 D_p \rho_s} \right) (v_g - v_s) C - \left(\frac{2 f_s}{D_t} v_s^2 \right) - g$$

Si $F = \frac{M}{g_c} a_s$ y la caída de presión es debida a esta fuerza entonces $\Delta P = F / \text{area}$.

Finalmente la caída de presión se puede expresar como:

$$\Delta P = 4 W_s (a_s) \theta / D_t^2 g \quad \text{Ec. V-13}$$

θ es el tiempo requerido para que las partículas adquieran una velocidad v_2 (velocidad terminal) a partir de una velocidad inicial v_1 y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\theta = \int_{v_1}^{v_2} dv/a_s$$

e.4).- Caída de presión debido a la energía requerida para vencer la fricción de los sólidos en la línea de transporte.

$$\Delta P = 0.193 L G_s \left(\frac{2 f_s v_s}{D_t g_c} \right) \quad \text{Ec. V-14}$$

Donde f_s es el factor de fricción de los sólidos que puede ser calculado por $f_s = 0.001 \text{ Re}^{0.27}$

e.5).- Caída de presión debida a los cambios de dirección de flujo, accesorios y terminales del sistema. A continuación se presenta la tabla V-D en la cual se indican las caídas de presión para accesorios basado en datos empíricos proporcionados por fabricantes.

TARLA V-D

CAIDA DE PRESION EN ACCESORIOS
Y EQUIPOS

Filtro de entrada	6 pulgadas de agua
Ciclón	6 pulgadas de agua
Colector de volvos	8 pulgadas de agua
Válvula de desvío	7 pulgadas de agua
Silenciador de descarga	8 pulgadas de agua

Para codos y accesorios de tuberías, se emplea la técnica generalizada de longitudes equivalentes.

e.2.1).- El segundo método para el cálculo de la caída de presión en sistemas de transporte neumático esta basado en el empleo de una ecuación empírica para corregir las desviaciones al emplear el balance de las energías incluidas en el sistema.

La ecuación de balance de energía para este caso es:

$$\int \bar{v} dp + \frac{v^2}{2g_c} + \Delta X \frac{g}{g_c} = W_s - W_f$$

En forma similar si la aplicamos para cada componente (aire, partículas) en forma separada, se obtienen:

$$m \int \bar{v}_a dp + \frac{m \Delta v_a^2}{2g_c} + m \Delta X \frac{g}{g_c} = (W_s - W_{fa})m \quad \text{Ec. V-a}$$

$$n \int \bar{v}_p dp + \frac{n \Delta v_p^2}{2g_c} + n \Delta X \frac{g}{g_c} = (W_s - W_{fp})n \quad \text{Ec. V-b}$$

Si la Ec. V-a y V-b se suman, considerando que el fluido no esté haciendo trabajo fuera del sistema, y expresando los dos términos parciales de fricción en un solo término total (W_{ft}), se tiene la siguiente ecuación:

$$m \int \bar{v}_a dp + n \int \bar{v}_p dp + m \Delta \frac{v_a^2}{2g_c} + n \Delta \frac{v_p^2}{2g_c} + (m+n) \frac{g}{g_c} \Delta X = -W_{ft}$$

(Ec. V-15)

W_{ft} puede ser evaluado a partir de una relación empírica

$$W_{ft} = W_{f_{aire}} \cdot \alpha \cdot m \quad \text{Ec. V-16}$$

El valor de α es determinado mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha - 1 = A \left(\frac{D_t}{D_p} \right)^2 \left[\left(\frac{f_a}{f_m} \right) \left(\frac{r}{Re} \right) \right]^k \quad \text{Ec. V-17}$$

en donde A y K son funciones del grupo adimensional

$$Z = \left[\frac{(\rho_s - \rho_a) \rho_a g D_p^3}{3 \mu^2} \right]^{0.5} \quad \text{Ec. V-18}$$

y se determinan por medio de las figuras V-4 y V-5 para flujo horizontal y vertical.

$W_{f_{aire}}$ se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$W_{f_{aire}} = \frac{2 G^2 L}{g_c \rho_a^2 D_t} \quad \text{Ec. V-19}$$

El utilizar la ecuación V-15 combinada con la ecuación V-16, permite calcular la presión de descarga de un sistema o sección de sistema.

Fig. V-4

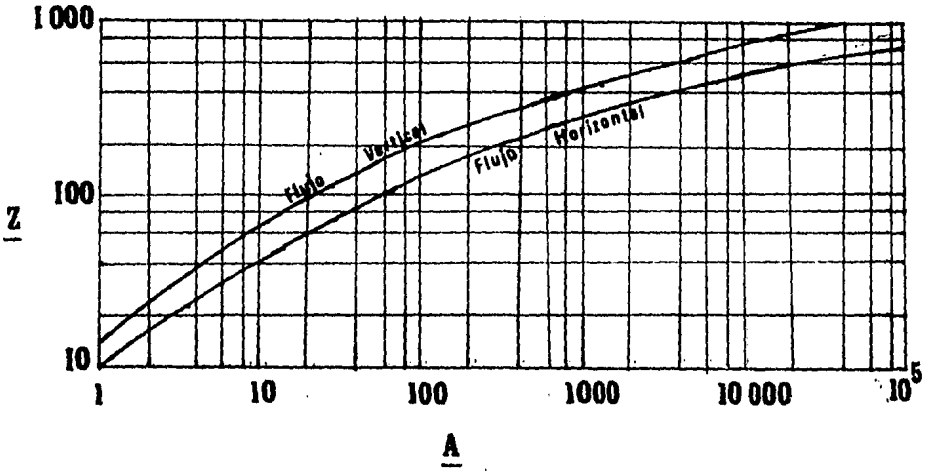
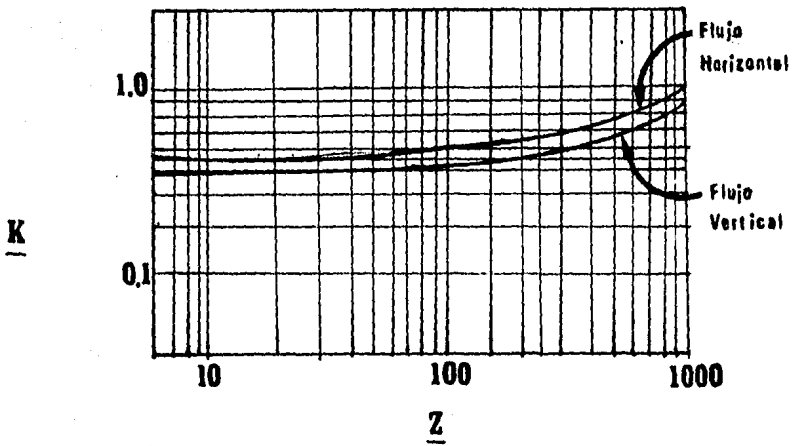


Fig. V-5



5.3.- Cálculo del sistema separador de sólidos
(ciclón).

Debido a su sencillez, confiabilidad y gran eficiencia el colector de ciclón se ha usado mucho en todo el mundo durante los últimos cien años, por lo que existen diferentes formas y tamaños. Por lo anterior se han propuesto relaciones de las partes del ciclón con respecto al diámetro del cuerpo del ciclón, estas relaciones se consideran estándar.

En la tabla V-E se muestran las relaciones de cada una de las partes con respecto al diámetro de la parte cilíndrica del ciclón propuestas por diferentes autores. (ver Chemical Engineerin, Nov. 7, 1977)

T A B L A V-E

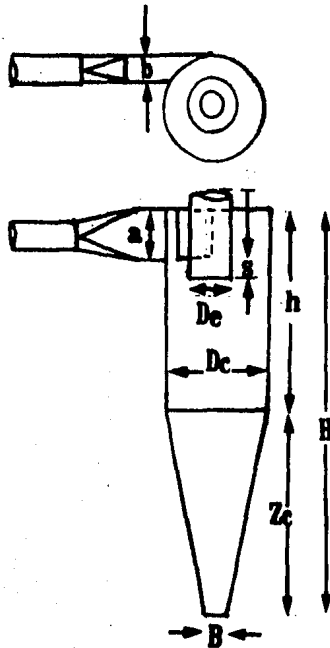
RELACIONES DE LAS DIMENSIONES PARA CICLONES CON
ENTRADA TANGENCIAL CON RESPECTO AL DIAMETRO

Simbolo ⁺	Stairmand	Swift	Lapple	Swift'	Peterson
D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
a	0.5	0.44	0.5	0.5	0.583
b	0.2	0.21	0.25	0.25	0.208
s	0.5	0.5	0.625	0.6	0.583
De	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
h	1.5	1.4	2.0	1.75	1.333
H	4.0	3.9	4.0	3.75	3.17
B	0.375	0.4	0.25	0.4	0.5
λ	2.48	2.04	2.30	2.30	2.32

+ Ver figura V-6

Simbolo ⁺	Descripción
Dc	Diámetro de la parte cilíndrica.
a	Altura de entrada aire/polvo.
b	Ancho de entrada aire/polvo.
De	Diámetro de la tubería central.
h	Altura del cuerpo cilíndrico.
H	Altura total del ciclón.
B	Diámetro de boquilla de descarga.
Zc	Altura de la parte cónica.
s	Longitud de la tubería central

Fig. V-6



El punto más bajo que el aire desciende no es necesariamente el fondo del ciclón, se ha observado que en ciclones muy largos el punto donde se origina el remolino interior ascendente de aire se localiza dentro de la distancia H-s ; a la distancia comprendida entre el punto donde se origina el remolino ascendente y la parte inferior del tubo de salida de aire se denomina longitud natural (ℓ), y se define por la siguiente ecuación:

$$\ell = 2.3 D_e (D^2/a : b)^{.333} \quad \text{Ec. V-120}$$

La longitud natural es independiente de la cantidad de aire, los valores de (ℓ) se muestran en la tabla A.

5.3.I.- Diámetro del ciclón

Para el cálculo del diámetro del ciclón Zenz (ref. - No. II) desarrollo el concepto de velocidad de suspensión y lo define como:

- a) La velocidad mínima del fluido para evitar el asentamiento de las partículas transportadas.
- b) La velocidad necesaria para elevar las partículas depositadas y transportadas sin que se asienten.

Por lo anterior se desarrolló una expresión empírica de la velocidad de suspensión de acuerdo a la trayectoria del fluido dentro del ciclón.

5.3.2.- Caída de presión dentro del ciclón.

Generalmente los ciclones se diseñan para operar con una caída de presión de 10 pulgadas de agua como máximo. La caída de presión de un ciclón se debe principalmente a:

- a) Pérdida de energía cinética debido a la turbulencia dentro del ciclón.
- b) Pérdida de presión debida a la fricción del flujo a la entrada.
- c) Pérdida de presión debida a la diferencia de altura entre la entrada y salida del ciclón.
- d) Pérdida de presión debido a la presión requerida del fluido a la salida.

Una forma de determinar la caída de presión en forma sencilla fué desarrollada por Lapple (ver Chemical - Engineering, Nov. 7, 1977. pag 85) en la que considera que la caída de presión se debe principalmente a - la pérdida de energía cinética debido a la turbulencia dentro del ciclón.

Por lo anterior la caída de presión total de un ciclón es expresada por la siguiente ecuación.

$$\Delta P = 0.003 \rho_f v_t^2 N_H \quad \text{Ec. V-21}$$

en donde $N_H = 16 ab/d_e^2$

La velocidad de suspensión se expresa por la siguiente expresión:

$$v_s = 2.055 \left(\frac{4g_p}{3\rho_f} \right)^3 \left(\frac{(b/D)^4}{(I-b/D)^3} \right) D^{.067} v_t^{.66}$$

Ec. V-22

en donde v_t es la velocidad de entrada, y se determina que $v_t = 1.25 v_s$ en donde v_t debe ser mayor de 50 ft/min y menor de 90 ft/min siendo este un rango adecuado en los sistemas de transporte.

La velocidad de entrada se expresa por la siguiente ecuación.

$$v_t = 22.6 g \left(\frac{\mu \rho_m}{\rho_f} \right) \frac{(b/D)^{I.2}}{(I-b/D)} D^{.20I}$$

Ec. V-23

Se emplea para materiales con densidad de $I \text{ g/cm}^3$ a 2.5 g/cm^3 .

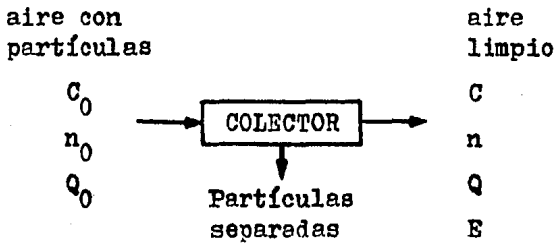
Si de la ec.V-20 se reemplaza v_t por Q/ab , se obtiene el diámetro del ciclón como sigue:

$$D_c = 0.0502 \left[\frac{Q \rho_f^2 (I-b/D)}{\mu \rho_f (a/D) (b/D)^{2.2}} \right]^{.454}$$

Ec. V-24

5.3.3.- Eficiencia de un ciclón.

La operación de separación de partículas en una corriente de aire puede ser expresada en términos de la cantidad de partículas separadas en la corriente de aire. La eficiencia de un colector se define a continuación empleando la siguiente figura.



En donde c = Cantidad de partículas por unidad de volumen de aire.
 n = número de partículas por unidad de volumen de aire.
 Q = Cantidad de aire.
 E = Cantidad de partículas sin separar.

La eficiencia de un colector en masa de las partículas es expresado por:

$$\eta = \frac{c_0 - c}{c_0} \quad \text{Ec. V-25}$$

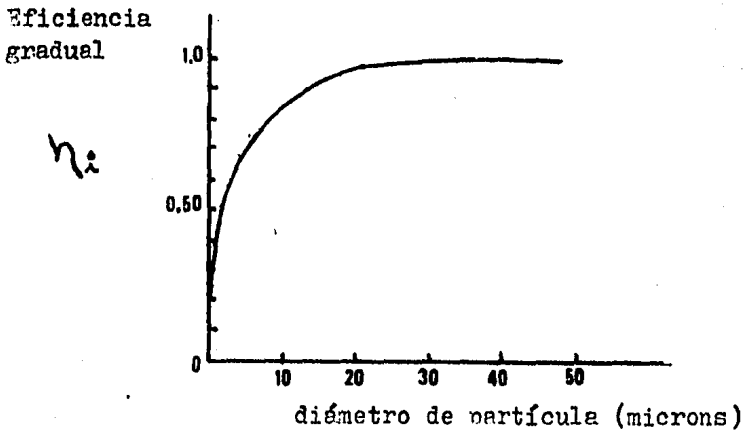
La eficiencia de un colector por número de partículas es expresado por:

$$\eta = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

La relación entre la eficiencia de un colector y el tamaño de partículas a separar, se llama eficiencia gradual o fraccional.

La eficiencia gradual en un separador tipo ciclónico aumenta conforme crece el tamaño de las partículas, a continuación en la figura V-7 se muestra la forma de variar la eficiencia contra el tamaño de partícula.

Figura V-7



La ecuación para determinar la eficiencia en función de las dimensiones del ciclón y del diámetro de partículas es expresado por :

$$\eta_i = 1 - \exp -2(W K)^{1/2n+2}$$

Ec. V-26

En donde

$$W = (n+1) \frac{Q}{D^3} \frac{m (d_p \times 10^{-4})^2}{18}$$

K = (ver tabla F)

Otra expresión equivalente a la ec. V-26 es:

$$\eta_i = 1 - \exp -M d_p^N \quad \text{Ec. V-27}$$

En donde

$$M = 2 \frac{K Q}{D^3} \frac{p}{18} (n+1)$$

I/2n+2

$$N = I/(n+1)$$

Otra forma es propuesta por Weibul (ref. No. II) en la que intervienen el diámetro de corte, y que define como el diámetro para el cual la mitad en peso de las partículas se separan, y es expresado como

$$d_{pc} = \left(\frac{0.6931}{M} \right)^{n+1} \quad \text{Ec. V-28}$$

y la eficiencia esta dada por

$$\eta_i = 1 - \exp - 0.6931 \left(\frac{d_p}{d_{pc}} \right)^{1/n+1}$$

Ec. V-29

En la ecuación V-26 la eficiencia depende del valor de K , y en la ecuación V-21 la caída de presión es directamente proporcional al valor de N_H , tanto K como N_H , están en función de las dimensiones del ciclón en la tabla V-F se muestran los valores de cada una de ellas.

La relación K/N_H es por lo tanto un parámetro en la optimización del diseño de un ciclón.

La tabla V-F muestra que con las relaciones propuestas por Swift se tiene una alta eficiencia, y con las propuestas por Stairmand son óptimas, debido a que se tiene una eficiencia alta y una caída de presión baja.

T A B L A V-F

VALORES DE K , N_H Y K/N_H DE LAS RELACIONES

PROPUESTAS EN LA TABLA V-E

Simbolo	Stairmand	Swift	Lapple	Swift'	Peterson
K	551.3	699.2	402.9	381.8	324.3
N_H	6.40	9.24	8.0	8.0	7.76
K/N_H	86.1	75.7	50.4	47.7	44.1

CONSIDERACIONES PRACTICAS PARA EL DISEÑO
DE UN CICLON

Las siguientes consideraciones en el diseño de un ciclón están basadas en la experiencia y en pruebas efectuadas.

- 1.- La velocidad de entrada v_t debe de ser de 50 a 90 pies/s.
- 2.- $a < S$ para aumentar el número de remolinos del polvo entre la entrada y la salida del aire.
- 3.- $b < (D - D_e) - 2$ para evitar una caída de presión alta.
- 4.- $H > (S + 1)$ para mantener el vórtice dentro del ciclón.
- 5.- $h < H$
- 6.- $\Delta P < 10$ pulgadas de agua
- 7.- $v_t / v_s = 1.25$

(ver Chemical Engineering, Noviembre 2, 1977)

5.4.- Cálculo de la potencia del ventilador o compresor.

Para seleccionar adecuadamente el tipo de ventilador que se usará en un sistema de transporte neumático es necesario saber:

1. El tipo y condiciones del fluido (en este caso - aire) que será transportado.
2. La capacidad necesaria.
3. La presión necesaria para el sistema.

Los ventiladores de flujo radial o centrífugo debido a su simplicidad y a que cubren los requerimientos del transporte son empleados principalmente.

Los ventiladores se emplean en sistemas de transporte neumático fase diluida (ver cap. II), debido a que se requiere gran volumen de aire a presiones relativamente pequeñas (12 PSIG como máximo).

Las compresores centrífugos son empleados cuando se requieren presiones mayores de 12 PSIG y debido a su bajo costo, bajo mantenimiento y flexibilidad durante su operación, estos son empleados en sistemas de transporte neumático fase densa (ver cap. II).

Si la potencia es la razón de cambio del trabajo dado con respecto al tiempo, la potencia se puede expresar

de la siguiente manera:

$$P = m \cdot W_f \quad \text{Ec. V-30}$$

en donde P = Potencia (pies-lb/seg)

m = Cantidad de flujo (lb/seg)

W_f = Trabajo transferido al medio

Los caballos de fuerza pueden calcularse empleando el factor de conversión (1 hp = 550 pies-lb/seg). La fuerza suministrada a la transmisión del ventilador desde una fuente externa es conocido como potencia al freno (Brake horsepower), esta es calculada por la siguiente expresión: $P = (m \cdot W_f) / 550 n$ en donde n = eficiencia.

5.5.- Secuencia de cálculo

A continuación se presenta en forma ordenada los pasos para el cálculo de un sistema de transporte neumático, es necesario hacer notar que es de mucha ayuda hacer un diagrama de dicho sistema antes de hacer cualquier cálculo para tener una idea física del sistema y determinar la trayectoria más adecuada.

5.5.I.- Cálculo de la caída de presión total de la tubería.

Como se mencionó al inicio de este capítulo se presentarán dos métodos para el cálculo de la caída de

presión total en la tubería.

- a.1) Con la tabla V-C, la cantidad de material a transportar, tipo de sistema y suponiendo que la velocidad del aire es de 5 000 pie/min se determina el diámetro de la tubería de transporte.
- b.1) Calcular la caída de presión debido solamente al aire, emplear la ec. V-7 o figura No. V-3.
- c.1) Calcular la caída de presión estática, emplear la ec. V-8.
- d.1) Calcular la caída de presión debida a la aceleración de las partículas por medio de la ec. V-13.
- e.1) Calcular la caída de presión debido a la fricción de los sólidos en la tubería, empleando la ec. V-14.
- f.1) La caída de presión total de la tubería se obtiene sumando cada una de las caídas de presión de los incisos b, c, d y e.

El segundo método consiste en utilizar una ecuación empírica empleando el balance total de energía.

- a.2) Sustituir los valores numéricos en función de la presión en la ecuación V-15.

La ec. V-15 se usa en cada sección (entrada de material, horizontal y vertical) del sistema de transporte debido a que la presión varía en cada una de las partes.

- b.2) Calcular la caída de presión debida solamente al aire, utilizar la ecuación V-19.

b.3) Determinar el valor de Z (ec. V-18) y por medio de las figuras V-4 y V-5 obtener los valores de A y k .

b.4) Sustituir los valores de A y k en la ec. V-17 y obtener el valor de α .

b.5) Multiplicar el valor de α por el valor obtenido en el inciso b.2, y por la cantidad de aire, para calcular W_{ft} .

b.6) La presión final de cada sección del sistema se obtiene con la ec. V-15 utilizando W_{ft} calculada en el inciso b.5, para ello, suponga valores de la presión final, hasta que ambos lados de la ecuación sean iguales, Con esto se estará evaluando al final del proceso de cálculo, la presión final de la sección analizada.

b.7) La caída de presión total de la tubería se obtiene sumando los valores calculados en el inciso b.5 de cada una de las secciones del sistema.

5.5.2.- Cálculo del ciclón

a) Seleccionar las relaciones de las dimensiones propuestas en la tabla V-E.

b) Calcular el diámetro del ciclón (ec. V-24).

c) Calcular el valor de v_t .

d) Determinar la caída de presión del ciclón (ec. V-21).

e) Si el valor de v_t , D_c y ΔP son muy grandes, reducir la cantidad de aire, esto implica el empleo de dos o más ciclones en paralelo.

f) Determinar la eficiencia del ciclón y compararla con la eficiencia especificada.

C A P I T U L O VI

APLICACION

Se va a transportar trigo neumáticamente, desde la descarga de un ferrocarril hasta un silo de almacenamiento, la distancia horizontal de la descarga - del ferrocarril al silo es de 61 m y la altura de la descarga en el silo es de 30 m. Se desea transportar 5 000 kg/h y la relación entre el peso del trigo y el del aire es de 15.

Calcular:

- 1) Caída de presión total del sistema.
- 2) Dimensiones del ciclón separador.
- 3) Potencia requerida del compresor o ventilador.

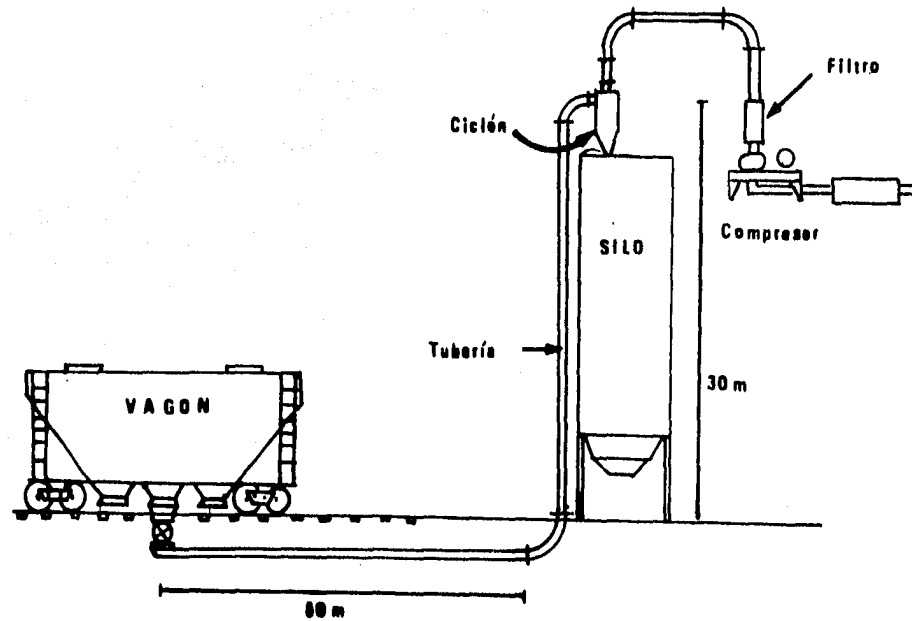
Solución.

Se recomienda hacer un diagrama del sistema de transporte neumático lo más detallado posible.

Determinar las características fisicoquímicas del material

- a) Densidad del trigo es de 1.28 g/cm^3
- b) Diámetro medio de 0.158 pulgadas
- c) Ángulo de reposo 35°
- d) Medianamente abresivo

SISTEMA DE TRANSPORTE
NEUMATICO



Se considera el flujo de aire a una temperatura de 80 °F y a la presión atmosférica.

-Selección del tipo de sistema

Se empleará un sistema a presión negativa debido a la facilidad de introducir el trigo al sistema desde el ferrocarril y a que el tamaño del material es grande.

6.2.- Cálculo de la caída de presión total en la tubería

A).- Empleando el primer método:

$$\Delta P_T = \Delta P_I + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4$$

Con la tabla V-C, la cantidad de material (II 400 lb/h) y para un sistema a presión negativa se tiene un diámetro de 6 pulgadas.

ΔP_I (caída de presión debida al aire) empleando ec. V-7

$$P_I = \frac{2(0.023)(5000)^2(300)(0.057)}{32.2 (60)^2(0.5)} = 339.3 \text{ lb/pie}^2$$

ΔP_2 (caída de presión estática) empleando ec. V-8

$$P_2 = L \times p_s = L \times G_s/v_s$$

en donde $v_s = v_{\text{aire}}/2 = 5000/2 = 2500 \text{ pie/min}$

$$v_s = 41.6 \text{ pie/s}$$

$$G_s = \frac{5000(2.2)/3600}{3.14/4 (6/12)^2} = 15.6 \text{ lb/s ft}^2$$

$$\Delta P_2 = 100 \text{ ft} \times \frac{15.6 \text{ lb/s ft}^2}{41.6 \text{ ft/s}} = 37.5 \text{ lb/ft}^2$$

ΔP_3 (caída de presión debido a la aceleración de las partículas) empleando la ec. V-13

1) Calcular v_t (ec. V-3)

$$v_t = \frac{5000}{60} \times 1 - 1.41 (0.013) \left(\frac{79.7}{62.3} \right)^{.5} = 47.2 \text{ ft/s}$$

2) Factor de fricción de los sólidos

$$Re = \frac{0.013(82.2 - 47.2)(0.057)}{0.010 \times 0.000672} = 3859.4$$

$$f_s = 0.001(3859.4)^{.27} = 0.0092$$

3) Sustituir en ec. V-9'

$$a_s = \left(\frac{3(0.057)}{4(79.7)(0.013)} \right) (83.3 - 47.2)^2 1.29 - 32.2 - \frac{2(0.009)(17.2)^2}{0.5} = 34.1$$

4) ΔP_3 empleando la ec. V-13

$$\Delta P_3 = \frac{4(3.0)(34.1)(1.38)}{3.1416 (0.5)^2 (32.2)} = 22.3 \text{ lb/ft}^2$$

ΔP_4 (caída de presión debido a la fricción
de los sólidos) empleando la ec. V-I4

$$P_4 = 0.193(300)(15.6) \left(\frac{2(0.009)(47.2)}{0.5(32.2)} \right) = 47.7 \text{ lb/ft}^2$$

ΔP_T (caída de presión total en la tubería)

$$\Delta P_T = 339.3 + 37.5 + 22.3 + 47.7 = 446.8 \text{ lb/ft}^2$$

$$\Delta P_T = 86.0 \text{ pulgadas de agua}$$

B).- Aplicando el segundo método:

El segundo método consiste en emplear básicamente el balance de energía Ec. V- 15.

Suponiendo que el término $n \int \bar{v}_p dp$ es despreciable - comparado a $m \int \bar{v}_a dp$ y que el volumen específico - (\bar{v}_a) es igual a $27 \text{ 900}/p_{\text{prom.}}$ en donde $p_{\text{prom.}}$ es la presión promedio en la tubería y además que las velocidades del aire y la de sólidos son iguales, la ec. V-15 se reduce a la siguiente:

$$m(\bar{v}_a) \Delta P + (m+n) \Delta \frac{v_a^2}{2 g_c} + (m+n) \frac{g}{g_c} \Delta X = - W_{ft}$$

o:

$$m(\bar{v}_a)(p_2 - p_1) + \frac{m+n}{2 g_c} (v_{a2}^2 - v_{a1}^2) +$$

$$(m+n) \frac{g}{g_c} \Delta X = - W_{ft}$$

En donde

Cantidad de material a transportar $n = 3.05 \text{ lb/s}$

Cantidad de aire en el flujo $m = \frac{n}{15} = 0.2 \text{ lb}_a/\text{s}$

Con la tabla V-C, la cantidad de material (11 000 lb/h) y para un sistema a presión negativa se tiene un diámetro de seis pulgadas.

La velocidad másica del aire por área $G = 1.01 \text{ lb/s pie}^2$

La velocidad del aire en la tubería $v_a = G\bar{v}_a = 28 \text{ 179}/p$

Sustituyendo

$$0.2 \times \frac{27\,900}{p_{\text{prom.}}} (p_2 - p_1) + \frac{3.05 + 0.2}{2(32.2)} \left[\left(\frac{28179}{p_1} \right)^2 - \left(\frac{28179}{p_2} \right)^2 \right] + 3.25 \quad x = -W_{ft}$$

Simplificando

$$11160 \frac{p_2 - p_1}{p_2 + p_1} + 4.01 \times 10^7 \left[\left(\frac{I}{p_2} \right)^2 - \left(\frac{I}{p_1} \right)^2 \right] + 3.25 \quad x = -W_{ft} \quad (\text{Ec. A})$$

La ec. A deberá resolverse para la boquilla de carga, donde las pérdidas por fricción son despreciables debido a que la inercia de los materiales es la causa principal de la pérdida de presión.

El término $(I/p_1)^2 = 0$ debido a que la velocidad es cero antes de la entrada del material.

Por lo anterior se tiene que

$$11160 \left(\frac{p_2 - 2120}{p_2 + 2120} \right) + 4.01 \times 10^7 \left(\frac{I}{p_2} \right)^2 = 0$$

El valor de p_2 se obtiene suponiendo valores de p_2 hasta que ambos lados de la ecuación sean iguales, el valor de $p_2 = 2116.6 \text{ lb/pie}^2$.

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION EN LA PARTE VERTICAL

Debido a que la presión varía a lo largo de la tubería, se supone una presión promedio para esta sección

$$p = 1\ 900 \text{ lb/ pie}^2, \text{ por lo tanto } \rho_a = 0.000359(p) \\ = 0.068 \text{ lb/ pie}^3.$$

Pérdidas de presión debidas al flujo de aire solamente.

$$\Delta h = \frac{2 f G^2 L}{g_c \rho_a D_t} = \frac{2(0.023)(1.01)^2(100)}{32.2(0.068)^2(0.5)} = 63.0 \frac{\text{pie-lb}}{\text{lb aire}}$$

Empleando la ec. V-17

$$z = \frac{\left[\frac{1}{3}(79.7 - 0.068)0.068(32.2)(0.158/12)^3 \right]^{.5}}{0.018 \times 0.000672}$$

$$z = 952.0$$

$$A = 20\ 000 \text{ (ver fig. V-4)}$$

$$k = 0.85 \text{ (ver fig. V-5)}$$

Sustituyendo en la ec. V-16

$$\alpha - 1 = 20\ 000 (6/0.158)^2 \left(\frac{0.068}{79.7} \times \frac{15}{41700} \right)^{0.85}$$

$$\alpha = 85.0$$

$$w_{fv} = 85.0 \times 63.0 \frac{\text{pie-lb}}{\text{lb aire}} \times 0.2 \frac{\text{lb aire}}{\text{s}} = 1071.0 \frac{\text{pie-lb}}{\text{s}}$$

Cálculo de la presión (p_2) en la parte final de la sección vertical, considerando $p_1 = 2116.6 \text{ lb/pie}^2$ empleando la ec. A

$$11160 \frac{p_2 - 2116.6}{p_2 + 2116.6} + 4.01 \times 10^7 \left[\left(\frac{1}{p_2} \right)^2 - \left(\frac{1}{2116.6} \right)^2 \right] + 3.25(100) = -1075.0$$

Por prueba y error $p_2 = 1645 \text{ lb/pie}^2$

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION EN LA PARTE HORIZONTAL

Suponiendo una presión promedio en esta sección de 1500 lb/pie^2 , por lo anterior $f_a = 0.000359(1500) = 0.054 \text{ lb/pie}^3$.

Pérdidas por fricción debidas al aire solamente

$$\Delta h = \frac{2(0.023)(1.01)^2(200)}{32.2 (0.054)^2 (0.5)} = 196.0 \frac{\text{pie-lb}}{\text{lb}_{\text{aire}}}$$

Empleando la ec. V-17

$$z = \frac{\left[1/3(79.7 - 0.054)0.054(32.2)(0.158/12)^3 \right]^{.5}}{0.018 \times 0.000672}$$

$$z = 849.0$$

A = 24 000 (ver fig. V-4)

k = 0.92 (ver fig. V-5)

Sustituyendo en la ec. V-16

$$\alpha - I = 24\ 000 \left(\frac{6}{0.158} \right)^2 \left(\frac{0.054}{79.7} \times \frac{15}{41700} \right)^{.92}$$

$$\alpha = 29.4$$

$$W_{ft} = 29.4 \times 196.0 \frac{\text{pie}\cdot\text{lb}}{\text{lb}_{\text{aire}}} \times 0.2 \frac{\text{lb}_{\text{aire}}}{\text{s}} = - 1156 \frac{\text{pie}\cdot\text{lb}}{\text{s}}$$

Cálculo de la presión (p_2) en la parte final de la sección horizontal, considerando $p_1 = 1645 \text{ lb/pie}^2$ empleando la ec. A

$$11160 \frac{p_2 - 1645}{p_2 + 1645} + 4.01 \times 10^7 \left(\left(\frac{I}{p_2} \right)^2 - \left(\frac{I}{1645} \right)^2 \right) + 3.25 (200) = - 1156$$

Por prueba y error $p_2 = 1185 \text{ lb/pie}^2$

La caída de presión total en la tubería

Parte horizontal	1156
Parte vertical	1071
	<hr/>
	2227 pie·lb/s

La presión media en la tubería

$$p_m = (1645 + 1185)/2 = 1415 \text{ lb/pie}^2$$

$$\rho_{\text{aire}} = 0.0000359(1415.0) = 0.05 \text{ lb/pie}^3$$

$$Q = 0.2 \text{ lb}_a/\text{s} \times \frac{1}{0.05} = 4.00 \text{ pie}^3/\text{s}$$

$$\frac{2227.0}{4.0(5.2)} = 107.0$$

$$\Delta P_T = 107.0 \text{ pulgadas de agua}$$

6.3.- Cálculo del ciclón. (caída de presión y dimensiones)

Se seleccionan las relaciones propuestas por Stairmand porque implican baja caída de presión y una alta eficiencia de separación, el diámetro del ciclón se calcula empleando la ec. V-21

$$D_c = 0.0502 \left[\frac{16.3 (0.05)^2 (1 - 0.2)}{0.018(0.000672)(79.7)(.5)(.2)^{2.2}} \right]^{0.454}$$

$$D_c = 1.69 \text{ pies} = 0.52 \text{ m}$$

Calcular el valor v_t

$$a = 0.5(1.69) = 0.845 \text{ pies} ; b = 0.2(1.69) = 0.338 \text{ pies}$$

$$v_t = \frac{16.3}{0.845(0.338)} = 57.0 \text{ pies/s}$$

La caída de presión del ciclón se calcula empleando la siguiente ecuación $P = 0.0030 f v_t^2 N_H$ en donde $N_H = 16 a \cdot b / D_0^2$

$$N_H = 16 \frac{(0.845)(0.338)}{(0.5 \times 1.69)^2} = 6.40$$

$$\Delta P = 0.0030(0.051)(57.0)^2(6.40) = 3.2 \text{ pulgadas de agua}$$

La eficiencia del ciclón estará en función de las dimensiones calculadas por medio de las relaciones propuestas por Stairmand (ver tabla V-E) y del diámetro de las partículas y se puede evaluar a través de la ecuación V-24.

$$n = 1 - (1 - 0.67(0.52)^{14}) (26+273/283)^3 = 0.605$$

$$W = (1 + 0.605) \frac{16.3}{(1.69)^3} \times \frac{1.28(d_p \times 10^{-4})^2}{18 (1.2 \times 10^{-5})} = 3.2 \times 10^{-3} d_p^2$$

Sustituyendo en la ec. V-24

$$\eta = 1 - \exp^{-2(3.2 \times 10^{-3} \times d_p^2 \times 551.3)^{1/2}(0.605)+2}$$

Si $d_p = 396$ micras

$$\eta = 1 - \exp^{-2(3.2 \times 10^{-3} \times 396^2 \times 551.3)^{1/2}(0.605)+2} = 1$$

Debido a que el tamaño de partícula es muy grande se esperaba que la eficiencia fuera máxima.

Caída de presión debida a codos y accesorios

La caída de presión en codos se calculará empleando el método de longitud equivalente $L = \text{grados del codo}/90 \times 3.14(D)/4$ en donde D es el diámetro de la tubería y es igual a un pie por cada pulgada de el codo.

$$L = 90/90 \times 3.1416(6)/4 = 4.71 \text{ pies}$$

$$\text{Dos codos } 2 \times 4.71 = 9.42 \text{ pies}$$

$$h = \frac{2(0.023)(1.01)^2(9.42)}{(32.2)(0.05)^2(0.5)} = 10.87 \text{ pie}\cdot\text{lb}/\text{lb}_{\text{aire}}$$

$$W_{fc} = 10.87 \frac{\text{pie}\cdot\text{lb}}{\text{lb}_a} \times 85 \times 0.2 \text{ lba/s} = 185.0 \frac{\text{pie}\cdot\text{lb}}{\text{s}}$$

$$= \frac{185.0}{4.0(5.2)} = 8.7 \text{ pulgadas de agua}$$

CAIDA DE PRESION TOTAL DEL SISTEMA

Caída de presión en la tubería	107.00	pulgadas de H ₂ O
Caída de presión en el ciclón	3.20	" " "
Caída de presión debido a codos	8.70	" " "
Caída de presión debido a filtro a la entrada del compresor	6.00	" " "

Potencia del ventilador	124.90	pulgadas de H ₂ O

$$p = (325 \times 124.9)/(6350 \times 0.5) = 12.8$$

$$P = 13 \text{ hp}$$

6.5.- Costo y gastos de operación del sistema de transporte neumático

6.5.I Costo e instalación del equipo

Se presentará una evaluación del equipo desde el punto de vista económico con el objetivo de que se utilice como una guía a quien en un momento dado este interesado en tener una idea de los costos del equipo y de la instalación de sistemas de transporte neumático. Empleando el diagrama del sistema de transporte neumático (página 92) se procederá a dar la especificación y costos de cada una de las partes que integran el sistema.

I.- Válvula Rotatoria

Una válvula rotatoria a prueba de fugas de aire con capacidad de 3.0 lb/s. Fabricada en acero al carbón con descarga de material a tubería de 6 pulgadas.

Costo de la válvula incluyendo motor eléctrico, reductor de velocidad e instalación. \$ 450 000.00

2.- Tubería

Tubería de acero al carbón, cédula 40 de 6 pulgadas de diámetro.

Costo de la tubería (300 pies de longitud) incluyendo la instalación, soportes, materiales para la instalación, etc. \$ 1 380 000.00

3.- Ciclón Separador

Ciclón separador de 1.7 pies de diámetro fabricado en acero al carbón.

Costo del ciclón separador incluyendo materiales, mano de obra e instalación. \$ 125 000.00

4.- Compresor de aire

Compresor de aire con capacidad máxima de 980 PCSM potencia de 13 hp, equipo auxiliar e instalación.

Costo aproximado. \$ 380 000.00

Costo total aproximado del sistema. \$ 2 335 000.00

6.5.2 Gastos de operación del transporte

- Depreciación

Se considera la depreciación del equipo a 10 años

Por año \$ 233 500.00 y al mes \$ 19 458.00

- Mantenimiento

mano de obra al mes \$ 55 000.00

refacciones (considerando 1 % del costo del equipo)

por mes \$ 23 350.00

Total \$ 78 350.00

- Operación

mano de obra (operador y supervisor) \$ 110 000.00

energía eléctrica \$ 30 000.00

Total \$ 140 000.00

Costo Total por mes \$ 237 808.00

Masa total transportada

5 000 kg/hr x 8 hr x 20 días = 800 000.00 kg

Suponiendo que la cantidad de transporte no es fije (suponiendo que disminuye IC %) 80 000kg

Masa total transportada 720 000 kg

Costo de transporte del material por mes

$$\frac{237\,808.0}{720\,000.0} = 0.33 \text{ \$/kg}$$

C A P I T U L O V I I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.- Ventajas de usos de un sistema de transporte neumático.

Las principales razones para la instalación de un transporte neumático son:

- 1- Se eliminan los costos de empaque (bolsas, costales o pequeños recipientes) y mano de obra (labor de manejo y empaque) al comprar material a granel en lugar de comprar material envasado.
- 2- El manejo y almacenamiento es rápido y sencillo - reduciendo los costos de mano de obra y tiempo de descarga o carga.
- 3- Se eliminan las pérdidas de material debidas a su derrame provocados por la rotura de sacos y por pequeñas cantidades que se quedan en los recipientes al descargar o cargar el material.
- 4- Transportar el material a lugares lejanos através de espacios reducidos en donde sería imposible -- transportar el material por transporte mecánico.
- 5- Reducción de los espacios de almacenamiento al emplear tolvas o silos en lugar de bodegas de gran tamaño almacenando la misma cantidad de material.
- 6- Mayor limpieza y seguridad de la planta debido a la eliminación de manejo manual y desprendimiento de

polvos cuando los sacos o recipientes son abiertos o vaciados.

7- Mayor seguridad de que los materiales transportados no se contaminen debido a que es un sistema de transporte cerrado.

7.2.- Análisis fenomenológico de un sistema de transporte neumático

1.- La gran mayoría de las ecuaciones son empíricas, implicando que el transporte neumático se desarrollo como tal, más como un arte que como una ciencia por falta de información sobre la fenomenología implícita.

2.- Utilizando las técnicas de formulación de modelos por análisis dimensional, muchas ecuaciones se han mo dificado.

3.- Muchas investigaciones de sistemas de transporte neumático reportan que la caída de presión debida a la fricción de los sólidos y el gas, puede evaluarse a partir de la caída de presión del gas corrigiendola por el factor α ,

$$\alpha - 1 = \left(\frac{Dt}{D} \right)^2 \left(\frac{\rho_a}{\rho_m} \times \frac{r}{Re} \right)^k$$

7.3.- Comportamiento de un sistema de transporte neumático

I.- A continuación se presentan las principales características de los sistemas de transporte neumático

	Fase Diluida	Fase Diluida	Fase Densa
Suministro de aire	Ventilador	Compresor	Compresor
Rango de presión	± 20 "H ₂ O	± 7 PSI	15-35 PSI
$\frac{\text{lb mat.}}{\text{lb aire}}$	Vac. 1.3-.45 Pres. 3 - 1	Vac. 4.5-3 Pres. 13-4	45-18
Velocidad del aire pie/min	6 000	6 000	1500-3000
Capacidad máxima Ton/h	100	300	300
Distancia recomendada pies	Vac. 100 Pres. 200	Vac. 100 Pres. 500	500-600
Tipo de material	granular	granular y polvoriento	granular y polvoriento

2.- Debido a las necesidades de los procesos en la industria el transporte neumático se utiliza con un doble propósito, el de transportar y a la vez secar, humedecer y mezclar materiales sólidos.

3.- Los sistemas de transporte neumático son adecuados para materiales granulares que fluyen libremente al dispersarse en la corriente gaseosa, de tal manera que no se adhieren a las paredes del transportador ni se aglomeran, la arena limpia y seca es un material fluidizable, el azúcar es un material pegajoso pero puede ser fluidizable si está seco y los materiales fibrosos aún cuando estén secos no fluyen fácilmente.

4.- Para partículas de diámetro mayor de 30 micras la eficiencia de separación en el ciclón, será prácticamente igual a uno.

5.- El modelo que debe utilizarse para el cálculo del ciclón, debe ser el de Stairmand, porque implica baja caída de presión y alta eficiencia de separación.

S I M B O L O G I A

a_s	Aceleración de los sólidos	(pie/s ²)
C	Coficiente de arrastre	(adimensional)
D_p	Diámetro de partícula	(pies)
D_t	Diámetro de tubería	(pies)
f	factor de fricción	(adimensional)
f_s	factor de fricción de los sólidos	(adimensional)
G	velocidad de masa del flujo	(lb/s . pie ²)
g	aceleración dentro del campo gravitacional	(pie/s ²)
L	longitud	(pies)
m	flujo del componente a	(lb/s)
n	flujo del componente p	(lb/s)
η	Eficiencia	(%)
p	presión	(lb/pie ²)
ΔP	caída de presión	(lb/pie ²)
P	potencia	(hp)
Q	flujo de aire	(pies ³ /min)
Re	número de Reynolds	(adimensional)
S	área	(pie ²)
\bar{v}	volumen específico	(pies ³ /lb)
v	velocidad	(pies/s)
v_t	velocidad terminal	(pies/s)
μ	viscosidad	(lb/ pie . s)
g_c	constante dimensional	(32.2 $\frac{\text{lb pie}}{\text{lb fuerza s}^2}$)

μ_g	viscosidad del gas	(lb/pie seg)
ρ	Densidad	(lb/pie ³)
ρ_g	densidad del gas	(lb/pie ³)
ρ_m ρ_s	densidad del material a transportar	(lb/pie ³)
θ	tiempo	(segundos)
w_{fh}	pérdida de presión debida a la fricción en la sección horizontal	
w_v	pérdida de presión debida a la fricción en la sección vertical	
X	distancia vertical	(pies)
Δ	una diferencia finita, valor final menos valor inicial	

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

I- Evaluating Flow Properties of Solids

Ralph L. Carr
Chemical Engineering
January 18, 1965. pag. 163

2- Properties of Solids

Pneumatic Conveyors
Feeding

Chemical Engineering (Deskbook ISSUE)
October 13, 1969. pag. 75

3- How To Select a Pneumatic System Part. I

Chemical Engineering
February 17, 1975. pag. 72

Specifying Components of Pneumatic-Conveying
Systems Part. 2

Chemical Engineering
March 31, 1975. pag. 88

4- Pneumatic Conveying I

Milton N. Kraus
Chemical Engineering
April 12, 1965. pag. 167

Pneumatic Conveying II

Milton N. Kraus
Chemical Engineering
May 10, 1965. pag. 149

5- Troublefree Diverters For Pneumatic Conveying Systems

F. M. Knafelc
Chemical Engineering
September 25, 1967. pag. 176

- 6- Design Tips For Pneumatic Conveyors
Gluck s.
Hydrocarbon Processing
October 1968, Vol. 47, No. 10. pag. 88
- 7- Design For Fluidization
Joseph F. Frantz
Chemical Engineering
September 17, 1962. pag. 161
- 8- Pressure Drop in Vertical Tubes in Transport of Solids by Gases
O. H. Hariu
Industrial and Engineering Chemistry
June 1949, pag. 1148
- 9- Baghouses: Separating and collecting Industrial dusts
Milton N. Kraus
Chemical Engineering
April 9, 1979. pag. 94
- 10- Friction in the Flow of Suspensions
E. G. Vogt
Industrial and Engineering Chemistry
September 1948, Vol. 40, No. 9
- 11- New design approach boosts cyclone efficiency
Wolfgang H. Koch
Chemical Engineering
November 7, 1977. pag. 80
- 12- Principios de Operaciones Unitarias
A. S. Foust
Decimasegunda impresión 1979
- 13- AIR Pollution Control Engineering
William Licht
Copyright 1980 by New York and Basel