



J-16

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**SISTEMAS DE TRANSPORTADORES
NEUMATICOS Y SUS APLICACIONES
EN LA INDUSTRIA DEL PROCESO**

T E S I S

Que para obtener el Título de

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a n

Julio César Calderón Ramos

Jesús Herbey Zepeda Zepeda

México, D. F.

1979

15821



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INTRODUCCION

1 TRANSPORTADORES NEUMATICOS

1.1 Descripción General

1.2 Ventajas

1.3 Desventajas

2 CLASIFICACION DE LOS TRANSPORTADORES NEUMATICOS

2.1 Sistemas de Vacío

2.2 Sistemas de Presión

a) Presión Baja

b) Presión Media

c) Presión Alta

2.3 Sistemas Combinados Presión-Vacío

2.4 Sistemas de Circuito Cerrado

2.5 Transportadores por Aire Activado

3 DISEÑO DE TRANSPORTADORES NEUMATICOS

3.1 Requerimientos de Diseño

3.2 Procedimientos de Diseño

4

CALCULO DE TRANSPORTADORES NEUMATICOS

- 4.1 Cálculo de un Sistema de Vacío
- 4.2 Cálculo de un Sistema de Baja Presión

5

DESCRIPCION DEL EQUIPO DE TRANSPORTE

- 5.1 Alimentadores Rotatorios
- 5.2 Impulsores de Aire
- 5.3 Colectores de Sólidos
- 5.4 Tubería de Transporte
- 5.5 Acoplamientos de Tubería
- 5.6 Válvulas Diversoras de Flujo
- 5.7 Válvulas de Compuertas
- 5.8 Tableros de Control

6

APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DE PROCESO

- 6.1 Industria del Cemento
- 6.2 Transporte de Polímeros Granulares
- 6.3 Industria Alimenticia
- 6.4 Industria Cervecera

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

I N T R O D U C C I O N

En todas las Plantas de Proceso y Producción se presenta el espectro total del movimiento de materiales, que se inicia con el almacenamiento y manejo de materias primas, se continúa con el manejo de materiales en proceso y finaliza con el empaque y almacenamiento de productos terminados. El manejo de sólidos a granel comprende materiales polvosos, granulados, pastosos y lechosos; y, también, la utilización de las siguientes operaciones: almacenamiento, recuperación del almacenamiento, medición y transporte. A menudo se incluyen operaciones de proceso tales como: mezclado, secado, enfriamiento, calentamiento, etc., que influyen el manejo de materiales a grado tal que se consideran como parte del sistema.

El manejo de materiales a granel no agrega ningún valor al producto, solamente al costo de producción, por lo cual es muy importante minimizar los costos de manejo de materiales y mantener la operación continua de la Planta como un todo integral. Los costos directos son difíciles de cuantificar, pero tal vez más importantes que éstos, son los costos indirectos originados de un mal funcionamiento del sistema de mane

jo de materiales a granel.

Debido a la diversidad de problemas que se presentan en el manejo de materiales se han creado diferentes sistemas de transportación, siendo algunos de ellos los siguientes:

Transportadores de Banda

Transportadores de Cable

Transportadores de Cadena

Transportadores de Cangilones

Transportadores de Draga o de Arrastre

Transportadores de Mandil o de Correa

Articulada

Transportadores de Monorriel

Transportadores Neumáticos

Transportadores de Rodillos

Transportadores de Tornillo o Gusano

Transportadores Vibratorios, etc.

El propósito de este trabajo es el estudio de los transportadores neumáticos bajo los siguientes aspectos: descripción general de acuerdo a su clasificación; diseño y cálculo de siste-

mas; y, las aplicaciones de dichos sistemas a la Industria de Proceso.

BREVE HISTORIA DE LOS TRANSPORTADORES NEUMATICOS

En 1886 la Compañía B. F. Sturtevant, experimentó el uso de ventiladores para activar sistemas de tuberías que transportaban materiales no abrasivos como: algodón, aserrín, desperdicios de papel y virutas de madera. Estos experimentos, sin embargo, no lograron arrojar datos que facilitaran el empleo, diseño o cálculo de sistemas neumáticos, o cuando menos, éstos no fueron divulgados.

Posteriormente, los fabricantes de maquinaria agrícola introdujeron el uso de la transportación neumática para la descarga de granos, lo cual en aquella época constituyó una innovación, que fue el producto de innumerables pruebas que se hicieron, sin lograr constituir una técnica especializada que facilitara otros empleos.

En 1924 H. Gasterstadt publicó las leyes teóricas que describen las caídas de presión asociadas con flujos de aire y mez-

clas aire-sólidos a través de líneas de transporte. Trabajó - principalmente con sólidos granulares y con granos tales como el trigo. Sus ecuaciones empíricas aún son sustancialmente correctas cuando se aplican a materiales de estas características.

A partir de 1924 la literatura y datos sobre la materia se han incrementado rápidamente al descubrirse las técnicas de fluidización de sólidos, las que permitieron, junto con el aire a alta presión, la creación de la Bomba para Sólidos y el Tanque Soplador. Este desarrollo hizo posible el transporte a gran distancia con tuberías de diámetro relativamente pequeño.

En 1944 Wilbur G. Hudson publicó un procedimiento matemático para determinar la velocidad del aire y los requerimientos de potencia para sistemas de baja presión y vacío manejando granos y materiales similares.

Pero a pesar de tantos años de investigación la teoría escrita sobre transporte de sólidos es aplicable solamente a algunos materiales de características conocidas, en sistemas de transporte específicos. No hay fórmulas empíricas universalmente aplicables para el diseño de tales sistemas. Esta insuficiencia de información práctica ha motivado que la mayoría de los usuarios

dependan de los vendedores para el diseño, selección e instalación de tales equipos. Los fabricantes y vendedores de equipo de transporte neumático poseen la mayoría del conocimiento práctico de estos sistemas y obtienen conocimientos adicionales con cada nuevo sistema que instalan.

En México las aplicaciones de los Sistemas Neumáticos las encontramos en: Industrias de Cemento, Cal, Harina, Cervecerías, Laboratorios, Almacenes de Granos, Equipo Agrícola, en los puertos para descargar el material a granel de barcos, etc.

C A P I T U L O I

TRANSPORTADORES NEUMATICOS

1.1

DESCRIPCION GENERAL

Con el propósito de obtener la suficiente información que permita el diseño mediante fórmulas de los sistemas neumáticos - para manejo de sólidos, se ha invertido mucho esfuerzo por -- parte de la Industria de Proceso; sin embargo, los resultados, en su mayoría, no han sido muy satisfactorios. Ello se debe a la variedad casi infinita de las características de los materiales y a los diferentes arreglos de los equipos de transporte.

Lo anterior ocasiona que muchos autores se refieran al transporte neumático en función, más que como a una ciencia o a una técnica como a un arte.

Las bases de diseño de transportadores neumáticos las da -- Stoess de la siguiente manera:

...."El aire tiene un peso de 0.075 lb/ft^3 a una temperatura - de 70° F y a una presión absoluta de 14.7 lb/in.^2 . Si la presión se reduce abajo de la presión absoluta, siguiendo la ley de los gases, el aire pierde peso y viscosidad. Esto reduce

la capacidad de choque o acarreo del material a través de la tubería. Inversamente, si la presión en la tubería es superior a la presión absoluta de 14.7 lb/in^2 , siguiendo nuevamente la ley de los gases, el aire se torna más pesado, teniendo entonces mayor capacidad de choque y acarreo, capaz de transportar más material..."

Generalmente el transporte neumático se define como: El Transporte de materiales secos a granel a través de una tubería mediante un flujo de aire o gas con presión positiva o negativa.

1.2 VENTAJAS

Los sistemas neumáticos para manejo de sólidos a granel, presentan entre otras las siguientes ventajas:

Ahorros debidos a la diferencia de precios entre el material comprado a granel y el material comprado en sacos, bolsas o pequeños envases, resultantes de la eliminación de costos de empaquetamiento.

Ahorros en los fletes, debido a las reducidas tarifas

que se aplican en el manejo de materiales a granel.

Ahorros debidos a la reducción de costos de mano de obra por manejo y almacenamiento de bolsas y pequeños envases.

Reducción de pérdidas de material por rasgaduras en sacos y derrames residuales en la descarga de bolsas y envases.

Entrega de materiales a áreas de la planta que serían económicamente inaccesibles por medio de otros transportadores.

Almacenaje de materiales a granel en tanques y silos de gran capacidad en áreas de la planta que resultarían insuficientes para almacenamiento de materiales empacados.

Incremento de la seguridad de la planta debido a la eliminación de manejo manual de bolsas o envases y debido también a la eliminación de polvos, que se originan al abrir y de cargar dichos empaques y bolsas.

Reducción de la contaminación del producto debido a que el transporte se efectúa en sistemas cerrados.

Reducción de la contaminación ambiental debida a las uniones herméticas en los equipos de transporte.

Ahorros debidos a la eliminación de puntos de transferencia, requeridos en otros sistemas, cuando las trayectorias de transporte no son rectas.

Ahorros en el mantenimiento de la limpieza de la planta, debidos a que los sistemas neumáticos, por ser herméticos en sus juntas, eliminan las condiciones de polvo y mugre.

Reducción de riesgos de fuego y explosión en el manejo de materiales combustibles.

1.3 DESVENTAJAS

He aquí las desventajas más importantes que presentan estos sistemas en comparación de otros transportadores:

Las características que debe tener el material a ser transportado son: ser de flujo relativamente libre y estar secos. Lo anterior reduce el número de materiales susceptibles -

de ser transportados por medios neumáticos.

Inversiones mayores que para otros transportadores de capacidad similar.

Altos requerimientos de potencia, lo cual implica aumento en los costos.

Es unidireccional; los cambios de dirección deben efectuarse con radios lo suficientemente grandes, para evitar reducciones sensibles en la capacidad de transporte.

C A P I T U L O 2

CLASIFICACION DE LOS TRANSPORTADORES NEUMATICOS

Existen varias clasificaciones para el estudio y análisis de los transportadores neumáticos.

John Fisher los clasifica de acuerdo a la presión que se aplica al aire de transporte, esto es, básicamente en 2 tipos, que son:

Sistemas de Presión Negativa y Sistemas de Presión Positiva.

Milton Kraus los clasifica de acuerdo a las condiciones en que se efectúa el contacto del aire con el material, esto es:

a) Sistemas de introducción del material al flujo de aire. Aquí el material se introduce a un flujo de aire inducido ya sea por vacío o bajo presión positiva.

b) Sistemas de aire mezclado. En estos sistemas el material y el aire se mezclan a la entrada de la línea de transporte por medio de alimentadores especiales.

c) Sistemas de Introducción del Aire al material. Se llaman también sistemas de tanque de soplado o inyectores; y,

en ellos, el aire entra a una masa de material almacenada en un recipiente para provocar el flujo.

Stoess los clasifica de acuerdo a los requerimientos de aire, que pueden variar desde unos cuantos $\frac{ft^3}{min}$ hasta volúmenes - sustanciales, a presiones medidas desde pulgadas de columna de agua hasta 125 $\frac{in}{H_2O}$ y vacíos desde 6 hasta 12 pulgadas de - columna de mercurio. Esta clasificación comprende los siguientes tipos:

	Rango de Presión
1.- Sistemas de Vacío	6-12 in Hg
2.- Sistemas de Presión	
a) Presión Baja	Hasta 12 psig.
b) Presión Media	12-45 psig.
c) Presión Alta	45-125 psig.
3.- Sistemas Combinados	
Presión-Vacío	
4.- Sistemas de Aire-Activado	

En estos sistemas, llamados también de presión negativa, se establece en la línea de transporte una corriente de aire a alta velocidad que entra por el lado de la succión de un soplador centrífugo o de desplazamiento positivo. El material que se va a transportar es succionado directamente por el flujo de aire de la línea, a través ya sea de una boquilla de succión, de un alimentador rotatorio, de una válvula rotatoria, o de una tolva; dependiendo del tipo de material y de las características del sistema de distribución.

Los alimentadores rotatorios se utilizan para materiales aerados capaces de fluir rápidamente; materiales cuyas partículas tengan forma y tamaño irregular; asimismo se emplean cuando varios materiales en diferentes cantidades son liberados al flujo de aire.

Cuando son liberados al flujo de aire, materiales de tamaño de partícula regular o granos, se utilizan válvulas rotatorias unidas a boquillas reguladoras de flujo. Las válvulas permiten el paso del flujo o lo cierran y la compuerta de regu

lación de flujo, que no es más que un orificio variable, introduce el material en la línea de transporte.

Cuando la alimentación se efectúa con bolsas de material, éstas se vacían en tolvas con filtros en la parte superior a fin de evitar la entrada de otros materiales (como papel, polvos, etc.) que pueden contaminar el producto y disminuir la eficiencia del sistema.

Los sistemas de vacío se adaptan fácilmente para descargar materiales de molinos o pulverizadores en los cuales es conveniente colocar un dispositivo de medición para regular, no sólo la alimentación al sistema, sino también para evitar sobrecargas en dichos molinos o pulverizadores.

El flujo de aire transporta el material hasta un separador-recibidor de donde el material se descarga en una o varias tolvas de proceso o almacenamiento por medio de una válvula de descarga. El aire de transporte al salir del separador-recibidor, ya libre de polvo, es succionado por el soplador y de allí a la atmósfera a través de un silenciador que es recomendable colocar a la salida del soplador.

Este sistema de transporte se usa cuando se transporta material desde varios puntos de alimentación a uno solo de descarga, o - donde sea preferible tener entradas en los puntos de fuga del - sistema, que el tener fugas de polvos, como podría ser el caso de un sistema presurizado transportando algún material tóxico.

Si bien este sistema se recomienda para transportar el material de varios puntos de alimentación a uno solo de descarga, también puede liberar el material a varios puntos de descarga, pero se requiere de una considerable cantidad de equipo adicional, pues cada punto de descarga requiere de un separador-recibidor equipado con una válvula de descarga que normalmente es un alimentador rotatorio, o una válvula de compuertas.

El separador recibidor, es un ciclón recibidor con una sección cónica lo suficientemente amplia para permitir la evacuación - del material por medio de su válvula de descarga colocada en el fondo del ciclón. Cuando se transportan materiales relativamente polvosos un ciclón es a veces suficiente para separar el material del aire. Cuando se requiere de una mejor separación se - utiliza un separador-recibidor de dos pasos, es decir, un ciclón dentro de otro, o dos ciclones en serie. Con los ciclones reci-

bidores teniendo eficiencias en rangos del 90% al 95%, habrá polvos que pasarán de los recibidores al soplador y de allí a la atmósfera, ocasionando una ligera contaminación ambiental. Cuando ésta condición no puede ser tolerada y se requiera de una separación completa (100% de retención visible de polvos y material) es necesario el empleo de una combinación filtro-recibidor.

El filtro-recibidor se compone de una sección cónica en la parte inferior, y en la parte superior está equipado con un filtro de mangas o bolsas de fibras de algodón o fibras sintéticas, para retener las partículas finas. Las mangas filtrantes se limpian continuamente, ya sea por efecto de aire en sentido contrario a la superficie de retención, por medio de sacudimiento mecánico, o por una combinación de ambos.

A la salida del material del filtro-recibidor, se utiliza una llave de descarga para liberarlo, la cual sirve al mismo tiempo como sello del sistema contra pérdidas de aire de transporte y vacío. Esta válvula, ya sea un alimentador rotatorio o una válvula de compuertas, deberá ser capaz de descargar el material a un rango de por lo menos el doble de la cantidad que se transporta, debido al incremento en volumen que sufren los

materiales por la aereación. Nunca deberá permitirse que se acumule el material en el cono del filtro receptor.

Como medida de seguridad deberá colocarse un interruptor eléctrico al sistema motriz de la válvula de descarga, para indicar la operación de la unidad. Este interruptor deberá estar interconectado eléctricamente con el motor que acciona al soplador, de tal manera que si deja de operar el alimentador rotatorio o la válvula de compuertas (con lo cual se acumularía el material en el separador hasta el punto en que rebasaría la sección de filtros, rompiéndolos y continuando hacia la atmósfera a través del soplador), se apaga el soplador y por lo tanto el sistema completo, evitando de esta suerte la descarga de polvos y material a la atmósfera y protegiendo el soplador, que sufriría graves daños si pasara algo de material a través de él.

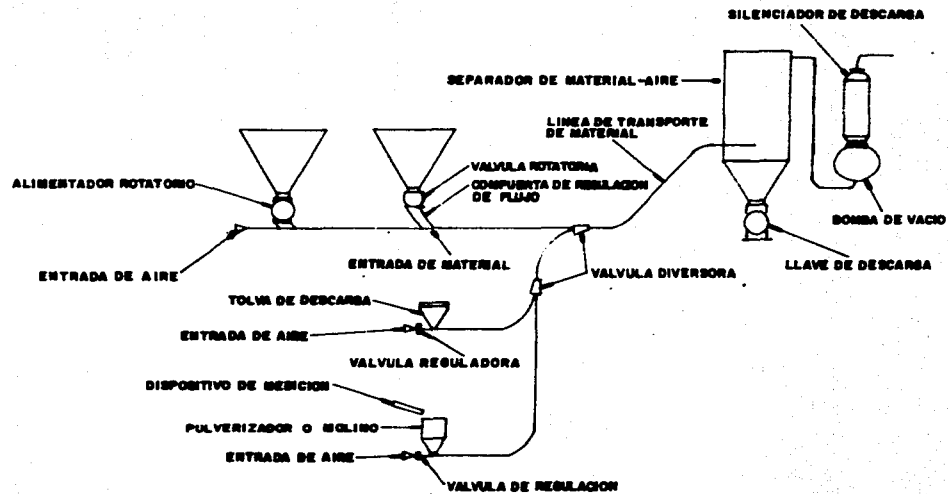
Entre las ventajas de estos sistemas de vacío se encuentran las siguientes: Líneas de Transporte Limpias y Libres de Polvo (pues las fugas de material son internas, no externas), bajas pérdidas de materiales en su manejo (también por las fugas internas en vez de externas), buenas condiciones de trabajo, ya que en la descarga de materiales las operaciones se desarrollan

en condiciones de higiene muy favorables, de gran seguridad y menores riesgos de fuego y explosión puesto que los movimientos de maquinaria son mínimos, además, el sistema de vacío - inhibe la extensión de las explosiones.

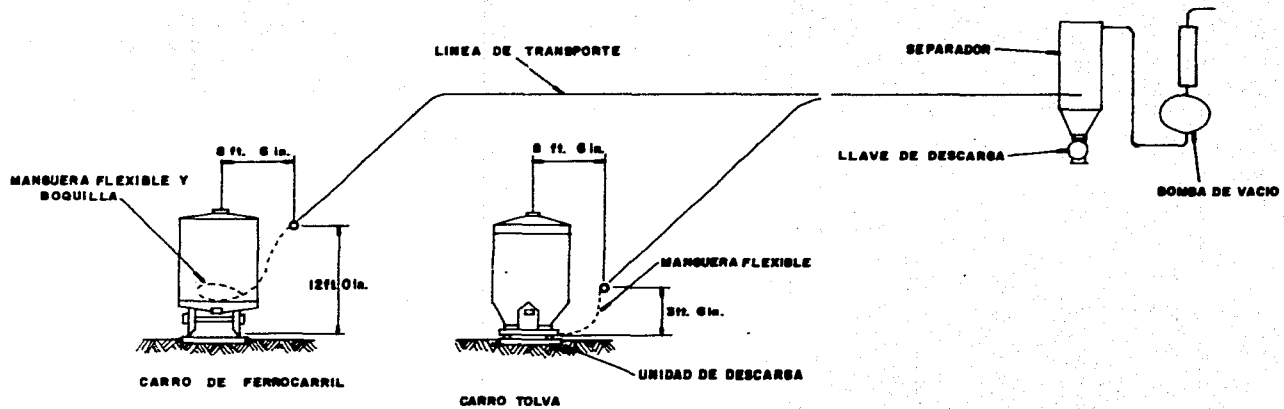
Como desventajas de estos sistemas se pueden mencionar básicamente las dos siguientes:

- a) La cantidad de potencia necesaria para mover el aire en el sistema es superior a la cantidad de potencia requerida en un sistema de presión.

- b) El Diámetro de las líneas de transporte es mayor que el requerido por un sistema de presión para manejar la misma cantidad de aire.



SISTEMA DE VACIO



SISTEMA DE VACÍO. DESCARGA DE SÓLIDOS

2.2 SISTEMAS DE PRESION

En estos sistemas se establece en la línea de transporte una corriente de aire de alta velocidad por medio de un soplador de desplazamiento positivo o centrífugo. El material es extraído del recipiente de proceso o almacenamiento, ya sea por gravedad o por otros transportadores hasta un alimentador rotatorio. El alimentador descarga el material en la corriente de aire, la cual lo transporta a través de la línea hasta uno o más puntos de descarga. Estos puntos de descarga los constituyen unos recipientes venteados, generalmente tolvas o silos, con conexiones de venteo a la atmósfera o a un colector de polvos, dependiendo de las características del material.

Los sistemas presurizados se pueden clasificar en:

- a) Sistemas de Presión Baja
- b) Sistemas de Presión Media
- c) Sistemas de Presión Alta

a) SISTEMAS DE PRESION BAJA.

Se caracterizan como tales, por la limitación impuesta por la combinación de suministro de aire y el mecanis-

mo de alimentación. Para activar el sistema se utilizan principalmente sopladores de desplazamiento positivo del tipo lobular. Este tipo de soplador tiene un límite de 12 psig. en la presión de salida. Los alimentadores rotatorios y las válvulas de compuertas, dependiendo de su tipo, pueden soportar una presión diferencial desde unas cuantas lb / in² hasta 20 psig.

Estos sistemas se utilizan para transportar materiales en distancias cortas (hasta 100 ft), generalmente desde un punto de alimentación a varios de descarga. Entre los materiales usualmente transportados se tienen los siguientes: pulverizados secos, triturados, fibrosos y granulados.

Cuando se manejan materiales pulverizados se requiere ser muy cuidadoso en cuanto a los dispositivos utilizados para cargar y descargar el material.

A la entrada del sistema, el material que se encuentra a condiciones atmosféricas (14.7 psia y 70°F), se pasa a través del mecanismo de alimentación, al flujo de aire de transporte, el cual puede llegar a

tener una presión positiva de hasta 26.7 psia - - -
(14.7 + 12). Cuando se tiene un alimentador rotatorio como dispositivo de alimentación, al descargar el material en la zona de transporte, las cavidades del rotor se llenan con aire comprimido, el cual al llegar a la entrada del material, se expande ocasionando disturbios de polvos, por lo cual se necesita usar un colector de polvos en los confines del equipo. En la figura (a) del siguiente diagrama se ilustran los requerimientos de equipo para el transporte correcto desde la salida de un recipiente. En la figura (b) se sugiere la unión del alimentador rotatorio directamente a la salida del recipiente, lo cual, si bien podrá mantener los disturbios de polvos a través del material en dicho recipiente, ocasionará que la presión dentro del mismo se aumente a grado tal que el material a la salida de la tolva flote y no caiga a las cavidades del rotor con lo cual no habrá material para transportarse.

El soplador para activar el sistema, es impulsado por un motor eléctrico por medio de bandas múltiples en - V. A la entrada se colocan un cedazo y un silenciador. El cedazo tiene como finalidad evitar la entrada de -

objetos extraños y grandes a la línea de transporte; y, el silenciador, suprimir el ruido emitido por el soplador.

Cuando el material de transporte debe protegerse con tra contaminaciones del medio ambiente, en vez de - utilizar un cedazo, se coloca a la entrada del sopla dor un medio filtrante. Si se requiere garantizar - más la no contaminación del producto, se puede insta lar un filtro en la descarga del soplador, el cual - evitará que el herrumbre u otros materiales entren - a la corriente de transporte.

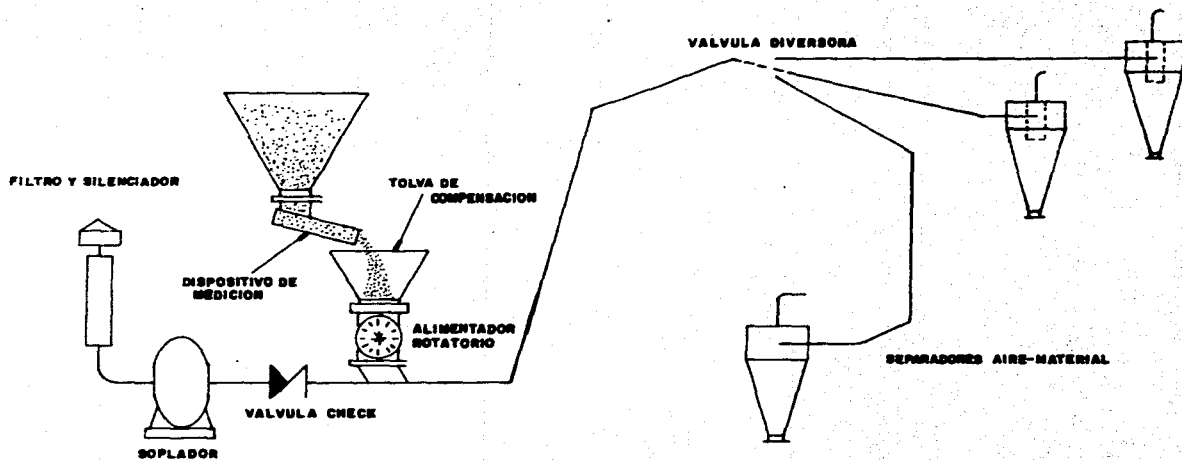
A la salida del soplador se usa un ducto para liberar el aire en la entrada del material. En este ducto - se instala una válvula check para prevenir un retor- no de aire y material, en el caso de una falla de po tencia o algún otro mal funcionamiento.

La eficiencia de los dispositivos de alimentación de be ser muy buena y ello se logra teniendo fugas de - aire mínimas. El soplador deberá liberar no sólo el aire requerido para el transporte, sino también el -

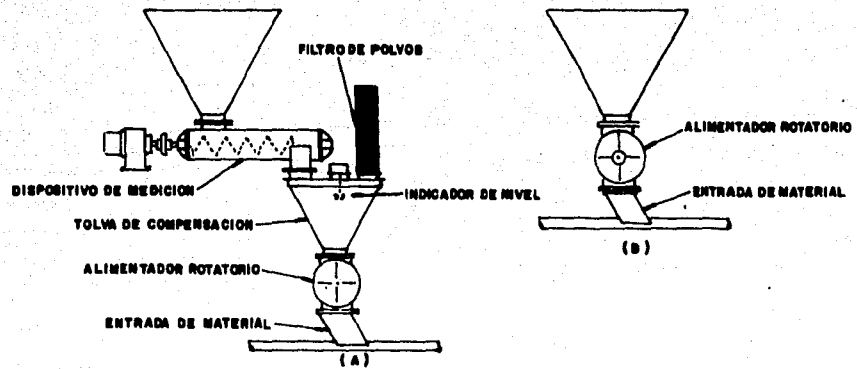
aire perdido por las fugas a través del alimentador, lo cual aumentará los costos de la operación. Las fugas se ven aumentadas con el desgaste del alimentador, pues se incrementan las tolerancias entre el rotor y el cuerpo de dicho alimentador.

De la descarga del alimentador el material se mezcla con el aire de transporte, el cual lo lleva a través de la tubería a los puntos terminales, que pueden ser uno o varios ya sea que se trate de silos, tolvas, tanques de proceso o carros de ferrocarril.

Para materiales no abrasivos y semi-abrasivos se usan alimentadores rotatorios. Para materiales abrasivos se usa la válvula de compuertas de 3 compartimientos, la cual en su operación es de tipo continuo y puede manejar materiales pulverizados y granulares. Tienen la desventaja que no pueden operar bajo grandes cargas de material, pues si estas cargas son mayores que el desplazamiento volumétrico entre las compuertas de la válvula, ocasionará sobrellenado en los espacios evitando su operación. Para evitar que esto ocurra se utiliza un dispositivo de medición tal y cual se -



SISTEMA DE BAJA PRESION



ALIMENTACION DE MATERIAL EN SISTEMAS DE BAJA PRESION

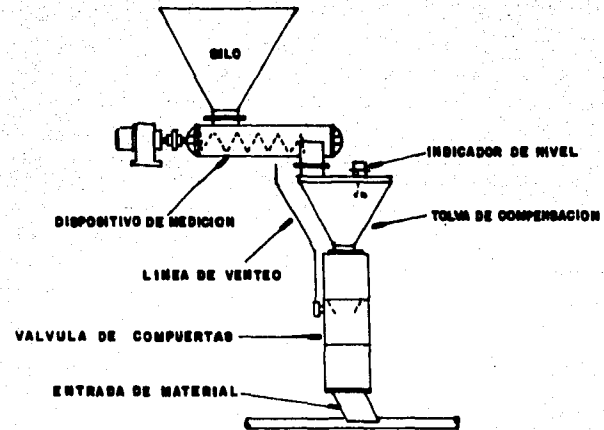
ilustra en la Fig. siguiente.

Las principales ventajas que ofrece un sistema de baja presión son las siguientes: operación fácil y sencilla; costos de inversión relativamente bajos; bajo consumo de potencia; flexibilidad de aplicación; poco propensos a fallas mecánicas; accidentes potenciales bajos, etc.

Las desventajas más importantes que presentan son: las distancias de transporte deben ser cortas, pues si éstas se extendieran, se haría necesario el uso de sopladores de mayor capacidad lo cual haría inco^ontable este sistema, debido a las bajas concentraciones sólidos-aire que manejan. Por otra parte, las pérdidas de aire por fugas a través de los alimentadores, pueden significar hasta el 20% de la cantidad de aire suministrado.

b) SISTEMAS DE PRESION-MEDIA

Los sistemas de presión media se caracterizan como tales por los requerimientos de presión del aire -- (15-45 psig), El mecanismo de alimentación y el tipo de material que pueden transportar. En estos sig



ALIMENTACION CON VALVULA DE COMPUERTAS A SISTEMAS DE PRESION BAJA

temas se usa la bomba de flujo de sólidos y normalmente se requiere que el material esté pulverizado a una finura tal que el 60% del material pase por una malla No. 200, que el 75% pase por una malla No. 100 y que todo el material pase por una malla No. 50. Para incrementar la fluidización del material, es deseable que algo de él pase a través de una malla No. 325. - El material deberá estar seco, fluir con libertad, - tener partícula granular y otras características que contribuyan a la fluidización.

Los materiales transportados por este sistema incluyen los siguientes: cemento, carbón pulverizado, polvos de combustión, polvos de piedra caliza, roca de fosfato pulverizada; y, todos aquellos de estructura física similar.

Estos sistemas se utilizan para transportar sólidos a grandes distancias (hasta de 4 000 ft) con una cantidad mínima de aire, en una mezcla densa que tiende a reducir el desgaste de la tubería.

El sistema de presión media se compone básicamente de la siguiente: la bomba de flujo de sólidos; la -

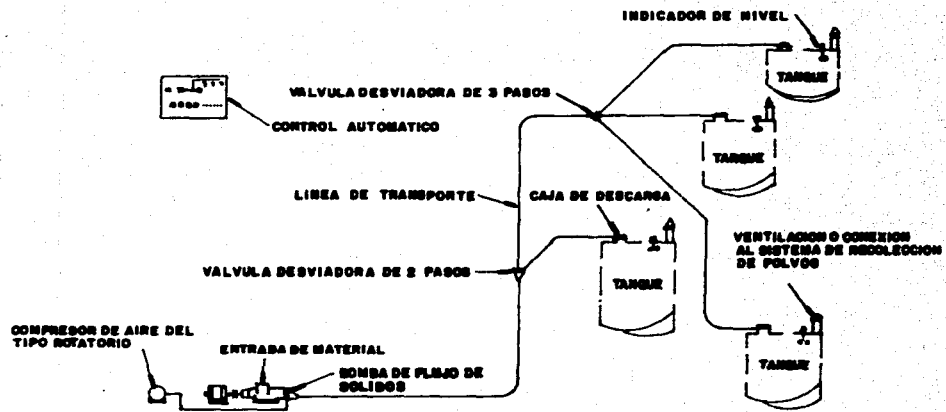
línea de transporte con válvulas divisoras; y, los indicadores de nivel, que no sólo sirven como sensores de la operación automática del sistema, sino que también indican en el panel de control el nivel -- exacto de material en los tanques. La fuente de suministro de aire es un compresor rotatorio de paleta múltiple.

El material puede liberarse a cualquiera de los puntos de descarga por medio de las válvulas divisoras.

El tanque de inyección puede ser clasificado como de presión media cuando sus requerimientos de aire se encuentran entre 15 y 45 psig, si se rebasa este rango su construcción debe efectuarse de acuerdo al código para recipientes presurizados ASME.

Entre las ventajas más importantes para estos sistemas se encuentran las siguientes:

Facilidad de instalación y transporte: los materiales pueden transportarse a cualquier parte en que la tubería sea instalada (hacia arriba, hacia abajo, verti-



SISTEMA DE PRESION MEDIA

calmente, vueltas hasta de 90°y, cualquier número de puntos de descarga).

Ahorros en costos de operación y mantenimiento: como la operación puede ser fácilmente automatizada, un solo hombre puede operar el sistema integral de transporte.

La principal desventaja que se tiene, consiste en que la tolva de la bomba debe ser alimentada por medio de otros transportadores de transferencia, de acuerdo al arreglo del sistema, con lo cual tienden a elevar los costos de inversión.

c) SISTEMAS DE PRESION ALTA

Estos sistemas se caracterizan por los requerimientos de aire que se encuentran en un rango de 45 a 125 psig. La opción del equipo está limitada al tanque de inyección, el cual es especialmente apropiado para el transporte a largas distancias de materiales pulverizados.

Se fabrican actualmente, 2 tipos de sistemas de tanques de soplado: sistemas de un solo tanque y siste-

mas de doble tanque. La selección de su tipo y tamaño así como el tamaño de la tubería se determina por el material a ser transportado (en cantidad de masa/tiempo), por la longitud y configuración de la línea de transporte; y, por el método de alimentación. Los requerimientos de aire (cantidad de aire y presión) - se determinan por las necesidades del sistema.

El sistema de transporte de un solo tanque es un sistema intermitente, ya que sólo puede transportar material cuando está descargando y no puede llenarse el tanque y transportarse el material al mismo tiempo.

Para alcanzar un tipo de transporte más continuo, se emplea el sistema de doble tanque, en el cual, un tanque está llenándose mientras el otro está descargándose. Esta operación cíclica de cargar y descargar hace que el transporte sea casi continuo, el período de no transporte es muy pequeño, exclusivamente el tiempo necesario para mover el interruptor eléctrico de uno a otro tanque.

Los tanques de inyección son cilíndricos y con fondo

cónico; y tienen las siguientes características o aditamentos:

- a) Una válvula de entrada de material de gran diámetro, ubicada en la parte superior del tanque, operada por un pistón neumático y ajustada con una junta cilíndrica de tamaño especial, como sello de presión.
- b) Una válvula de venteo, localizada en la parte superior del tanque, operada por un pistón neumático, utilizada para liberar el aire desplazado durante el período de llenado.
- c) Un detector de nivel, o soportes resorteados, para determinar cuando el tanque está lleno de material.
- d) Boquillas o camas de aereación a lo largo de los lados y cerca de la base del tanque para la admisión del aire de transporte, procedente de un soplador o de un receptor de aire de alta presión. (Un compresor de alta presión suministra el aire a un receptor, el -

cual lo descarga al tanque inyector a través de una válvula de solenoide).

- e) Un ducto de descarga con sello contra polvos, que pueda ir con o sin boquillas de aire de un reelevador de presión auxiliar.

- f) Un panel de control de la operación secuencial de las válvulas, para vaciar y llenar el tanque en un ciclo intermitente automático, o manual, según se requiera.

Arrancando con el tanque vacío, la operación es como sigue: con las válvulas de entrada de material y de venteo abiertas, entra el material hasta llenar el tanque, lo cual es detectado por el indicador de nivel o por un reelevador accionado por el asentamiento del tanque sobre sus propios resortes de montaje. El aire desplazado es venteado hacia la tolva de alimentación de material. El indicador de nivel, o el reelevador operado por el peso, hacen funcionar el control eléctrico; se cierran las válvulas de venteo y entrada de material y se abre la válvula solenoide para permitir el suministro de aire.

Del receptor el aire entra al tanque de inyección se filtra a través del material y aumenta su presión hasta que el material, completamente aereado, empieza a fluir por la línea de transporte.

Cuando todo el material ha salido del tanque y sólo el aire fluye por la línea de transporte, un interruptor de baja presión (o un reelevador operado por peso, que detecta el levantamiento del tanque sobre sus resortes de montaje), opera los controles eléctricos para cerrar la válvula de suministro de aire y abrir las válvulas de venteo y entrada de material, iniciando así el siguiente ciclo.

Los tanques de inyección pueden manejar materiales muy finos, finos y granulares que puedan fluidizarse. Sin embargo muchos materiales irregulares y otros que normalmente no son fluidizables, pueden ser transportados satisfactoriamente por sistemas de inyección a alta presión. Algunos materiales problemáticos pueden manejarse en sistemas de alta presión como flujos comprimidos de material, más que como flujos de aire de transporte. La baja velocidad y flujo denso de la

descarga, hacen ideal al tanque de inyección, para transportar materiales abrasivos y friables (desmenuzables).

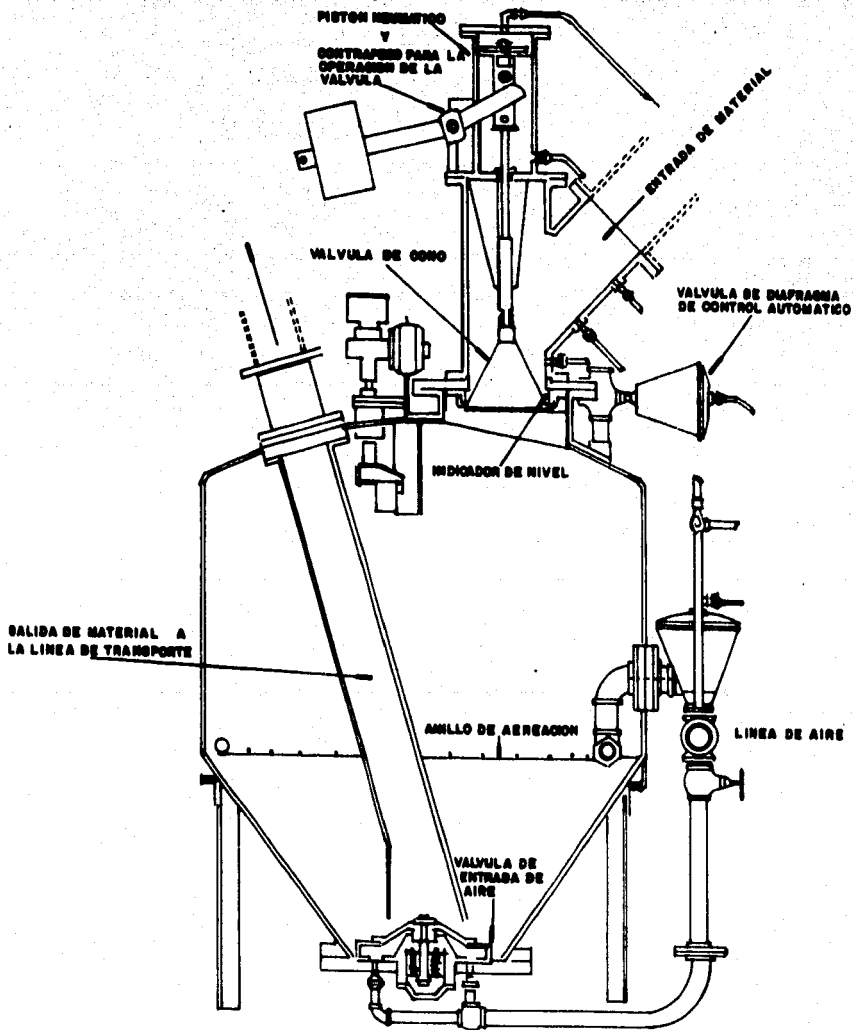
Dependiendo de la aplicación, los volúmenes de los tanques se encuentran en un rango desde 1 a 400 ft³, y, las presiones de descarga varían desde 10 a 125 psig; de lo cual se deduce la amplia versatilidad de estos sistemas.

Todo el material que entra al tanque debe suministrarse por gravedad, o por un sistema auxiliar de transportadores, dimensionados para llenar el tanque lo más rápidamente posible para reducir el tiempo de cada ciclo. Como en los anteriores sistemas de presión, la entrega de material puede hacerse a varios puntos de descarga.

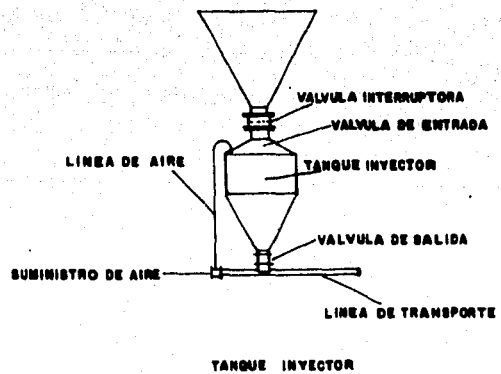
A diferencia de otros sistemas, en los tanques de inyección se pueden pesar los materiales que se van a transportar, montando el tanque en una báscula. Cuando el pesaje es muy costoso, se puede hacer un chequeo volumétrico muy aproximado, contando el número de ciclos descargados y estimando el nivel de trabajo en el tanque.

Sintetizando las principales ventajas de los sistemas de alta presión, tenemos: altas cargas de material; - mínimo consumo de aire; baja velocidad del aire, produciendo un desgaste mínimo; grandes distancias de transporte; etc.

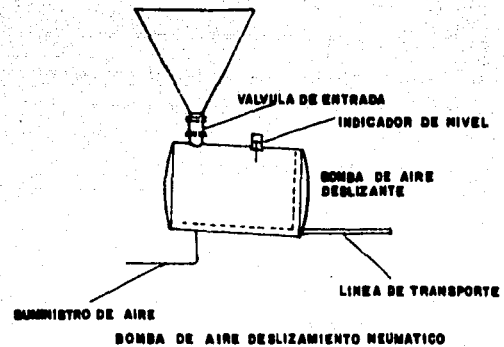
Como desventaja principal encontramos la necesidad de emplear transportadores de transferencia para alimentar el material a la tolva del tanque de inyección.



SISTEMA DE TANQUE DE INYECCION



ALIMENTACION POR TANQUE INYECTOR



ALIMENTACION POR BOMBA DE AIRE DESLIZAMIENTO NEUMATICO

2.3 SISTEMAS COMBINADOS PRESION-VACIO

Los sistemas combinados presión-vacío, se usan cuando se transporta material desde varios puntos de alimentación a varios puntos de descarga. Se usan también cuando es necesario el levantamiento por vacío y la descarga por presión. La trayectoria del sistema de presión puede ser de cualquier tipo: presión baja, media o alta, dependiendo de los materiales transportados y la distancia de transporte.

El sistema original presión-vacío usa un soplador de desplazamiento positivo como bomba de vacío y soplador. Este sistema, sin embargo, tiene un uso limitado, ya que la carga combinada de vacío y presión de un lado a otro del soplador, está limitada a la máxima presión diferencial permisible de esta máquina, la cual normalmente es de 12 psig.

Como el máximo vacío usado en ese trayecto del sistema es generalmente de 12 in de columna de mercurio (6 lb para propósitos prácticos), la presión máxima permisible, para el trayecto de presión, será de 6 psig. Si se requieren presiones mayores, el lado negativo del sistema deberá diseñarse para operar a vacíos

más bajos que 12 in Hg, para mantenerse dentro de la diferencial permisible de un lado a otro del soplador.

Para evitar esta restricción pueden separarse completamente las 2 trayectorias del sistema, quedando los sistemas de vacío y presión como entidades separadas, que estarán sin embargo interconectadas, para prevenir un mal funcionamiento de uno con respecto del otro. Como ya indicamos, en la trayectoria positiva de este sistema, pueden usarse presiones de cualquier tipo; comunmente se utilizan medias y bajas.

En la coordinación de estos sistemas separados de presión y vacío, hay un punto crítico de operación, localizado donde el material deja la zona de vacío y entra a la zona de presión. Supongamos que usamos un sistema de vacío y un sistema de baja presión con un alimentador rotatorio sujeto por la parte superior a un vacío y por su parte inferior a una presión. Supongamos también que el sistema de vacío opera a 12 in Hg y que el sistema de presión a 10 psig. A este vacío y esta presión, la diferencial de un lado a otro del alimentador totaliza 16 lb (-6psig -10 psig = 16 psig). Las fugas de la zona de presión a la de vacío, a través del alimentador, serán considerables y afectarán la cantidad de aire requerido, que será manejado por el agotador

o bomba de vacío (en el sistema negativo) y por el soplador (en el sistema positivo). Pero más importante que lo anterior, es el efecto de soplado de este aire de retorno, en el filtro recibidor. Si el material que se está transportando es ligero o -fluidizable, tenderá a adherirse al cono del filtro recibidor y no fluirá de la zona de vacío hacia las cavidades del alimentador, causando taponamiento en dicho filtro-recibidor. Si el material no fluye, el efecto de aire de soplado del alimentador -afectará la vida y eficiencia del medio filtrante del filtro-recibidor.

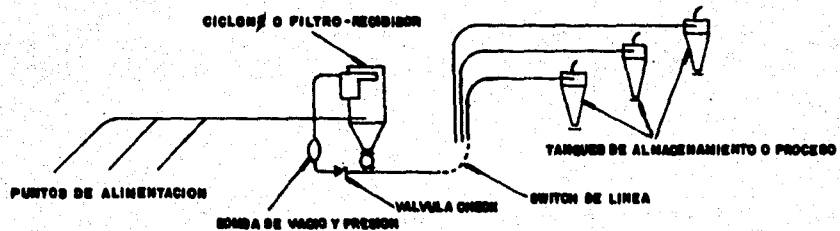
En el manejo de materiales de tamaño de partícula grande, este efecto de soplado puede ser disminuido instalando un deflector de ráfaga en la sección cónica del filtro-recibidor. Este deflector es un cono invertido colocado arriba de la salida del filtro-recibidor, pero con suficientes tolerancias entre sus -bordes y las paredes del cono para permitir la caída del material hacia la salida, (véase sig. figura a). Este deflector -deberá ser de construcción rígida y sus soportes deberán estar fuera del grueso de la corriente del material.

En el manejo de materiales finos, aereables y de flujo libre, el deflector además de proteger el medio filtrante servirá co-

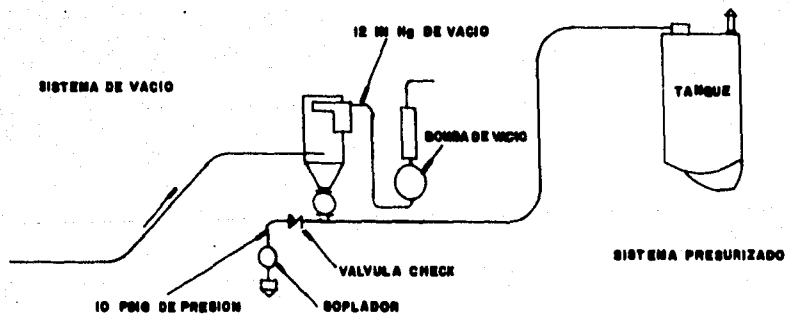
mo un accesorio para la formación y suspensión del material en el cono del filtro-recibidor. Para minimizar estas formaciones debe reducirse la presión diferencial en la salida del filtro-recibidor. El método más usual para lograr lo anterior, - consiste en usar 2 alimentadores rotatorios en serie. El alimentador superior deberá tener un desplazamiento volumétrico ligeramente mayor, que el colocado en la parte inferior (véase sig. fig. b), lo que se puede lograr elevando ligeramente la - velocidad del rotor. Ambos alimentadores deben operar en la - misma dirección.

Estos sistemas tienen las ventajas de los sistemas de vacío y de presión. Pueden efectuar simultáneamente un gran número de operaciones dentro de la industria: descarga, recuperación, - distribución, retorno, almacenamiento, carga, etc.

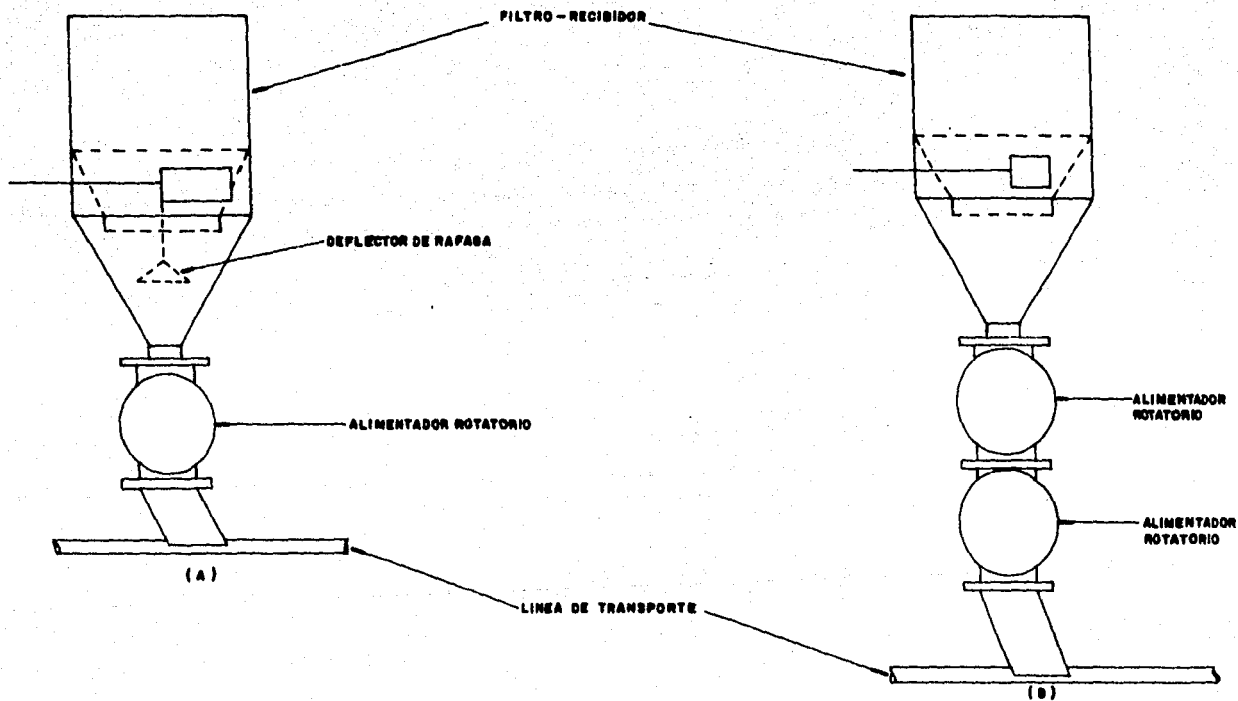
La principal desventaja que presentan, consiste en las fugas - hacia las zonas de vacío y presión en el punto crítico de inter conexión.



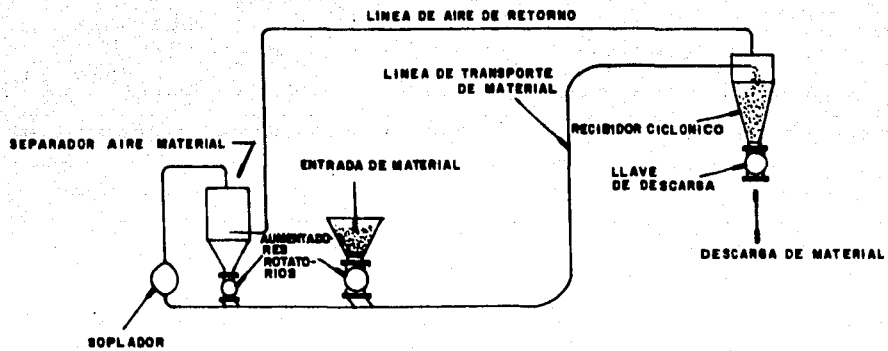
SISTEMA COMBINADO PRESION-VACIO CON UN SOPLADOR



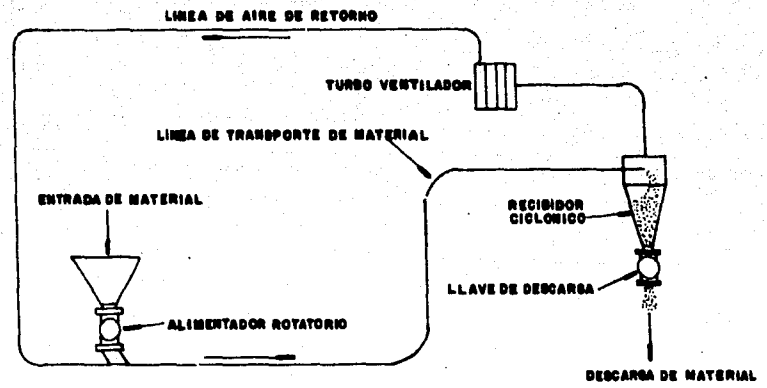
SISTEMA COMBINADO PRESION-VACIO CON SOPLADORES SEPARADOS



ALIMENTACION DE ZONAS DE VACIO A ZONAS PRESURIZADAS



SISTEMA DE CIRCUITO CERRADO



SISTEMA DE CIRCUITO CERRADO

Si bien este sistema no es un transportador neumático de acuerdo a la definición que de ellos tenemos, si puede incluirse como un miembro más de la familia. En un transportador neumático la fuerza motriz la suministra la energía producida por la expansión del aire. En un sistema de transporte por gravedad, la fuerza motriz es la fuerza de la gravedad. Normalmente el transporte por gravedad, se considera como la caída del material a través de un ducto inclinado, cuyo ángulo con la horizontal es mayor que el ángulo de reposo del material. También existe -- transporte por gravedad, al fluir material hacia una plataforma horizontal, hasta que el material se apila a un determinado punto, arriba del cual, el material empieza a fluir libremente por los costados de la pila. El punto en que el material empieza a deslizarse es el ángulo de reposo del material.

Todos los materiales, ya sean grandes o finamente divididos, -- tienen un ángulo definido de reposo, y para transportarlos a un ángulo mucho menor, hay que proporcionar cierta ayuda al material. La vibración es un método para abatir el ángulo de reposo del material y que éste fluya libremente hacia abajo. Otro método es la utilización del aire.

En el caso de los transportadores por aire activado, los requerimientos de aire, el ángulo de inclinación de la instalación e incluso la viabilidad de uso de este sistema, están en función de las características físicas del material a transportarse. El material debe ser seco y fluidizable y para ello tendrá un tamaño de partícula muy pequeño: el 40% del material deberá pasar a través de una malla No. 200. Bajo la influencia del aire el material fluirá buscando su nivel más bajo.

Los transportadores de aire activado constan de dos cámaras separadas por una membrana porosa; en la parte superior está el material y en la inferior el aire de fluidización.

Para determinar la viabilidad de operación de estos sistemas hay que efectuar pruebas a escala con el material a transportarse. El equipo de pruebas se compone de lo siguiente:

- a) Un transportador de aire activado con la característica de ser ajustable a varias pendientes: aproximadamente hasta 15° de la horizontal.
- b) Un transportador que indique claramente el ángulo con la horizontal.

- c) Un manómetro y un flujómetro para obtener las condiciones de transporte (requerimientos de aire).

El resultado de estas pruebas es la obtención de la pendiente mínima requerida, la pendiente óptima y las condiciones del aire (presión y volumen).

Este transportador, tiene también la habilidad de hacer cambios de dirección usando radios grandes y manteniendo siempre la misma pendiente.

Un diseño adecuado de estos sistemas comprende el estudio de las siguientes consideraciones:

- a) Tipo de Transportador.

Pueden ser abiertos o cerrados. Los transportadores abiertos tienen la cámara de material abierta de la forma que se muestra en la figura. El material se alimenta al transportador en la parte superior a través de una tolva. El aire se suministra por la parte inferior de la cámara de aire y fluye a través de la membrana porosa fluidizando el material, ocasionando que fluya libremente hasta la parte más baja del transportador.

En los transportadores de tipo cerrado, la cámara superior está cerrada y tiene venteo en la descarga, para separar el aire del material. En transportadores largos y en donde el material puede atascarse a la salida, debido a que el flujo excesivo de aire puede clasificar el material, es conveniente colocar venteos en la parte superior de la instalación. Este tipo de transportador se usa cuando se requiere evitar la contaminación del producto.

b) Medio Poroso.

La membrana porosa es el corazón de estos transportadores. La naturaleza del medio poroso determina la presión requerida para producir el flujo de aire a través de ella. El flujo de aire varía con la caída de presión que se produce al pasar al través de la membrana. El medio poroso debe proporcionar una distribución uniforme de aire sobre la superficie de transporte.

Las membranas porosas comercialmente disponibles están hechas a base de: algodón, algodón tratado con silicones, cerámicas hechas a base de óxido de aluminio, de carburo de silicio, etc.

La selección del medio poroso se basa generalmente en la uniformidad de la distribución del aire. A veces se basa en la resistencia a los ataques químicos. La permeabilidad de cualquier membrana varía con el tiempo, debido a la formación de polvos en la cara de la membrana por donde fluye el material.

Las lonas de algodón, o cualquier otro tipo de lonas, pueden tratarse para prevenir la formación de capas de material y evitar así los taponamientos de sus poros, así como la absorción de humedad. Tal tratamiento aumentará la vida de la lona y puede permitir que se lave con agua para limpiarla.

Los taponamientos en las membranas de cerámica se eliminan frotando el medio poroso con un material un poco más duro que él.

c) Suministro de Aire.

Los requerimientos de aire pueden variar desde 4 hasta 30 pulgadas de columna de agua de presión y desde 2 hasta 30 ft³ de aire por ft² de membrana. Estos requerimientos son suministrados por un ventilador o por un so

plador de desplazamiento positivo de baja presión. -

El aire debe inducirse al sistema filtrado y libre de humedad y aceite.

La cantidad de aire requerido por estos sistemas depende de: las características físicas del material; área seccional del transportador; profundidad de la capa de material; pendiente del transportador; densidad del material en el transportador; y, de la naturaleza del medio poroso.

El aire necesario puede suministrarse en cualquier punto a lo largo del transportador. El uso de una unidad central para varios transportadores, requiere de precauciones especiales para garantizar una distribución uniforme de aire a cada unidad. Un flujo excesivo de aire ocasiona que el material se clasifique en diferentes tamaños y provoque sobrecargas y atascamientos en el transportador.

La presión y flujo de aire, como ya se dijo anteriormente, se determinan mediante pruebas de laboratorio.

d) Pendiente del Transportador.

La pendiente de los transportadores de aire activado - se determina por pruebas de laboratorio y depende básicamente, para el caso de materiales fluidizables, de los siguientes factores: características de fluidización del material ; flujo del material; permeabilidad de la membrana porosa; y, de la altura disponible. El rango de pendiente para la mayoría de los materiales fluidizables es de 2 a 6 grados.

e) Cambios de Dirección.

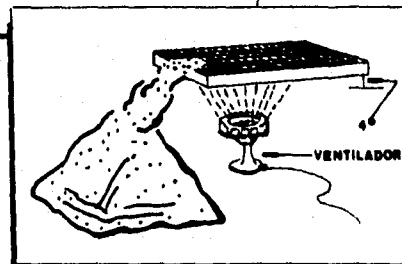
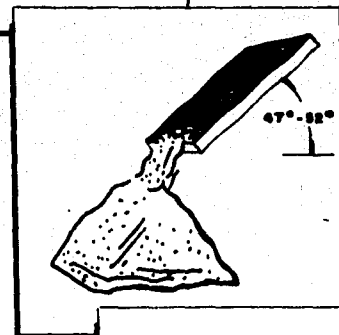
Los materiales pueden fluir por trayectorias que tengan curvas o ángulos. El uso de secciones curvadas, está generalmente limitado a transportadores de medios porosos de tela; y, los radios que se adoptan son de un mínimo de 6 ft y se mantiene la misma pendiente en toda la instalación.

f) Alimentación y Descarga del Material.

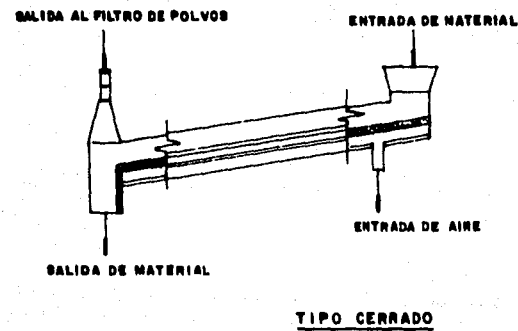
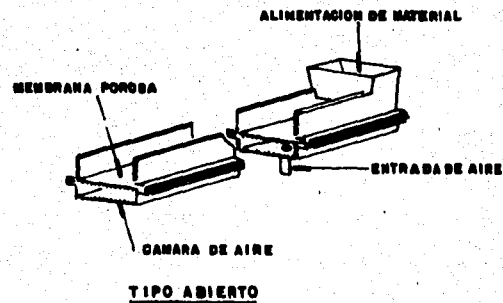
La alimentación se efectúa a través de compuertas reguladoras de flujo. La descarga puede incluir compuertas laterales a fin de descargar material, en caso de que - así se requiera, en puntos intermedios del transportador.

Estos transportadores además de utilizarse en operaciones de transporte hasta del orden de 5 000 ft (manteniendo la fluidización del material y la pendiente de la instalación); se utilizan también como aeradores en recipientes de almacenamiento. Esta operación consiste en descargar el material del recipiente y aerarlo para reducir las fricciones entre el material y las paredes internas del recipiente con el propósito de facilitar la descarga.

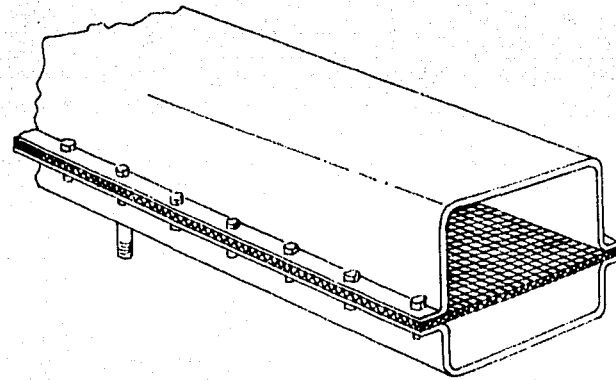
Entre las ventajas más importantes de los sistemas de transporte por aire activado se encuentran las siguientes: inmejorable simplicidad; no tiene partes móviles, tiene muy poco desgaste; funciona con requerimientos mínimos de potencia; gran facilidad de instalación, de operación y de mantenimiento; etc.



COMPORTAMIENTO DEL TRANSPORTE POR AIRE ACTIVADO



TRANSPORTADORES DE AIRE ACTIVADO



TRANSPORTADOR POR AIRE ACTIVADO

C A P I T U L O 3

DISEÑO DE TRANSPORTADORES NEUMATICOS

3. DISEÑO DE TRANSPORTADORES NEUMATICOS

3.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

El establecimiento de los datos fundamentales para la correcta evaluación de cada problema particular de transporte, es un requisito esencial para su diseño. Estos datos se pueden clasificar en:

- a) Características del Material a Transportarse
- b) Requerimientos funcionales del Sistema

a) Características del Material

i) Densidad del material.

La densidad del material debe conocerse bajo las siguientes cuatro clasificaciones: escanciado, compactado, almacenado y fluidizado.-

Lo anterior se debe a que el material se maneja en un sistema con diferentes densidades de acuerdo al segmento de operación en que se encuentre. Por ejemplo el material puede entrar al sistema en estado escanciado, pero cuando es descargado puede estar en estado fluidizado,

lo que significa que hay mayor masa en la descarga que en la entrada. La densidad del material afecta los volúmenes de silos y tolvas, capacidades de alimentación y los requerimientos de aire y de potencia.

ii) Tamaño de partícula.

El tamaño de partícula del material se puede clasificar como sigue:

Muy Fino - El material que pasa a través de una malla No. 100.

Fino - El material que pasa a través de una malla No. 6 ($\frac{1}{8}$ in)

Granular - El material que pasa a través de una malla de $\frac{1}{2}$ in.

Aterronado - Material con tamaño de partícula mayor que $\frac{1}{2}$ in en cualquier dirección.

Irregular - Materiales fibrosos o correosos.

El tamaño de partícula afecta: el tipo de sistema de transporte, los requerimientos de colección de polvos, las tolerancias de los alimentadores, los tipos de sellos en los puntos de presiones diferenciales, tipos de empaquetamiento y requerimientos de potencia.

iii) Contenido de Humedad.

Si el contenido de humedad rebasa cierto límite, 3% normalmente, la capacidad de transporte se ve reducida drásticamente, (15% por cada grado más de humedad). También debe conocerse si el material es higroscópico y en qué grado. En caso de que el material sea muy higroscópico de manera tal que se derrita, puede requerirse como medio de transporte aire seco u otro gas.

iv) PH del material.

Sirve para determinar la corrosividad del material, la cual permite determinar adecuadamente los materiales de construcción del transportador, así como el tipo de medio filtrante que debe usarse en los filtros-recibidores y en los dispositivos de retención de polvos.

v) **Naturaleza Explosiva o Combustible del Material.**
Algunos materiales pueden requerir como medio -
de transporte algún gas inerte, otros pueden re-
querir de metales y dispositivos especiales pa-
ra evitar las chispas dentro de los componentes
del sistema.

vi) **Fragilidad del material.**
Es necesario conocer qué tan frágil es un mate-
rial y en qué grado afecta su desgaste al uso -
final que se le dará. Muchos materiales se trans-
portan en forma de pastillas para facilitar su ma-
nejo, si se rompen se puede arruinar el material
en función del uso final que tendrá a la salida
del sistema. Lo anterior también sucede con al-
gunos granos. El factor más importante para que
estas pérdidas sean mínimas es el control de la
velocidad.

vii) **Abrasividad del material.**
El conocimiento de la abrasividad sirve para de-
terminar: el tipo de sistema de transporte, los -

materiales de construcción, el tipo de alimentadores, el tipo de sellos en los puntos de presión diferencial, el tipo de empaque de protección requerido y los requerimientos de potencia.

Usando la escala de Moh para dureza de materiales, éstos pueden clasificarse como sigue:

ESCALA DE MOH	CLASIFICACION
1	No Abrasivos
2	No Abrasivos
3	Ligeramente Abrasivos
4	Medianamente Abrasivos
5	Medianamente Abrasivos
6	Muy Abrasivos
7	Muy Abrasivos

viii) Características de Aereación y Deareación del material.

Afectan básicamente la selección de inductores de flujo en silos y tolvas, así como la selección de indicadores de nivel.

ix) Angulo de Reposo del material.

Se usa para determinar el diseño de tanques y tolvas.

x) Limitaciones de Temperatura del material.

La temperatura del material tiene que ver con: requerimientos de aislantes en los silos, aire de transporte de enfriamiento, colectores de polvos y tubería de transporte.

xi) Toxicidad.

Se usa para determinar el equipo de recolección de polvos y los inductores de flujo en silos y tolvas.

xii) Absorción de Olores.

Se usa para determinar la localización y tipo de los filtros del aire transportador.

b) **Requerimientos Funcionales del Sistema**

i) **Capacidad de Transporte.**

La velocidad a la cual deberá transportarse el material está en función del proceso que se trate y se puede derivar de la velocidad a la cual está elaborando el producto, vaciando o reabasteciendo un recipiente o extrayendo el material de desgaste.

Si la operación es continua el diseño del transportador será sencillo. Si la operación es intermitente deberá conocerse el volumen de cada 'BATCH' así como la frecuencia con que es descargado al transportador neumático, el cual deberá dimensionarse de tal manera que transporte completamente cada carga antes de aceptar la siguiente. En ambos casos la capacidad de transporte deberá diseñarse teniendo en cuenta un factor de seguridad que permita tolerancias por compensaciones extraordinarias al promedio máximo de transporte.

ii) Tipo de Construcción del Transportador.

El grado de rigidez de los materiales empleados en la construcción del transportador debe determinarse de acuerdo a las capacidades requeridas de transporte. Esta rigidez puede clasificarse como sigue:

HORARIO MAXIMO DE OPERACION	CLASIFICACION
20 Horas por semana	1
40 Horas por semana	2
80 Horas por semana	3
160 Horas por semana	4

iii) Origen del material.

Este dato permite determinar el tipo de alimentación del transportador. El material normalmente está en reposo cuando se encuentra en un silo, una tolva, una área de almacenamiento o algún tipo de vehículo de transporte (barco, carro de ferrocarril, camión, etc.); y está en movimiento cuando se descarga de algún equipo de proceso o de otro sistema de transporte a granel. Si el mate

rial es de flujo libre y tiene suficiente velocidad al salir de las tolvas o de los silos, - puede considerarse que está en movimiento. Si el material está en reposo, deben utilizarse - inductores de flujo para acelerar la caída del material a la línea de transporte; cuando está en movimiento se requiere de menor aceleración para facilitar su introducción al sistema, con lo cual se reducirán los requerimientos de potencia.

iv) Destino del material.

Se necesita conocer el número de puntos de descarga así como su localización para proceder - al diseño de la tubería.

v) Diseño de la trayectoria de la Tubería de Transporte.

Ya que se tienen los puntos de carga y descarga se traza el diseño de la trayectoria del - sistema, procurando que sea lo más recta posible. Las áreas de curvatura deben tener un -

radio entre 6 y 12 veces el diámetro de la lí
nea y entre un codo y otro es recomendable de
jar un intervalo de 40 veces el diámetro de -
dicho ducto.

vi) **Altura sobre el nivel.**

Este dato se requiere ya que las condiciones -
atmosféricas varían con respecto a la altura -
sobre el nivel del mar en que se encuentre el
transportador.

vii) **Medio Ambiente en que operará el equipo.**

Este factor se refiere al conocimiento de pol-
vos o gases peligrosos, elementos corrosivos, -
temperaturas altas o bajas que puedan afectar
el diseño del transportador y sus accesorios.

3.2 PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

Una vez que ha sido recopilada la información acerca de las características del material y los requerimientos funcionales del sistema se procede a determinar el tipo del transportador que se usará, así como sus requerimientos de aire y de potencia.

a) **Determinación del tipo de Sistema de Transporte.**

Se selecciona el tipo de transportador inicialmente en base al material que se transporta y a sus características y posteriormente en base a los requerimientos funcionales del sistema.

Para la determinación inicial del sistema a utilizarse se incluyen tres tablas del libro PNEUMATIC CONVEYING, de STOEES que deberán usarse simultáneamente: Tablas 3.2.1, 3.2.2. y 3.2.3.

Los requerimientos funcionales del sistema también influyen en la selección del tipo de transportador y pueden no coincidir con la determinación inicial. Los requerimientos funcionales que pueden afectar el tipo de sistema seleccionado son: cantidad de material a transportarse, longitud de la línea de transporte y el arreglo del

TAMAÑO DE PARTICULA	T I P O D E S I S T E M A					
	VACIO	PRESION BAJA	PRESION MEDIA	PRESION ALTA	PRESION VACIO	AIRE ACTIVADO
Aterronado o Irregular	X	X			X	
Granular	X	X		X	X	
Fino	X	X		X		
Muy Fino	X	X	X	X	X	X

TABLA 3.2.1 TIPO DE SISTEMA DE ACUERDO AL TAMAÑO DE PARTICULA

CARACTERIS- TICA DEL MATERIAL	T I P O D E S I S T E M A					
	VACIO	PRESION BAJA	PRESION MEDIA	PRESION ALTA	PRESION VACIO	AIRE ACTIVADO
No Abrasivo	X	X	X	X	X	X
Ligeramente Abrasivo	X	X	X	X	X	X
Medianamente Abrasivo	?	?	X	X		X
Muy Abrasivo			X	X		X
Higroscópico	X	X				?
Licuable	?	?	?	?	?	?
Combustible	X	X	X		X	X
PH (Acido)	X	X	X	X	X	X
PH (Alcalino)	X	X	X	X	X	X
Tóxico						
Frágil	X	X				X
Corrosivo	?	?	?	?	?	?
Termoplástico	X	X				
Explosivo	X	X	X			

TABLA 3.2.2 TIPO DE SISTEMA DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL

MATERIALES	T I P O D E S I S T E M A					
	VACIO	PRESION BAJA	PRESION MEDIA	PRESION ALTA	PRESION VACIO	AIRE ACTIVADO
Acetato de Celulosa	X	X				
Almidón	X	X	X		X	X
Alumbre	X	X				
Alumina en Polvo	X		X		X	X
Alumina Arenosa	X					X
Aluminio Hidratado	X		X			X
Arenas			X	X		X
Asbesto en Polvo	X					
Arroz en Grano	X	X				
Arroz en Polvo	X	X				X
Azúcar	X	X		X		X
Barita			X			X
Bauxita	X		X			X
Bentonita	X	X	X	X	X	X
Borax	X	X	X	X	?	
Cal Cristalizada	X	X				
Cal Deshidratada			X			X
Cal Hidratada	X	X	X	X	X	X
Caolin	X	X	X			X
Carbón Activado	X	X	X		X	X

T I P O D E S I S T E M A

MATERIALES	T I P O D E S I S T E M A					
	VACIO	PRESION BAJA	PRESION MEDIA	PRESION ALTA	PRESION VACIO	AIRE ACTIVADO
Carbón de Hulla			X	X		
Carbón Arenoso			X	X		
Carbonato de Calcio	X	X	X		X	X
Carbonato de Sodio	X	X				X
Catalizadores	X		X			
Cemento Crudo			X			X
Cemento Portland			X	X		X
Cenizas			X			X
Cereales	X	X				
Ceras Sólidas	X	X				X
Cocke	X	X				
Detergentes	X	X	X			X
Diatomeas	X	X	X		X	X
Dolomita			X	X		X
Feldes-Pato	X		X			X
Fluorita			X			X
Fosfato de Calcio			X			
Fosfato de Sodio	X	X	X			X
Galactita	X	X	X			X
Grafito	X	X				
Granos	X	X				

MATERIALES	T I P O D E S I S T E M A					
	VACIO	PRESION BAJA	PRESION MEDIA	PRESION ALTA	PRESION VACIO	AIRE ACTIVADO
Hule Granulado	X	X				
Ingredientes Alimenticios	X	X				
Ingredientes de Jabones	X	X	?			?
Leche en Polvo	X	X				
Madera en Astillas		X				
Madera en Harina	X	X				
Malta	X	X				
Minerales en Polvo			X	X		X
Oxido de Aluminio			X	X		X
Oxido de Arsenico	X	X				
Oxido de Magnesio	X	X	X			X
Oxido de Zinc	X	X	X			X
Pirita			X	X		X
Polietileno Granulado	X	X			X	
Pulpas Secas	X					
Resinas	X	X			X	X
Sal	X	X				
Semillas	X	X				
Semolinhas	X	X				X

MATERIALES	T I P O D E S I S T E M A					
	VACIO	PRESION BAJA	PRESION MEDIA	PRESION ALTA	PRESION VACIO	AIRE ACTIVADO
Silice			X			X
Sulfato de Sodio	X	X				X
Sulfito de Sodio	X	X				
Talco	X	X	X		X	X
Trigo en Polvo	X	X				X

TABLA 3. 2. 3. TIPO DE SISTEMA DE ACUERDO AL MATERIAL

sistema; y, su evaluación se realiza en base a consideraciones derivadas de experiencias previas.

b) **Determinación de los Requerimientos de Aire y de Potencia.**

El diseño mediante fórmulas empíricas está limitado a sistemas en fase diluida (vacío y baja presión). La base del diseño en sistemas de fase densa (presión media y alta) es la experiencia en el manejo de materiales similares, sobre distancias comparables y a capacidades de transporte semejantes.

Los sistemas de vacío operan a presiones negativas hasta de 12 pulgadas de columna de Mercurio. A presiones negativas mayores que ésta, el aire pierde sus características de choque y transporte.

Los sistemas de presión baja operan a presiones de hasta 12 psig. Hasta esta presión las características de choque y transporte del aire pueden predecirse eficientemente.

Existen varios métodos para el diseño de transportadores en fase diluida, nosotros estudiaremos el propuesto

to por Stoess y que se basa en los siguientes 2 factores:

- * Saturación ft^3 de aire requeridos para -- transportar una lb de material.
hp/ton Potencia requerida para transportar 2 000 lb de material en una hora.

* La saturación también es frecuente que se maneje como lb de material transportado por ft^3 de aire. Utilizaremos la sat. en ft^3 de aire/lb de material, debido a que las tablas que aplicaremos están calculadas sobre esta base.

i) Diseño de Sistema de Vacío.

El diseño de sistemas de vacío que estudiaremos se basa en la saturación de los materiales y la potencia requerida para el transporte, estos datos han sido determinados experimentalmente con diferentes materiales a condiciones estandar y a varias longitudes de tubería; y, se encuentran anotados en la tabla 3.2.4. Los datos anotados en dicha tabla, incluyen pérdi-

das de aire en las válvulas de descarga y en el separador, así como una curvatura de 120° por cada 100 ft de tubería. Los datos están calculados para sistemas de descarga que usan como dispositivo de alimentación una boquilla que se conecta a la tubería estacionaria por medio de una manguera metálica flexible con superficies internas suaves. Para diámetros de tubería de 5 in se usan mangueras de 5 pulgadas y para acelerar un poco el material es conveniente incrementar la velocidad recomendada del aire en un 10%. Para diámetros de tubería de 6 pulgadas, se usan mangueras de 5 pulgadas. Para tuberías de 7 pulgadas, mangueras de 6 pulgadas. Para tuberías de 8 pulgadas pueden usarse dos mangueras de 5 pulgadas o una de 7 pulgadas. Para diámetros mayores, el área seccional de la manguera deberá ser 10% ó 15% menor que el área seccional del ducto.

Cuando se manejan materiales abrasivos se usan mangueras de hule reforzado. Como el hule tiene una resistencia friccional mayor que la del

metal, su velocidad de transporte será menor en un 40% aproximadamente cuando la longitud de la manguera sea de 25 ó 30 ft.

Al estudiar los factores de saturación y de potencia se ha encontrado que cuando la relación potencia/saturación es baja, el vacío de operación del sistema también es bajo; y, que cuando la relación es alta, el vacío de operación también es alto. Esta relación también muestra que entre más denso sea el flujo de transporte (más material por ft^3 de aire), mayor será el vacío de operación.

Con todos los elementos anteriores procederemos a indicar el procedimiento, paso por paso propuesto por Stoess para el diseño de sistemas de vacío.

Procedimiento Práctico para el Diseño de Sistemas De Vacío.

1. Cálculo de la Saturación del Sistema

(ft³ aire std/lb de material), y el Factor de Potencia (hp requeridos/ton material).

Con el material y la distancia de transporte se obtiene de la tabla 3.2.4 de saturación para sistemas de vacío, la saturación (ft³ aire std/lb de material transportado por minuto) y el factor de potencia hp/ton (Potencia requerida para transportar 2 000 lb en una hora).

Los datos de saturación tabulados son para 4, 5 y 6 pulgadas de diámetro interno de tubería. Como las resistencias por fricción varían no sólo con la velocidad sino también con el diámetro de la tubería, cuando la capacidad de transporte requerida de diámetros mayores deben usarse saturaciones ligeramente más bajas. Para diámetros de 8 pulgadas la saturación y la potencia deben reducirse en un 15%. Para diámetros de 10 y 12 pulgadas la saturación debe reducirse en 25% y 35% respectivamente. Los factores de potencia que deben utilizarse con estas 2 satura

M A T E R I A L	PESO POR FT ³	D I S T A N C I A D E T R A N S P O R T A C I O N								V E L O C I D A D FT/SEG
		100 FT		150 FT		250 FT		400 FT		
		SAT.	HP/T	SAT.	HP/T	SAT.	HP/T	SAT.	HP/T	
Acetato de Celulosa	22	3.2	4.7	3.5	5.1	3.8	5.7	4.1	6.0	100
Alumbre	50	3.6	4.5	3.9	5.0	4.3	5.7	4.7	6.3	110
Alumina	60	2.4	4.0	2.8	4.7	3.4	5.7	4.0	6.4	105
Alimentos Ingredientes	20-40	3.0	4.2	3.4	4.5	3.7	5.0	4.2	5.5	110
Almidón Polvo	40	1.7	3.0	2.0	3.4	2.6	4.0	3.4	5.0	90
Arcilla Aereada	30	3.3	4.5	3.5	5.0	3.9	5.5	4.2	6.0	105
Arcilla Húmeda	40-50	3.5	5.0	3.8	5.6	4.2	6.5	4.5	7.2	115
Arcilla Seca	60	3.4	4.7	3.6	5.2	4.0	6.2	4.4	7.1	110
Avena	25	2.3	3.0	2.6	3.5	3.0	4.4	3.4	5.2	100
Azúcar Granulada	50	3.0	3.7	3.2	4.0	3.4	5.2	3.9	6.0	110
Cal Hidratada	30	2.1	3.3	2.4	3.9	2.8	4.7	3.4	6.0	90
Cal en Trozos	56	2.8	3.8	3.0	4.0	3.4	4.7	3.9	5.4	105
Café en Granos	42	1.2	2.0	1.6	3.0	2.1	3.5	2.4	4.2	75
Carbonato de Calcio	25-30	3.1	4.2	3.6	5.0	3.9	5.5	4.2	6.0	110
Carbonato de Sodio	35	3.1	4.2	3.6	5.0	3.9	5.5	4.2	6.0	110

M A T E R I A L	PESO POR FT ³	D I S T A N C I A D E T R A N S P O R T A C I O N								V E L O C I D A D FT/SEG
		100 FT		150 FT		250 FT		400 FT		
		SAT.	HP/T	SAT.	HP/T	SAT.	HP/T	SAT.	HP/T	
Fosfato Trisódico	65	3.1	4.2	3.6	5.0	3.9	5.5	4.2	6.0	110
Hule Granulado	40	2.9	4.2	3.5	5.0	4.0	6.0	4.5	7.2	110
Harina de Madera	12-20	2.5	3.5	2.8	4.0	3.4	4.9	4.4	6.5	100
Maíz Hojuelas	45	1.9	2.5	2.1	2.9	2.4	3.6	2.8	4.3	105
Maíz Molido	33	1.7	2.5	2.2	3.0	2.9	4.0	3.5	4.8	100
Malta	28	1.8	2.5	2.0	2.8	2.3	3.4	2.8	4.2	100
Polietileno Granulado	30	1.2	2.0	1.6	3.0	2.1	3.5	2.4	4.2	80
Sal Aterronada	90	4.0	6.5	4.2	6.8	4.6	7.5	5.0	8.5	120
Trigo en Granos	48	1.9	2.5	2.1	2.9	2.4	3.6	2.8	4.3	105
Trigo en Harina	40	1.5	3.0	1.7	3.3	2.0	3.7	2.5	4.4	90

TABLA 3.2.4 SATURACIONES PARA EL SISTEMA DE TIPO VACIO

ciones son complicados de determinar, por lo cual estos sistemas deberán diseñarse para un vacío de operación de 12 pulgadas de columna de mercurio.

Para distancias de transporte de 550 ft el factor de saturación indicado para 400 ft de berá incrementarse en 17%; para 700 ft, 30%, para 850 ft, 41%; y, para 1 000 ft, 50% .

Estos factores de saturación pueden sufrir correcciones adicionales dependiendo del tipo de alimentación al sistema. Los factores que aparecen en la tabla son para materiales en reposo. Cuando la alimentación es inducida o el material está en movimiento al entrar al sistema, la saturación puede reducirse de 10% a 15%, dependiendo de la velocidad y tipo de flujo del material. Si existe alguna duda con respecto al movimiento del material, es recomendable no hacer correcciones por este concepto.

Para una determinación preliminar del diá-

metro de la tubería puede asumirse que los diámetros de 4, 5 y 6 pulgadas pueden manejar capacidades de transporte hasta de 12 ton/hr; los diámetros de 8 pulgadas hasta de 25 ton/hr y los diámetros de 10 pulgadas hasta de 40 ton/hr.

2. Volumen de Aire (ft^3/min a condiciones estándar)

El volumen de aire libre requerido por el sistema se calcula multiplicando la saturación obtenida en el paso 1 por la capacidad de transporte (lb/min).

Vol de Aire = Saturación x Capacidad de Transporte

$$\text{ft}^3/\text{min} = (\text{ft}^3 \text{ aire}/\text{lb material}) (\text{lb material}/\text{min})$$

$$Q = \text{Sat} \quad \times \quad W$$

3. Diámetro de Tubería

Se calcula inicialmente la constante del ducto, la cual está dada por la relación:

$$\text{cte. tubería} = Q/V$$

V = Vel del Aire en la Tubería (ft/seg)

Posteriormente se busca en tablas de constantes de tubería el valor del diámetro.-

En la siguiente tabla se encuentran las constantes para varios diámetros:

DIAMETRO DEL DUCTO (in)	CEDULA	CONSTANTE DEL DUCTO			
		5	10	30	40
3		3.6	3.5		3.07
3 1/2		4.8	4.6		4.05
4		6.1	5.9		5.3
5		9.4	9.2		8.4
6		13.5	13.2		12.0
7					16.0
8		23.2	22.7	21.3	
10				34.0	
12				47.8	

TABLA 3. 2. 5

CONSTANTES DE TUBERIA

Si la constante del ducto cae entre 2 diámetros, se debe usar el diámetro mayor y recalcular el gasto de aire Q en función de la constante de tubería seleccionada.

Cuando el diámetro de la línea sea mayor de 12 pulgadas, puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Diámetro} = \sqrt{(4/\pi) (Q \times 144) / (V \times 60)}$$

$$\text{in} = \sqrt{\frac{\text{FT}^3}{\text{MIN}} \frac{144 \text{ IN}^2}{\text{FT}^2} / \frac{\text{FT}}{\text{SEG}} \frac{60 \text{ SEG}}{\text{MIN}}}$$

4. Vacío de Operación del Sistema.

Se calcula inicialmente el factor de vacío dividiendo la potencia entre la saturación del sistema.

$$\text{Factor de Vacío} = (\text{hp/ton}) / \text{Saturación}$$

- Si el factor de vacío es menor que 1.3; -
el vacío de operación será: 8 in de columna de Mercurio.
- Si el factor de vacío está entre 1.3 y 1.4; -
el vacío de operación será: 9 in de columna de Mercurio.
- Si el factor de vacío está entre 1.4 y 1.5; -
el vacío de operación será: 10 in de columna de Mercurio.

- Si el factor de vacío está entre 1.5 y 1.6; el vacío de operación será: 11 in de columna de Mercurio.
- Si el factor de vacío es mayor que 1.6; el vacío de operación será: 12 in de columna de mercurio.

5. Ajuste al Volumen de Aire

Es la cantidad de aire a las condiciones de entrada al soplador el cual se utiliza en sistemas negativos como bomba de vacío y está dado por:

$$Q_{\text{ Soplador}} = \frac{Q \times 29.92 \text{ IN Hg}}{29.92 \text{ IN Hg} - \text{VACIO DE OPERACION}}$$

6. Selección del Soplador

Con el gasto de aire corregido y el vacío de operación se selecciona el soplador que activará el sistema. Lo anterior se hace consultando los catálogos de los comerciantes. Es conveniente que el soplador seleccionado trabaje a un 85% de su máxima velocidad de operación recomendada a fin de que en el momento de arrancar el sistema, pueda elevarse la

velocidad sin rebasar la máxima permisible. En la selección del soplador deberá también tomarse en cuenta el grado de rigidez de la operación (véase sub inciso ii del inciso b Requerimientos funcionales del sistema del punto 3.1).

7. Velocidad del Soplador (R.P.M.)

$$V \text{ Soplador (R.P.M.)} = \frac{Q}{\text{Desplazamiento del Soplador}} + \text{Tolerancia de deslizamiento.}$$

El desplazamiento del soplador y la tolerancia de deslizamiento son factores determinados por los fabricantes de sopladores y se encuentran tabulados en sus catálogos correspondientes.

Si esta velocidad es mayor que el 85% de la velocidad máxima recomendada, deberá seleccionarse el tamaño de soplador inmediatamente superior.

8. Potencia.

La potencia requerida para impulsar el soplador se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$hp = V \text{ Soplador} \times \text{desplazamiento del soplador} \times \frac{\text{vacío de operación}}{2} \times 0.005$$

Para determinar aproximadamente los requerimientos de potencia puede usarse la siguiente fórmula:

$$hp \text{ (aproximados)} = Q \text{ Soplador} \times 1.2 \times \frac{\text{vacío}}{2} \times 0.005$$

Todos los cálculos anteriores son para condiciones estándar de presión y temperatura, por lo que cuando cambien estas condiciones deberá corregirse el volumen de aire requerido por el sistema determinado en el paso 2. El efecto de choque del aire a alturas diferentes sobre el nivel del más está dado por:

Efecto de choque del aire = Presión absoluta de la altitud/
14.7 psi.

Este factor de corrección indica como debe incrementarse el gasto de aire libre - para obtener el volumen de aire requerido a la altura sobre el nivel del mar en que se tenga la instalación.

El factor de corrección de altitud también debe aplicarse al deslizamiento del soplador cuando se determina su velocidad.

En la siguiente tabla se indican diferentes altitudes sobre el nivel del mar, sus presiones absolutas y los factores de corrección.

ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR (ft)	PRESION ABSOLUTA (psi)	PRESION ABSOLUTA EN (in Hg)	FACTOR DE CORRECCION DE ALTITUD
0	14.69	29.92	1.00
1000	14.16	28.86	1.02
2000	13.66	27.82	1.04
3000	13.16	26.81	1.055
4000	12.68	25.84	1.08
5000	12.22	24.89	1.095
6000	11.77	23.98	1.12
7000	11.33	23.09	1.14
8000	10.91	22.22	1.16
9000	10.50	21.38	1.18
10000	10.10	20.58	1.20
11000	9.71	19.75	1.23
12000	9.34	19.03	1.25
13000	8.97	18.29	1.28
14000	8.62	17.57	1.30
15000	8.28	16.88	1.33

TABLA 3.2.6. PRESIONES ATMOSFERICAS Y FACTORES DE CORRECCION A VARIAS ALTITUDES.

ii) **Diseño de Sistemas de Presión Baja.**

El diseño de sistemas presurizados que estudia remos, al igual que en sistemas de vacío, se basa en los factores de saturación y potencia determinados experimentalmente y que están contenidos en la tabla 3.2.7.

La presión de operación frecuentemente está limitada por la facilidad del dispositivo alimentador para introducir el material a la línea de transporte. Una alimentación uniforme requerirá una cierta presión y velocidad, mientras que una alimentación intermitente para el mismo volumen de material requerirá: una mayor velocidad para acelerar el material, una presión igual o inferior y un diámetro de tubería mayor.

Estas variaciones pueden ser analizadas sólo en base a experiencias previas con materiales similares, los fabricantes de equipo de transporte neumático tienen diferentes guías para calcular el diámetro de la tubería, los reque-

rimientos de aire y la potencia del sistema en forma más apropiada, debido al conocimiento - que van obteniendo con cada nueva instalación.

El siguiente procedimiento nos permite diseñar sistemas de presión baja, pero hay que considerar que pueden existir algunas desviaciones que sólo pueden ser previstas cuando han sido observadas en sistemas semejantes.

Procedimiento Práctico para el Diseño de Sistemas De Presión Baja.

1. Cálculo de la Saturación del Sistema ---
(ft³ Aire Std/lb Material), y el factor de potencia (hp requeridos/ton Material).

De la tabla 3.2.7. de Saturación para Sistemas de Presión Baja se determinan la Saturación y el factor de potencia.

Los datos contenidos en la tabla 3.2.7. son para diámetros de tubería de 4, 5 y 6 pul-

gadas. Como la resistencia por fricción -
 varía no sólo con la velocidad sino también
 con el diámetro de la tubería, los diáme-
 tros grandes pueden manejar un flujo denso
 a cierta velocidad y presión, mientras que
 un diámetro pequeño a la misma velocidad y
 presión manejará un flujo menos denso. --
 Por lo anterior, nos basaremos para el di-
 seño en un grupo de factores y las peque-
 ñas discrepancias se resolverán con cálcu-
 los adicionales.

2. Volumen de Aire (ft^3/min a condiciones es-
 tandard)

El volumen de aire libre requerido por el
 sistema se calcula multiplicando la Satura
 ción obtenida en el paso 1 por la capaci-
 dad de transporte (lb/min).

Vol.de Aire= Saturación x Capacidad de -
 Transporte.

$$\text{ft}^3/\text{min} = (\text{ft}^3 \text{ aire}/\text{lb material})$$

$$(\text{lb material} / \text{min})$$

$$Q = \text{Sat} \quad \times \quad X$$

3. Presión de Operación del Sistema

La presión de Operación del Sistema se obtiene multiplicando el factor de potencia por el factor de presión que aparece en la tabla 3.2.7 para el material transportado.

$$\text{Presión de Operación (psig)} = (\text{hp/ton}) \\ (\text{factor de presión})$$

4. Ajuste al Volumen de Aire

Es la cantidad de aire en las condiciones del punto de alimentación y se calcula así:

$$Q \text{ Soplador} = \frac{Q \times 14.7 \text{ Psi.}}{14.7 + \text{Presión de Operación (psig)}}$$

5. Diámetro de Tubería.

Se calcula inicialmente la constante del ducto, la cual está dada por la relación:

$$\text{cte. de Tubería} = Q/V.$$

V = Velocidad del aire en la tubería
(ft/seg)

Posteriormente se busca en la tabla 3.2.5 el valor del diámetro para esa constante.

Hasta aquí se ha determinado el gasto real de aire, la presión de operación del sistema y el diámetro de la tubería. Para seleccionar adecuadamente el soplador deben tomarse en cuenta las pérdidas de aire a través del mecanismo de alimentación.

Las válvulas de compuertas con compuertas de sello hermético, pasarán a través de ellas el volumen de un compartimiento de la válvula multiplicado por el número de veces por minuto que ésta descarga material a la línea de transporte.

Los alimentadores rotatorios no sólo tienen como pérdida de aire las correspondientes al desplazamiento volumétrico multiplicado por el número de revoluciones por mi-

nuto a que el rotor opera, sino también las pérdidas que se tienen por las fugas entre el rotor y el cuerpo de alimentador. Estas pérdidas de aire varían para cada tipo de construcción que se utilice por cada fabricante. Un buen factor de diseño es considerar estas fugas del orden del 30%.

6. Fugas en el Alimentador Rotatorio
(Aire a condiciones reales)

Las fugas en el alimentador rotatorio se calculan en ft^3/min de aire real multiplicando el desplazamiento volumétrico por las revoluciones por minuto del rotor y por 1.3

Fugas en el alimentador (aire real) = desplazamiento volumétrico x RPM x 1.3

7. Fugas en Alimentador Rotatorio (Aire a condiciones estandard)

Como el aire en el punto del sistema donde

opera el alimentador es igual o ligeramente mayor que la presión de operación del sistema, debe calcularse el aire a condiciones estándar requerido a la entrada del soplador.

$$\begin{aligned} \text{Fugas en el Alimentador (Aire estándar)} &= \\ \text{Fugas en el alimentador (Aire Real)} &\times \frac{(14.7 + \text{presión de operación})}{14.7} \end{aligned}$$

8. Requerimientos de liberación de aire del Soplador.

El aire que deberá liberar el soplador es la suma total del aire requerido por el sistema (calculado en el paso 2) y las fugas del alimentador en condiciones estándar.

$$Q_{\text{Soplador}} = Q + \text{Fugas en el Alimentador.}$$

9. Selección del Soplador.

Con el gasto del Soplador (Determinado en el paso 8) y la presión de operación (calcula

da en el paso 3) pueden consultarse los -
catálogos de los fabricantes y seleccio-
narse el soplador, teniendo en cuenta que
es conveniente que opere a 85% de la --
máxima velocidad de operación recomendada.
En la selección del soplador deberá tam-
bién tomarse en cuenta el grado de rigidez
de la operación (véase sub inciso ii del
inciso b requerimientos funcionales del -
sistema del punto 3.1)

10. Velocidad del Soplador.

La velocidad se calcula como sigue:

$$V \text{ Soplador (RPM)} = \frac{Q \text{ Soplador}}{\text{Desplazamiento del Soplador}} + \text{Tolerancia de deslizamiento.}$$

Los datos de desplazamiento del soplador y
tolerancia de deslizamiento pueden obtener
se de los catálogos de los fabricantes de
sopladores.

Si esta velocidad del soplador es mayor que
el 85% de la velocidad máxima recomendada

deberá seleccionarse el tamaño de soplador inmediatamente superior.

11. Potencia.

La potencia necesaria para impulsar el soplador se puede obtener de los catálogos de los fabricantes o mediante la siguiente fórmula:

$$hp = V \text{ Soplador} \times \text{desplazamiento del soplador} \times \text{presión de operación (psig)} \times 0.005.$$

En la aplicación del procedimiento anterior, puede llegarse a una situación en la que la presión de operación determinada de la tabla de saturación se considere muy alta por la habilidad del alimentador para inducir el material en la línea de transporte, o porque la presión diferencial siendo tan alta no puede soportarla el alimentador.

En tales casos puede reducirse la presión de operación incrementándose el dato de -

saturación de la tabla 3.2.7. lo cual resultará en más ft^3 de aire en el sistema. Con este incremento en el volumen de aire deberá incrementarse también el diámetro de la tubería para mantener la velocidad adecuada y reducir la resistencia por fricciones que permitirá la operación a la presión reducida. Las velocidades que se recomiendan en la tabla de saturación deben mantenerse sin importar cual sea la presión de operación (contenida en el rango de 6 a 12 psig).

M A T E R I A L	PESO POR FT3	FACTOR DE PRESION	D I S T A N C I A D E T R A N S P O R T A C I O N						V E L O C I D A D FT/SEG
			100 FT		250 FT		400 FT		
			SAT	HP/T	SAT	HP/T	SAT	HP/T	
Acetato de Celulosa	22	3.0	1.4	2.8	1.7	3.4	1.9	3.6	55
Alumbre	50	4.0	1.6	2.7	2.0	3.4	2.2	3.8	65
Alumina	60	5.0	1.1	2.4	1.6	3.4	1.9	3.9	60
Alimentos Ingredientes	20-40	3.8	1.3	2.5	1.7	3.1	1.9	3.7	70
Almidón	40	3.0	0.8	1.7	1.1	2.4	1.5	3.0	55
Arcilla Aereada	30	4.0	1.5	2.7	1.8	3.3	1.9	3.6	50
Arcilla Humeda	40-50	4.5	1.6	3.0	1.9	3.9	2.1	4.4	60
Arcilla Seca	60	4.3	1.5	2.8	1.8	3.7	2.0	4.3	55
Avena	25	5.0	1.0	1.8	1.4	2.6	1.6	3.1	55
Azúcar Granulada	50	5.0	1.4	2.2	1.6	3.1	1.7	3.6	60
Cal Hidratada	25-30	4.0	0.6	1.8	0.8	2.2	0.9	2.6	40
Cal en Trozos	56	5.0	1.3	2.3	1.6	2.8	1.8	3.3	70
Café en Granos	42	5.0	0.6	1.2	0.9	2.1	1.1	2.5	45
Carbonato de Calcio	25-30	3.5	1.4	2.5	1.8	3.3	2.0	3.6	65

M A T E R I A L	PESO POR FT ³	FACTOR DE PRESION	DISTANCIA DE TRANSPORTACION						VELOCIDAD FT/SEG
			100 SAT	FT HP/T	250 SAT	FT HP/T	400 SAT	FT HP/T	
Carbonato de Sodio	35	5.0	1.4	2.5	1.8	3.3	1.9	3.6	65
Fosfato Trisódico	65	4.5	1.4	2.5	1.8	3.3	1.9	3.6	75
Maíz de Hojuelas	45	5.0	0.9	1.5	1.1	2.2	1.3	2.6	55
Maíz Molido	33	3.5	0.8	1.5	1.3	2.4	1.6	2.9	70
Malta	28	5.0	0.8	1.5	1.1	2.0	1.3	2.5	55
Polietileno Granulado	30	5.0	0.55	1.2	0.9	2.1	1.1	2.5	70
Sal Aterronada	90	5.0	2.9	3.9	3.5	4.5	4.0	5.1	83
Trigo en Granos	48	5.0	0.9	1.5	1.1	2.1	1.3	2.6	55
Trigo en Harina	40	2.5	0.7	1.8	0.9	2.2	1.1	2.7	35

TABLA 3.2.7.

SATURACIONES PARA EL SISTEMA DE TIPO DE BAJA PRESION

Atm.	Kg/cm ²	Lb/in ²	a 0°C.			a 15°C.			Lb/ft ²
			COLUMNAS DE MERCURIO			COLUMNAS DE AGUA			
			m	in	m m	m	in	ft	
0.9869	1.097	14.50	0.7500	29.53	750.062	10.21	401.8	33.48	2088.55
0.9678	1.0	14.22	0.7355	28.96	735.559	10.01	394.05	32.84	2048.16
0.06804	0.07031	1.0	0.05171	2.036	51.7147	0.7037	27.70	2.309	144
0.9450	0.9765	13.89	0.7182	28.28	718.26	9.773	384.8	32.06	2000
1.0	1.0332	14.696	0.76	29.92	760	10.34	407.14	33.93	2116.2
1.316	1.3596	19.34	1.0	39.37	1000	13.61	535.7	44.64	2784.5
0.03342	0.03453	0.4912	0.02540	1.0	25.400	0.3456	13.61	1.134	70.7266
0.0967	0.09991	1.421	0.07349	2.893	73.4898	1.0	39.37	3.281	204.633
0.002456	0.002538	0.0361	0.001867	0.07349	1.867	0.02540	1.0	0.08333	5.19768
0.02947	0.03045	0.4332	0.0224	0.8819	22.3997	0.3048	12	1.0	62.3722

TABLA 3.2.8 TABLA DE EQUIVALENCIAS DE PRESIONES

C A P I T U L O 4

CALCULO DE TRANSPORTADORES NEUMATICOS

4. CALCULO DE TRANSPORTADORES NEUMATICOS

De acuerdo a los procedimientos de diseño expuestos en el Capítulo anterior, resolveremos dos problemas de sistemas neumáticos en fase diluida, uno de vacío y otro de presión baja.

4.1 CALCULO DE UN SISTEMA DE VACIO

A una planta de cemento llega diariamente un carro de ferrocarril con 60 toneladas de cal. El tamaño de partícula de los guijarros de cal es de 1/4 in y menores, teniendo una densidad a granel de 56 lb/ft³. El tanque de almacenamiento se encuentra horizontalmente a 100 ft del punto de descarga. Diseñar un sistema que opere 8 hrs. diarias, libere oportunamente el material al tanque de almacenamiento.

Solución:

- a) Determinación del Tipo de Sistema a utilizar
Analizando las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y, teniendo en cuenta que el transporte desde carros a un solo punto de descarga, lo mejor es un sistema de vacío: se opta por éste.

Después de decidir este tipo se hace necesario instalar un filtro receptor en el domo del silo, el cual queda a una distancia del suelo de 70 ft.

b) Requerimientos de Aire y de Potencia

$$L = (100 + 70) \text{ ft} = 170 \text{ ft}$$

$$\text{Cap. de Transporte} = 60 \frac{\text{ton}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ hrs.}} = 7.5 \frac{\text{ton}}{\text{Hora}} = 15\,000 \frac{\text{lb}}{\text{Hr}}$$

1. Cálculo de la Saturación y el Factor de Potencia

De la tabla 3.2.4 interpolando para 170 ft tenemos

$$\text{Sat} = 3.1 \text{ ft}^3 \text{ Aire/lb de Cal}$$

Fac. de Potencia = 4.2 H.P. Requeridos para transportar 2 000 lb de Cal

$$\text{Vel. del Aire} = 105 \text{ ft/seg.}$$

Para una capacidad de 15 000 lb/Hr seleccionaremos inicialmente un diámetro de 5 in. Corregiremos la saturación disminuyéndola en un 10% debido a que el flujo de la cal se considera con movimiento lento.

$$\text{Sat. Corregida} = 3.1 \times 3.1 (0.10) = 2.89 \text{ ft}^3 \text{ aire/lb de Cal.}$$

2. Cálculo del Aire estandard requerido por el Sistema

$$\text{Aire (Std)} = 2.89 \text{ ft}^3 \text{ Aire/lb de Cal} \times 15\,000 \frac{\text{lb de Cal}}{60 \text{ min}} =$$
$$722.5 \text{ ft}^3 \text{ Aire/min}$$

3. Diámetro de la Tubería

$$\text{Cte. de Tubería} = \frac{722.5}{105} = 6.88$$

El valor de la Cte. de Tubería para un diámetro de 5 in cédula 40, de acuerdo a la tabla 3.2.5, es igual a 8.4; por lo cual seleccionaremos el diámetro de 5 in y ajustaremos el volumen de aire y la saturación que utilizaremos.

$$\text{Aire (Std) corregido} = 8.4 (105) = 882 \text{ ft}^3/\text{min}$$

La saturación para este volumen de aire será

$$\text{Sat corregida} = 882/250 = 3.53$$

4. Vacío de Operación

$$\text{Factor de Vacío} = \frac{4.2}{3.53} = 1.19$$

Para este factor de vacío la presión de operación será 8 in de columna de Mercurio.

5. Aire en la entrada del Soplador

$$\frac{882 \text{ ft}^3/\text{min} \times 29.92 \text{ in Hg}}{29.92 \text{ in Hg} - 8 \text{ in Hg}} = 1204 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

6. Selección del Soplador

Con el vacío de operación del sistema y con el aire a la entrada del soplador consultamos la tabla 4.1 y obtenemos:

$$\text{Vacío de Operación} = 8 \text{ in Hg} \times \frac{14.7 \text{ lb/in}^2}{29.92 \text{ in Hg}} = 3.93 = 4\text{Psi}$$

$$\text{Aire a la entrada del Soplador} = 1204 \text{ ft}^3/\text{min}$$

TIPO	FT ³ /MIN	DESPLAZAMIENTO	R.P.M.	POTENCIA	H.P.
71b	1320	1.2	1250	28.4	
8mb	1215	1.04	1310	25.8	

TABLA 4.1 CAPACIDADES Y POTENCIAS DE SOPLADORES

(CONDICIONES DE ENTRADAS AL SOPLADOR: 14.7 PSIA Y 70° F)

TIPO	DESPLAZAMIENTO FT ³ /REV	RPM	0.5 PSI		1. PSI		2. PSI		3. PSI		4. PSI	
			CFM	HP	CFM	HP	CFM	HP	CFM	HP	CFM	HP
2 LB	.035	1900	55	0.4	50	0.5	43	0.8	38	1.1	34	1.5
		2540	77	0.4	73	0.6	66	1.0	61	1.5	56	1.9
		3175	100	0.5	95	0.7	88	1.3	83	1.8	79	2.3
		3810	122	0.5	117	0.8	110	1.5	105	2.1	101	2.7
3 LB	.104	1500	135	0.6	127	0.9	115	1.7	106	2.4	98	3.2
		2000	187	0.7	179	1.2	167	2.2	158	3.2	150	4.1
		2500	239	0.8	231	1.4	219	2.7	210	3.9	202	5.1
		3000	291	0.9	283	1.7	271	3.2	262	4.6	254	5.9
4 LB	.170	1300	194	0.7	183	1.2	167	2.3	155	3.3	145	4.4
		1750	270	0.9	259	1.6	243	3.0	231	4.4	221	5.6
		2180	344	1.1	332	2.0	317	3.7	304	5.3	294	7.0
		2620	418	1.3	407	2.3	391	4.4	379	6.3	369	8.4
5 LB	.350	1050	335	1.1	322	1.9	303	3.7	289	5.2	277	7.0
		1400	458	1.4	445	2.5	426	4.8	411	7.0	399	9.3
		1750	580	1.7	567	3.1	548	5.8	534	8.7	522	11.6
		2100	703	1.9	690	3.7	671	7.0	656	10.5	644	13.9
6 LB	.718	850	576	1.7	554	3.2	524	6.0	500	8.9	480	11.9
		1170	788	2.2	766	4.2	736	8.0	712	11.9	692	15.9
		1460	996	2.7	974	5.2	944	9.9	920	14.9	901	19.9
		1750	1204	3.2	1183	6.0	1152	11.9	1129	17.9	1109	23.8
7 LB	1.20	750	836	2.3	810	4.5	773	8.5	744	12.8	720	17.1
		1000	1136	3.0	1110	5.7	1073	11.4	1044	17.1	1020	22.8
		1250	1436	3.8	1410	7.1	1373	14.2	1344	21.3	1320	28.4
		1500	1736	4.5	1710	8.5	1673	17.1	1644	25.6	1620	34.1
8 LB	1.74	650	1049	2.9	1015	5.4	966	10.7	929	16.1	898	21.4
		875	1440	3.8	1406	7.2	1358	14.4	1321	21.6	1290	28.9
		1090	1814	4.7	1780	9.0	1732	18.0	1695	27.0	1664	36.0
		1310	2197	5.4	2163	10.8	2115	21.6	2078	32.4	2046	43.2

TABLA 4.1 CAPACIDADES Y POTENCIAS DE SOPLADORES
(CONDICIONES DE ENTRADAS AL SOPLADOR: 14.7 PSIA y 70° F)

TIPO	DESPLAZAMIENTO FT ³ /REV	RPM	3 PSI		4 PSI		5 PSI		6 PSI		7 PSI	
			CFM	HP	CFM	HP	CFM	HP	CFM	HP	CFM	HP
2 MB	.017	1900	17	.6	14	.7	12	.9	-	-	-	-
		2540	28	.7	25	.9	23	1.1	21	1.3	19	1.5
		3175	38	.9	36	1.1	34	1.4	32	1.6	30	1.9
		3810	49	1.0	47	1.3	45	1.6	43	1.9	41	2.2
3 MB	.060	1500	56	1.4	51	1.8	46	2.2	42	2.7	38	3.1
		2000	86	1.8	81	2.4	76	2.9	72	3.5	68	4.1
		2500	116	2.2	111	2.9	106	3.7	102	4.4	98	5.1
		3000	146	2.7	141	3.5	136	4.4	132	5.1	128	6.0
4 MB	.117	1300	103	2.3	96	3.0	89	3.7	83	4.4	78	5.0
		1750	156	3.0	148	4.0	142	5.0	136	5.8	130	6.8
		2180	206	3.7	199	4.9	192	6.0	186	7.3	181	8.5
		2620	258	4.5	250	5.8	244	7.3	238	8.7	232	10.2
5 MB	.210	1050	168	3.2	160	4.3	153	5.2	146	6.3	141	7.3
		1400	242	4.3	234	5.6	226	7.0	220	8.4	214	9.8
		1750	315	5.2	307	7.0	300	8.7	293	10.5	288	12.2
		2100	389	6.3	381	8.4	373	10.5	367	12.5	361	14.6
6 MB	.383	875	261	4.9	249	6.4	239	7.9	230	9.5	222	11.1
		1170	374	6.4	362	8.5	352	10.6	343	12.7	335	14.9
		1460	485	8.0	473	10.6	463	13.3	454	15.9	446	18.6
		1750	596	9.5	585	12.7	574	15.9	565	19.1	557	22.2
7 MB	.733	750	452	7.8	437	10.4	424	13.0	412	15.6	401	18.2
		1000	635	10.4	620	13.9	607	17.4	595	20.8	584	24.3
		1250	819	13.0	803	17.4	790	21.7	778	26.1	767	30.4
		1500	1002	15.6	987	20.8	973	26.1	961	31.3	950	36.5
8 MB	1.04	650	548	9.6	528	12.8	511	16.0	495	19.2	481	22.4
		875	782	12.9	762	17.3	745	21.6	729	25.9	715	30.2
		1090	1006	16.1	986	21.5	969	26.9	953	32.2	938	37.6
		1310	1235	19.4	1215	25.8	1197	32.3	1182	38.7	1167	45.2

TABLA 4.1 CAPACIDADES Y POTENCIAS DE SOPLADORES
 (CONDICIONES DE ENTRADAS AL SOPLADOR: 14.7 PSIA Y 70° F)

TIPO	DESPLAZAMIENTO FT ³ /REV	RPM	7 PSI		8 PSI		9 PSI		10 PSI		12 PSI	
			CFM	HP	CFM	HP	CFM	HP	CFM	HP	CFM	HP
3 HB	.045	1500	28	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-
		2000	50	3.0	47	3.4	45	3.8	-	-	-	-
		2500	73	3.7	70	4.3	67	4.8	65	5.3	-	-
		3000	95	4.5	92	5.1	90	5.8	87	6.4	83	7.7
4 HB	.069	1300	40	3.0	37	3.4	-	-	-	-	-	-
		1750	72	4.0	68	4.6	65	5.2	62	5.7	-	-
		2180	101	5.0	98	5.7	95	6.4	92	7.1	-	-
		2620	132	6.0	128	6.9	125	7.7	122	8.6	116	10.3
5 HB	.140	1050	89	4.9	85	5.6	82	6.3	78	7.0	-	-
		1400	138	6.5	134	7.4	131	8.4	127	9.3	120	11.1
		1750	187	8.1	183	9.3	180	10.5	176	11.6	169	13.9
		2100	236	9.8	232	11.1	229	12.5	225	13.9	218	16.7
6 HB	.227	875	123	6.6	118	7.5	113	8.5	108	9.4	-	-
		1170	190	8.8	185	10.1	180	11.3	175	12.6	167	15.1
		1460	256	11.0	251	12.6	246	14.1	241	15.7	232	18.9
		1750	322	13.2	316	15.1	312	16.9	307	18.8	298	22.6
7 HB	.367	750	188	9.1	182	10.4	176	11.7	171	13.0	-	-
		1000	280	12.2	274	13.9	268	15.7	263	17.4	253	20.9
		1250	371	15.2	365	17.4	360	19.6	354	21.7	344	26.1
		1500	463	18.3	457	20.9	451	23.5	446	26.1	436	31.3
8 HB	.566	650	247	12.2	238	14.0	230	15.7	223	17.4	-	-
		875	371	16.4	366	18.8	358	21.1	350	23.5	337	28.2
		1090	496	20.5	487	23.4	480	26.3	472	29.2	458	35.1
		1310	620	24.6	612	28.1	605	31.6	597	35.1	583	42.2

Atendiendo a la recomendación de operar el soplador al 85% de la velocidad máxima recomendada:

TIPO	RPM (MAXIMA)	RPM (REQUERIDA)
7lb	1250	$1204/1.2 = 1003.3$
8mb	1310	$1204/1.04 = 1157.7$

Vel. de Operación $1003.3 \div 0.85 = 1180$ R.P.M.

del Soplador: $1157.7 \div 0.85 = 1362$ R.P.M.

Por lo cual debe utilizarse el soplador tipo 7 lb - con una capacidad de $1320 \text{ ft}^3/\text{min}$ y con un requerimiento de potencia de:

$$\text{H.P.} = 1180 \text{ RPM} \times 1.2 \frac{\text{ft}^3}{\text{Rev}} \times \frac{8}{2} \times 0.005 = 28.3$$

4.2 Cálculo de un Sistema de Baja Presión

Diseñar un sistema para transportar, de un tanque de almacenamiento a varias tolvas de procesamiento, $15\ 000 \text{ lb/Hr}$ de almidón pulverizaa

do, con una densidad de 40 lb/ft^3 . La distancia horizontal es de 400 ft y la elevación vertical de 50 ft.

a) **Determinación del Tipo de Sistema.**

Teniendo en cuenta que es un sistema que tiene un punto de origen con varios de destino optaremos por el tipo de transportador de baja presión.

Para alimentar el material utilizaremos un dispositivo volumétrico que descargará el material en una tolva de compensación que lo liberará a un alimentador rotatorio para ser inducido a la línea de transporte.

b) **Requerimientos de Aire y de Potencia**

$$L = (400 + 50) \text{ ft} = 450 \text{ ft}$$

$$\text{Cap. de Transporte} = 15\ 000 \text{ lb/hora}$$

1. **Determinación de la Saturación y el Factor de Potencia.**

De la Tabla 3.2.7. interpolando para 450 ft tenemos

Sat = 1.6 ft³ de Aire/lb de Almidón

Factor de Potencia = 3.2 HP requeridos para transportar 1 ton. de Almidón en una hora.

Velocidad de Aire = 55 ft/seg

Factor de Presión = 3.0

2. Volumen de Aire requerido por el Sistema.

$$\text{Aire (Std)} = 1.6 \frac{\text{ft}^3 \text{ Aire}}{\text{Almidón}} \times 15\,000 \frac{\text{lb Almidón}}{60 \text{ min}} = 400 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

3. Presión de Operación.

$$\text{Presión de Operación (psig)} = 3.2 \times 3.0 = 9.6 \text{ psig}$$

4. Volumen de Aire en la Alimentación.

$$400 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \times \frac{14.7}{14.7+9.6} = 242 \frac{\text{ft}^3 \text{ Aire}}{\text{min}}$$

5. Diámetro de Tubería.

$$\text{Cte. de Tubería} = \frac{242}{55} = 4.4$$

Este valor es un poco mayor que el de 4.0 que aparece en la tabla 3.2.5 para cédula 40. Por tanto usaremos un diámetro de 3 1/2 in.

Al usar un dispositivo volumétrico y tolvas de compensación para alimentar el almidón al alimentador rotatorio se reduce su densidad, la cual es en estado de almacenamiento de 40 lb/ft³. Suponiendo que la densidad en estado aereado del almidón es de 32 lb/ft³ para calcular la capacidad del alimentador tenemos:

$$250 \frac{\text{lb de almidón}}{\text{min}} / 32 \frac{\text{lb almidón}}{\text{ft}^3} = 7.81 \frac{\text{ft}^3 \text{ de almidón}}{\text{min}}$$

Esta es la cantidad de almidón que el alimentador rotatorio deberá liberar a la línea de transporte. Por lo anterior debemos utilizar un alimentador que soporte una presión diferencial de 9.6 psig y que operando a una eficiencia de un 75% descargue 7.8 $\frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$ de almidón a la línea de transporte.

$$7.8 \frac{\text{ft}^3 \text{ de Almidón}}{\text{min}} \div 0.75 = 10.5 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Suponiendo que hayamos seleccionado un alimentador con una capacidad volumétrica de $0.7 \text{ ft}^3/\text{Revolución}$ del rotor; el rotor debe girar a:

$$10.5 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \div 0.7 \frac{\text{ft}^3}{\text{Rev}} = 15 \text{ R.P.M.}$$

Por lo que las fugas en el alimentador serán:

6. Fugas en el Alimentador

$$0.7 \frac{\text{ft}^3}{\text{Rev}} \times 15 \text{ R.P.M.} \times 1.30 = 13.7 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \text{ Aire}$$

7. Ajuste del Volumen de Fugas en el Alimentador.

Como el aire, en el punto de sistema donde opera el alimentador, puede ser de presión un poco mayor que la de operación, se deben calcular los ft^3/min de aire requeridos en la entrada del soplador.

$$13.7 \frac{\text{ft}^3 \text{ aire}}{\text{min}} \times \frac{(14.7 + 96)}{14.7} = 22.65 \frac{\text{ft}^3 \text{ aire}}{\text{min}}$$

8. Requerimientos de liberación de aire por el soplador.

Es la suma total del aire requerido para el sistema y

las fugas en el alimentador medidas a la salida del soplador.

$$\frac{\text{ft}^3 \text{ Aire}}{\text{min}} \text{ en el Soplador} = (400 + 22.65) \frac{\text{ft}^3 \text{ Aire}}{\text{min}} = 423 \frac{\text{ft}^3 \text{ Aire}}{\text{min}}$$

9. Selección del Soplador

Con $423 \frac{\text{ft}^3 \text{ de Aire}}{\text{min}}$ y 9.6 psig consultamos la tabla 4.1 y preseleccionamos los siguientes sopladores:

TIPO	FT ³ /MIN	DESPLAZAMIENTO (FT ³ /REV)	R.P.M.	POTENCIA
7 HB	446	0.367	1 500	26.1
8 HB	472	0.566	1 090	29.2

Atendiendo a la recomendación de operar el soplador al 85% de la velocidad máxima recomendada

TIPO	RPM (MAXIMA)	RPM (REQUERIDA)
7 HB	1 500	$423/0.367 = 1152.6$
8 HB	1 090	$423/0.566 = 747.$

Vel. de Operación $1152.6 \div 0.85 = 1356$ RPM

del Soplador: $746 \div 0.85 = 879$ RPM

En este caso pueden usarse cualquiera de estos 2 -
sopladores. La selección final puede depender de
la potencia que requerirá cada uno.

10. Potencia del Soplador.

$$7 \text{ HB HP} = 1152.6 \times 0.367 \times 9.6 \times 0.005 = 20.3 \text{ H.P.}$$

$$8 \text{ HB HP} = 746 \times 0.566 \times 9.6 \times 0.005 = 20.2 \text{ H.P.}$$

Teniendo en cuenta que en ambos casos se requiere de
un motor con la misma potencia, puede seleccionarse
cualquiera de los 2 sopladores.

C A P I T U L O 5

DESCRIPCION DEL EQUIPO

5. DESCRIPCION DEL EQUIPO

En este capítulo se estudian los diferentes componentes de los sistemas neumáticos de transporte, así como los factores que afectan su diseño y selección.

5.1 ALIMENTADORES ROTATORIOS

Los principales dispositivos para alimentar o descargar material de un sistema neumático, son los alimentadores rotatorios. Consisten básicamente en un rotor, montado sobre una flecha, - con cavidades formadas por aspas radiales. Su funcionamiento es simple, el material entra a las cavidades del rotor por la parte superior, éste gira y descarga los sólidos por la parte inferior.

En el diseño de alimentadores rotatorios es necesario considerar:

- a) Las características de los sólidos a manejarse: tamaño de partícula, forma de partícula, temperatura, susceptibilidad a la humedad, fragilidad, abrasividad y densidad. La densidad que se requiere conocer

en este caso es la que tendrá a la entrada del alimentador.

- b) Presión diferencial en el alimentador. Es necesaria, para que la flecha y el rotor, sean diseñados de tal manera que la deflección debido a esta presión diferencial, no obstruya el giro del rotor; lo cual podría ocurrir por la estrecha tolerancia entre éste y el cuerpo del alimentador.

- c) Servicio de operación. Es necesario conocer el servicio que proporcionará el alimentador, que puede ser - como alimentador volumétrico o como sello de presión, pues las tolerancias axiales y radiales entre el rotor y el cuerpo del alimentador son distintas para cada caso.

La parte básica del alimentador es el rotor y puede tener muchas variaciones en su diseño, en función del tipo de operación a que será sometido.

Los rotores se pueden clasificar en:

- a) Rotores Abiertos
- b) Rotores Cerrados.

- a) Rotores Abiertos.

Estos rotores tienen paletas radiales con los extremos abiertos y se usan para presiones diferenciales de hasta 10 psig. El número de paletas se determina por la cantidad de sellado requerida entre el rotor y el cuerpo. El mínimo número de paletas es normalmente de 6, localizadas de tal manera que 2 aspas sellen la entrada del alimentador y 2 la salida. Para capacidad máxima deben usarse cavidades profundas. Cuando se agregan más paletas al rotor se originan problemas en función directa de su número, pues al estrecharse la garganta de las cavidades, los sólidos encuentran dificultad para entrar y salir de ellas. La utilización de cavidades poco profundas elimina esta dificultad, pero se reduce la capacidad volumétrica del rotor.

Cuando se manejan materiales pegajosos, las superficies del rotor pueden ser cubiertas con teflón, con lo cual se obtiene un grado de textura, debido al bajo coeficiente de fricción del teflón, que permite a casi to-

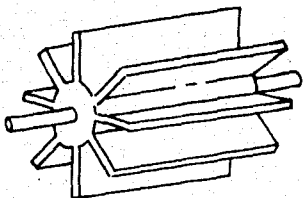
dos los sólidos pegajosos caer libremente.

Para elevar los sellos de presión, los rotores pueden estar equipados con conteras ajustables elastómeras o metálicas. Estas conteras son colocadas en los bordes de las aspas. Para bajas presiones diferenciales (1 a 2 psig) se utilizan conteras elastómeras. Para presiones diferenciales mayores se usan las conteras metálicas. La utilización de conteras elastómeras y metálicas, reduce el desgaste de los rotores, con materiales medianamente abrasivos y abrasivos respectivamente; sin embargo no reduce el desgaste del cuerpo del alimentador, por lo cual es recomendable en estos casos que la caja del alimentador sea del metal más resistente a la abrasión.

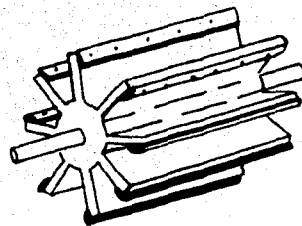
b) Rotores Cerrados.

Estos rotores tienen aspas radiales con los extremos cerrados, con la cual se tiene un diseño de rotor con mayor resistencia a la distorsión que se presenta con diferenciales de presión altas. Se utilizan generalmente cuando se manejan materiales abrasivos, pues debido a los extremos cerrados se reduce el desgaste entre el

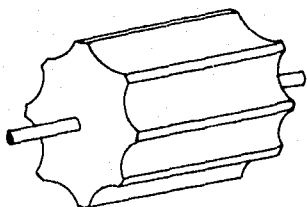
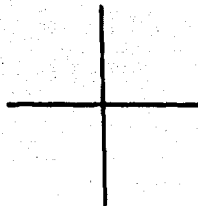
ROTORES



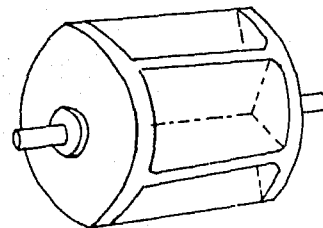
ROTOR ABIERTO CON CAVIDADES PROFUNDAS



**ROTOR ABIERTO CON CONTERAS
(ELASTOMERAS O METALICAS)**



ROTOR ABIERTO CON CAVIDADES POCO PROFUNDAS



ROTOR CERRADO

rotor y las placas terminales de el cuerpo del alimentador; y, se utilizan también cuando se tienen presiones diferenciales hasta de 15 psig.

El diseño de los cuerpos de los alimentadores requiere, además del conocimiento de las características de los materiales a manejarse, del estudio del segmento del sistema en que va a utilizarse.

Los tipos de cajas más comunes son:

- a) Alimentadores Rotatorios de caída vertical
(Drop-Through)
- b) Alimentadores Rotatorios de Caja Venteada
- c) Alimentadores Rotatorios de Soplo Horizontal
(Blow-Through)
- d) Alimentadores Rotatorios por Arrastre de Aire
(Air-Swept)

- a) Alimentadores Rotatorios de Caída Vertical

Este alimentador es el que se conoce comunmente como -
alimentador rotatorio. La entrada y la salida de material pueden tener sección cuadrada, rectangular o re-

donda. Se usan como sellos de aire en la descarga de filtros-recibidores y recibidores ciclónicos en sistemas de vacío; y, como sellos de aire y alimentadores volumétricos en la alimentación de sólidos a sistemas de presión y de vacío. Como sello de aire en la descarga de filtros-recibidores y recibidores ciclónicos deberá tener una entrada de material redonda para mantener la configuración circular de la sección cónica a la cual se fija. Como alimentadores y sellos de aire en la alimentación de materiales a sistemas de presión y de vacío cualquier forma de cuerpo puede usarse, pero el rotor, en cualquier caso, debe tener una posición normal con respecto a la línea central del ducto de transporte.

b) Alimentador Rotatorio de Caja Venteada

Este alimentador tiene como diferencia, con respecto del anterior un venteo ubicado entre la entrada y la salida de sólidos. Este venteo tiene como finalidad desplazar el aire de las cavidades del rotor, el cual podría obstruir la entrada de sólidos. Para evitar contaminaciones a la atmósfera, este venteo se conecta a la entrada de la tolva alimentadora.

c) **Alimentadores Rotatorios de Soplo Horizontal**

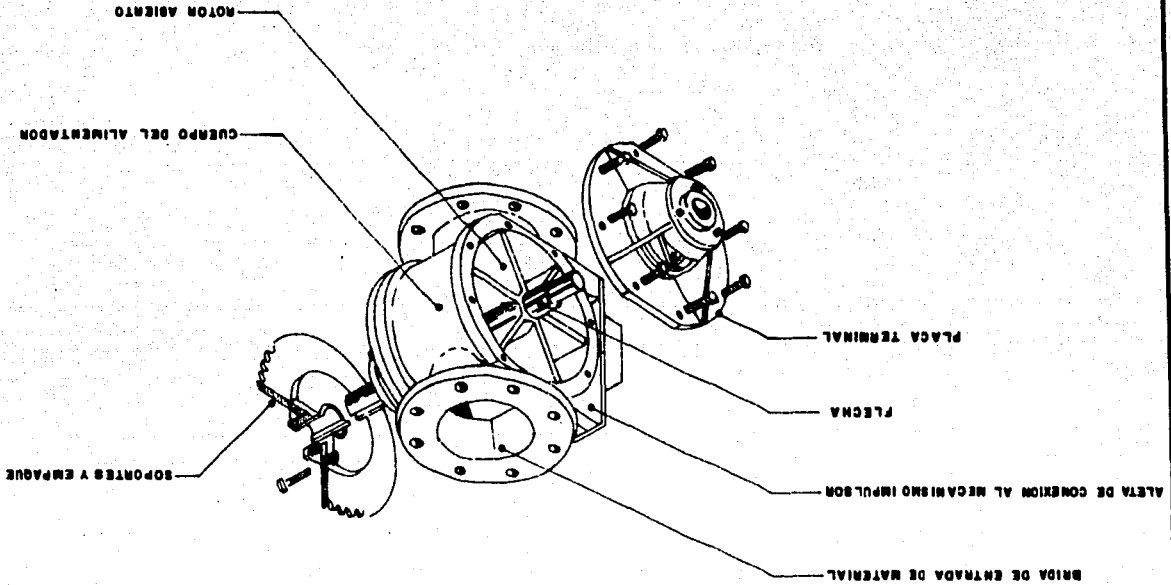
Este alimentador se usa solamente para materiales de flujo libre, finamente divididos y que no sean abrasivos, en sistemas de baja presión. El material entra al rotor por la entrada superior y al girar el rotor y llegar a la parte inferior, los sólidos son empujados hacia afuera del rotor por la corriente transportadora. En estos alimentadores se tiene buen mezclado de aire-material. El cuerpo del alimentador se considera, en este caso, como una parte integral de la tubería de transporte.

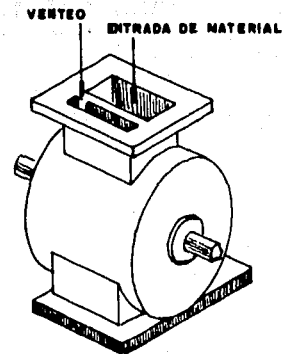
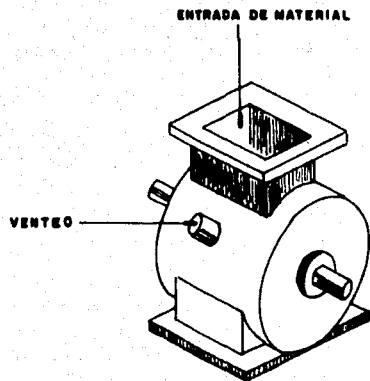
d) **Alimentador Rotatorio por Arrastre de Aire**

Este alimentador al igual que el anterior se usa para sistemas de baja presión, pero tiene la ventaja de manejar además de materiales finamente divididos, de flujo libre y que no sean abrasivos; materiales granulares, que no se pueden manejar con el alimentador de soplo horizontal debido a la gran turbulencia que ocasionaría la recirculación de sólidos. Este alimentador también usa el aire de transporte para mezclarlo en las cavidades del rotor pero la descarga se efectúa no sólo por la acción del aire, sino también, por la acción de la gravedad. Aquí el aire entra por las placas terminales

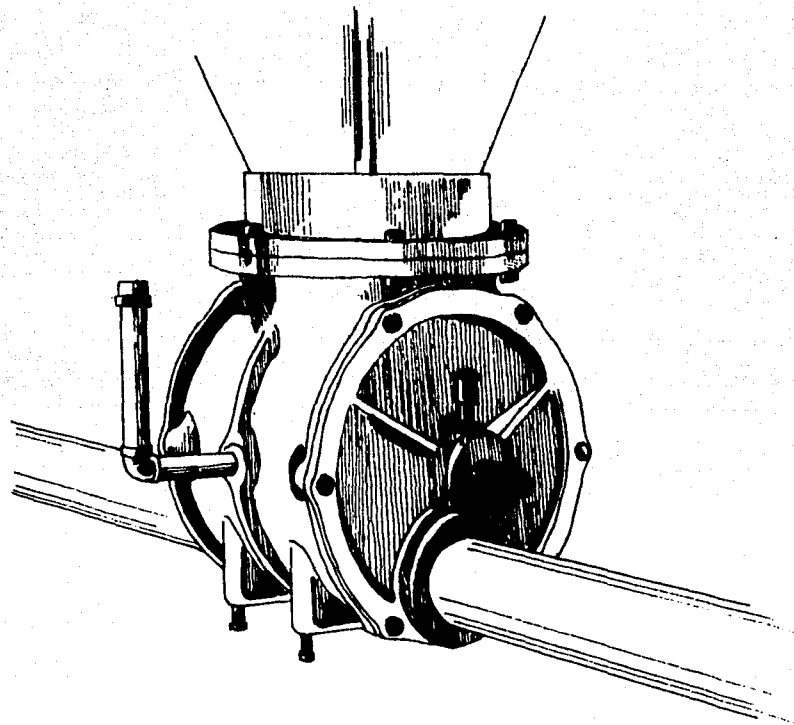
del alimentador y la entrada al rotor está ubicada -
cerca del punto de descarga de las cavidades. La do-
ble acción de este aire sobre las bolsas del rotor, -
permite un buen mezclado aire-material facilitando la
descarga; por otra parte, evita que el material entre
en contacto con los soportes de la flecha, desgastán-
dolos. Este alimentador rotatorio es el que tiene la
mayor eficiencia volumétrica de cuantos hemos estudia
do.

ALIMENTADOR ROTATORIO STANDARD

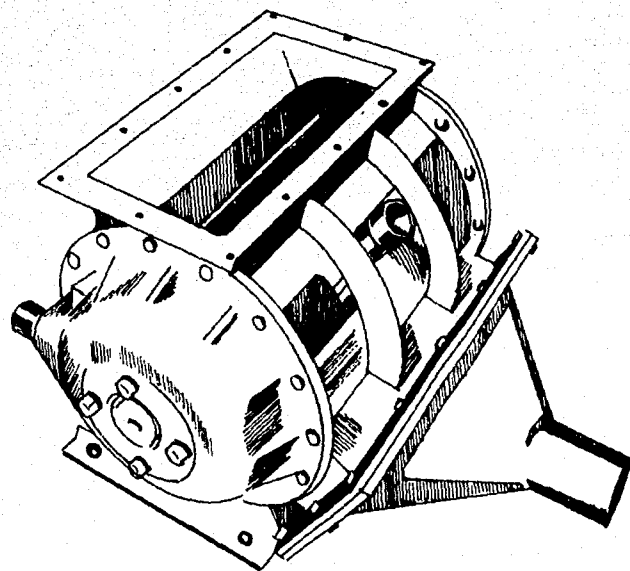




ALIMENTADORES ROTATORIOS DE CAJA VENTEADA



ALIMENTADOR ROTATORIO DE SOPLO HORIZONTAL



ALIMENTADOR ROTATORIO POR ARRASTRE DE AIRE

5.2 IMPULSORES DE AIRE

El tipo de impulsor de aire seleccionado para un sistema de transporte neumático se determina básicamente por el flujo y presión de aire que se requiere para transportar un material específico, a través de un sistema de tuberías específico, a un gasto específico, considerando además un factor de seguridad por concepto de fugas internas o externas.

Los impulsores de aire más usados son:

- a) Ventiladores centrífugos
- b) Sopladores rotatorios de desplazamiento positivo
- c) Sopladores/Compresores de flujo axial
- d) Compresores de Paleta múltiple

- a) Ventiladores centrífugos

En estos ventiladores el aire es comprimido e impulsado por la acción dinámica de un solo impulsor rotatorio. Los materiales empleados en su construcción pueden ser: acero al carbón, aluminio y acero inoxidable; y, pueden impulsarse directamente o por medio de bandas.

Los ventiladores centrífugos, dependiendo del material de construcción, pueden tolerar grandes temperaturas, pero al incrementarse éstas, debe incrementarse también la velocidad, para compensar la pérdida de eficiencia - debida a la disminución de la densidad del aire.

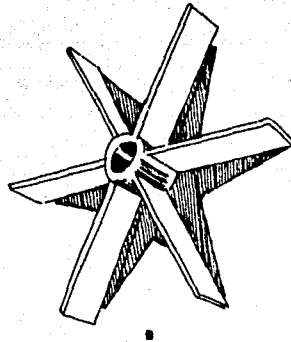
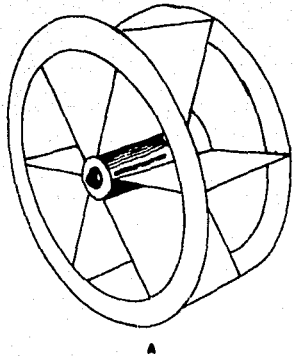
Los ventiladores que se utilizan como impulsores de sólidos son mucho más pesados que los que únicamente pasan aire y generalmente están contruídos de acero resistente a la abrasión.

La velocidad del ventilador puede modificarse fácilmente. Si es impulsado por bandas, cambiando el diámetro de las poleas; y, si es impulsado directamente, cambiando el diámetro del impulsor, sin embargo, esto último - generalmente es costoso.

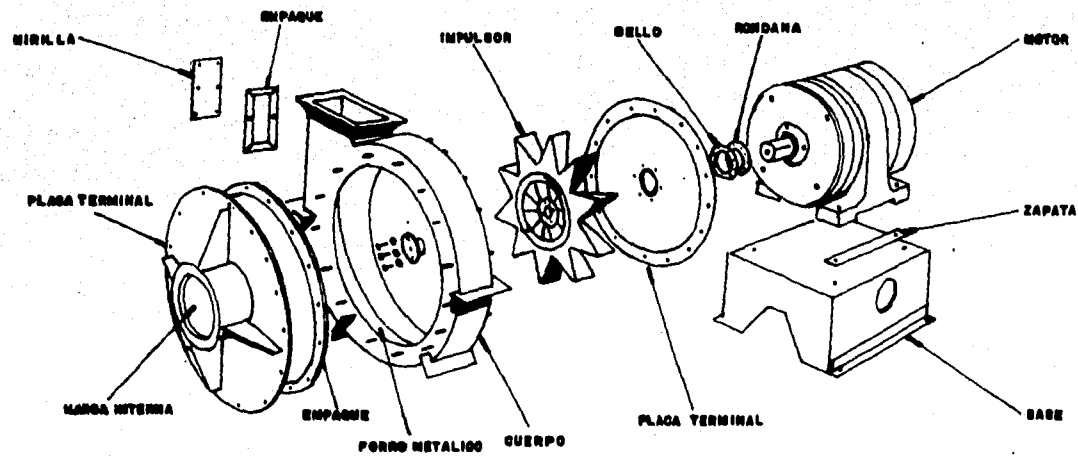
Los ventiladores centrífugos se usan en sistemas de vacío, de baja presión y combinados. Tienen la desventaja que el flujo de aire disminuye al aumentar la resistencia en el sistema (ocasionada por taponamiento en las líneas). Pueden liberar cantidades muy grandes de aire a presiones diferenciales muy bajas (0.5 psig).

A — PARA SÓLIDOS FINOS

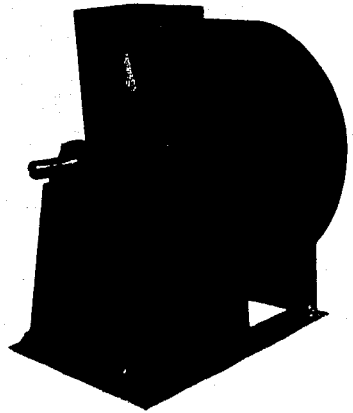
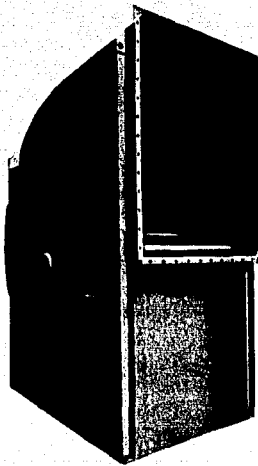
B — PARA MATERIALES IRREGULARES



IMPULSORES DE VENTILADORES CENTRIFUGOS



COMPONENTES DE UN VENTILADOR CENTRIFUGO



VENTILADORES CENTRIFUGOS

b) **Sopladores Rotatorios de Desplazamiento Positivo.**

Estos sopladores tienen 2 rotores lobulares accionados por engranajes sincronizados de tal manera que se engranan uno con otro al rotar en direcciones opuestas - dentro de un cuerpo maquinado con tolerancias estrechas. El aire entrante es atrapado entre los lóbulos y descargado al sistema en forma de pulsaciones. Los rotores - están separados en su punto más cercano por un pequeño espacio de tal manera que nunca hagan contacto. Estos engranajes sincronizados pueden impulsarse directamente por un motor o a través de bandas en V, lo cual es más conveniente debido a la facilidad y economía para efectuar cambios de velocidad. Estos sopladores liberan con cada revolución, una determinada cantidad de aire, medido a las condiciones de entrada. Operando a una velocidad constante, contra una presión constante, el soplador libera una cantidad constante de aire. Si se incrementa la velocidad del soplador, manteniendo la presión constante, se incrementa el volumen del aire liberado en una cantidad igual al aumento en el número de revoluciones.- Para aplicaciones generales de transporte es recomendable utilizar un sellado de ejes mínimo en las placas terminales; pero para el manejo de gases inertes, donde las

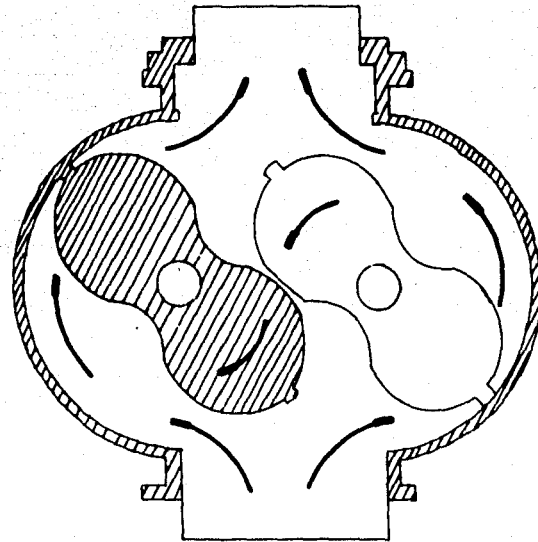
primario y un filtro-recibidor, adicionando al fondo del recibidor un ciclón secundario para recoger los polvos desalojados de los tubos filtrantes. Estos polvos son descargados separadamente a través de su propia salida. Este sistema si bien incrementa la altura requerida por el separador, disminuye el área de piso que se necesitaría para ubicar separadamente al ciclón y al filtro recibidor.

Cualquiera que sea la selección del medio filtrante, deben checarsé las recomendaciones de los fabricantes, de las relaciones aire/unidad de área de tela filtrante, para el material a ser transportado.

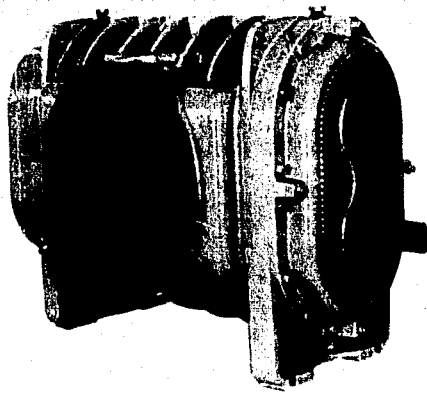
c) Tanques Recibidores

La descarga de sólidos en sistemas de presión pueden efectuarse directamente a tanques de proceso o almacenamiento sin la necesidad de separadores previos.

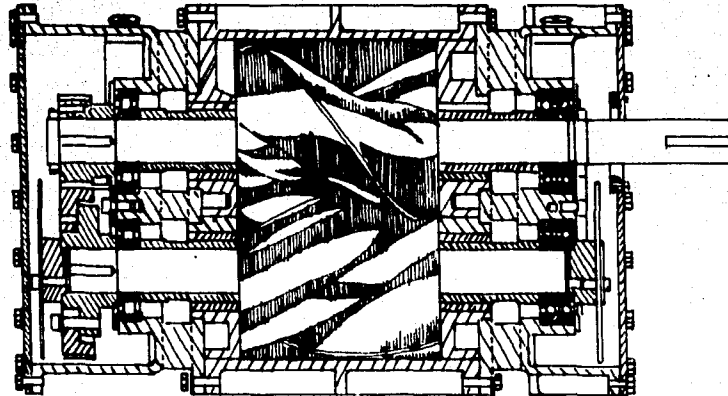
Estos tanques deberán tener venteos ya sea a la atmósfera directamente, en el caso de materiales no polvosos; o a filtros de polvos colocados en la parte superior de dichos tanques.



SOPLADOR ROTATORIO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO



SOPLADOR ROTATORIO

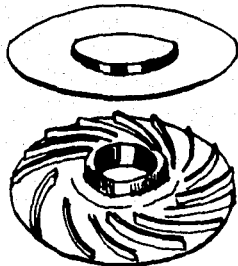


SOPLADOR / COMPRESOR DE FLUJO AXIAL

d) **Compresor de Paleta Múltiple**

Consiste en un rotor de paleta múltiple dentro de una cubierta maquinada bajo estrechas tolerancias. El rotor gira y el aire, que entra por el ojo de dicho rotor, va incrementando en velocidad en forma radial - hasta que llega a los extremos de las paletas, punto en el cual, esta velocidad se convierte en presión. - La función de estos compresores es la de incrementar la presión del aire que fluye a través de ellos.

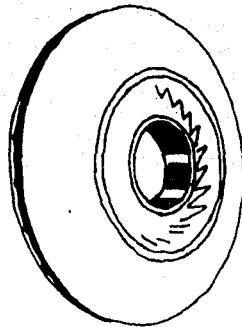
Este tipo de compresor se fabrica en una fase, dos fases y fase múltiple. Su capacidad oscila en un rango de 30 a 3300 ft³/min y a presiones hasta 125 psig. Debido a su diseño rotatorio este tipo de compresor libera un flujo de aire continuo, sin pulsaciones, directamente desde su punto de descarga, ya sea a una bomba de flujo de sólidos o a un tanque inyector, sin la necesidad de usar un receptor de aire intermedio. Se usa en sistemas de presión media y alta.



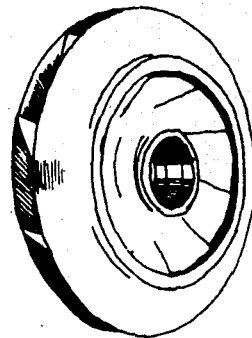
(A)

(A) ROTOR ESTRIADO O RAYADO

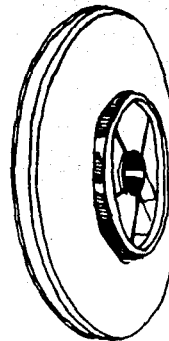
(B) ROTOR MANUFACTURADO



(B)



(C)

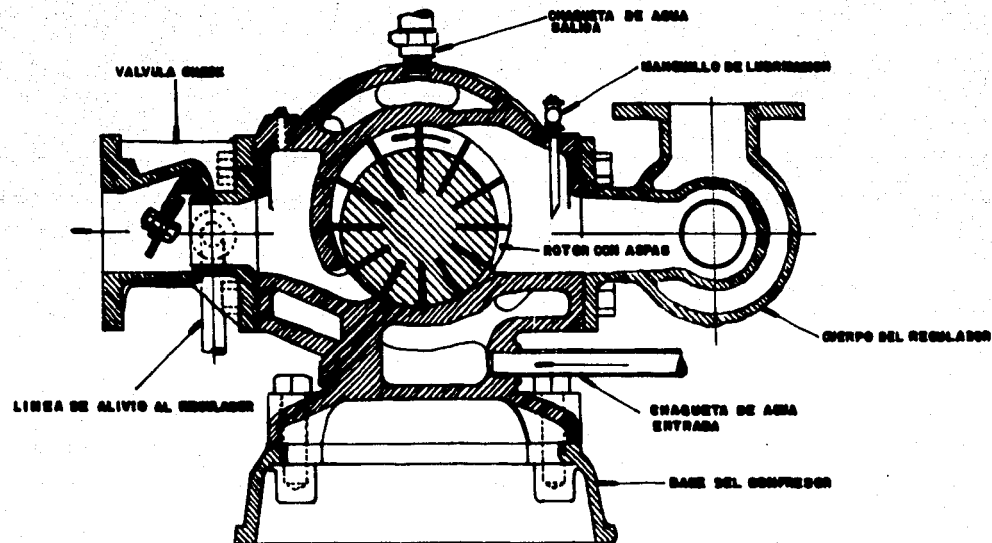


(D)

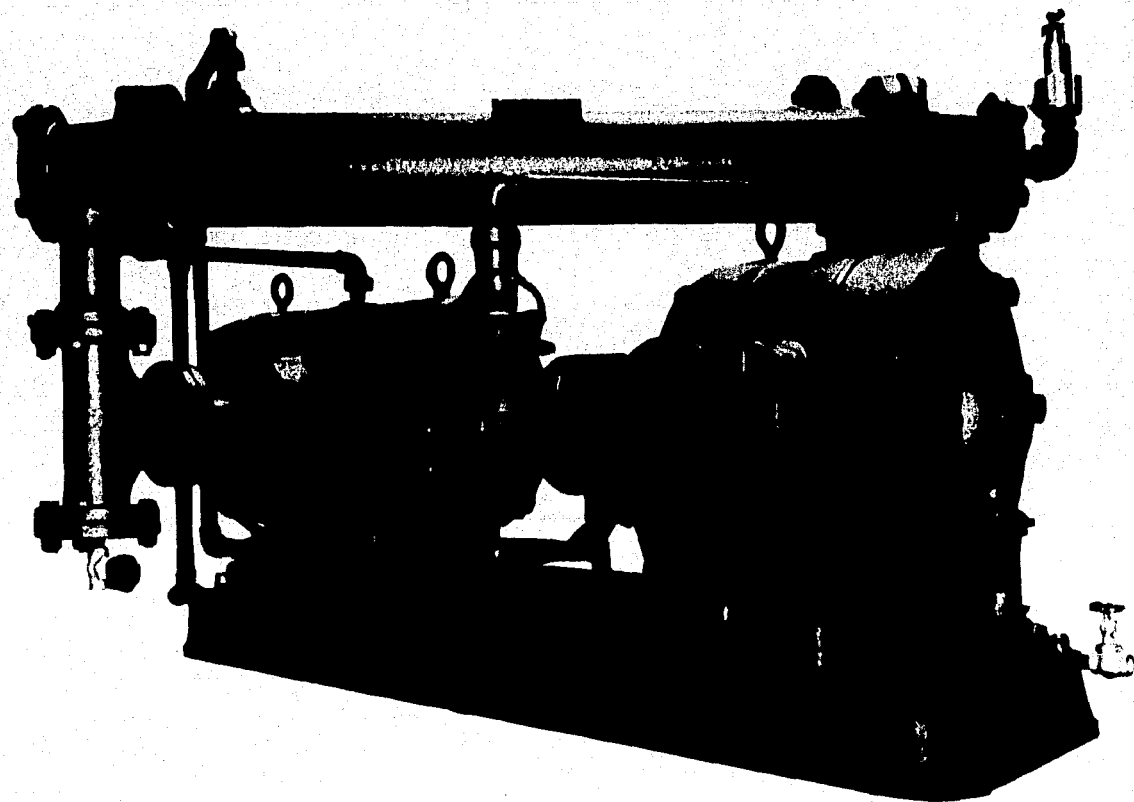
(C) ROTOR SOLDADO

(D) ROTOR FUNDIDO

ROTORES PARA COMPRESORES DE PALETA MULTIPLE



COMPRESOR ROTATORIO DE PALETA MULTIPLE



COMPRESOR ROTATORIO DE PALETA MULTIPLE DE DOS FASES

La recuperación del material de la corriente transportadora re quiere de la separación del aire y el material en un colector. De acuerdo al sistema de transporte, a las características del material y a los requerimientos de operación; se seleccionan - los recibidores, que pueden clasificarse de la siguiente mane- ra:

- a) Recibidores-Ciclónicos
- b) Filtros-Recibidores
- c) Tanques Recibidores

a) Recibidores-Ciclónicos

Se usan para efectuar separaciones en los puntos ter minales de sistemas de vacío, baja presión y presión media. No tienen un 100% de retención de polvos por lo cual su uso está limitado a sólidos no polvosos. Sin embargo, en sistemas de presión-media tienen un mayor grado de eficiencia, no obstante que la velo- cidad en estos sistemas de ningún modo es tan gran- de como en los sistemas de vacío y baja presión. --

Ello se debe a que la acción ciclónica no se ve interrupta por soplos de aire entre la salida del fondo y la válvula de descarga, como es el caso en sistemas de vacío.

Los recibidores ciclónicos, para uso de sistemas - neumáticos, se diseñan y construyen en 2 tipos: - fase sencilla y 2 fases. La eficiencia de estos - ciclones puede elevarse con el uso de entradas y - salidas de aire tipo espiral. Los ángulos de los conos varían de 60 a 75° para ciclones primarios y de 70 a 85° para ciclones secundarios.

Los recibidores ciclónicos primarios se usan únicamente para sistemas de vacío y los secundarios para sistemas de vacío y de presión (baja y media).

Los materiales de construcción, así como el grado - de rigidez, se determinan en función del material a transportarse y sus efectos de desgaste. En el manejo de materiales abrasivos se acondicionan a los recibidores ciclónicos capas de material resistente al desgaste, para extender su vida promedio, especialmente en los puntos de impacto.

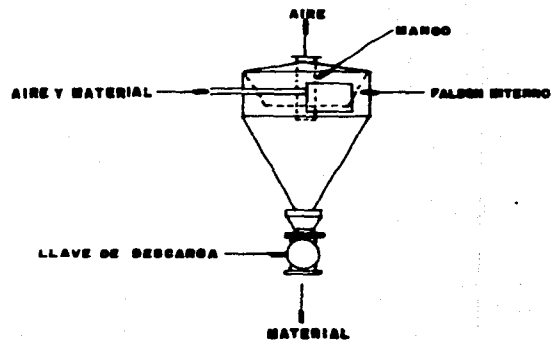
pérdidas en estos puntos pueden ser críticas, deben usarse sellos de ejes diseñados para trabajo pesado.

Estos sopladores pueden liberar cantidades de aire en un rango que oscila entre unos cuantos ft^3/min hasta 24 000 ft^3/min a presiones de hasta 12 psig.

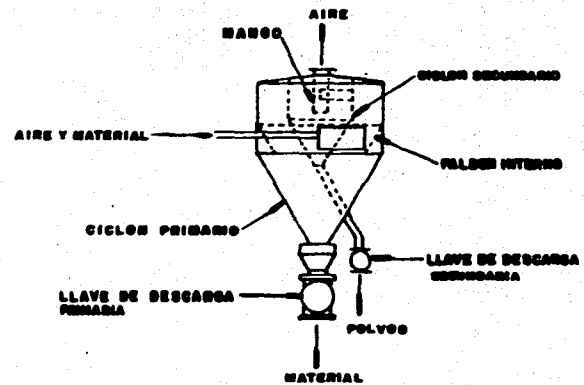
Tienen la ventaja, con respecto de los ventiladores centrífugos, de que pueden desarrollar presiones altas y suficiente capacidad, para mover los sólidos cuando las líneas del sistema se tapan. Se utilizan en sistemas de vacío, baja presión y combinados.

c) Soplador/Compresor de Flujo Axial.

Este soplador/compresor tiene 2 rotores cicloidales de diámetro relativamente pequeño, del tipo macho-hembra, que rotan a velocidades del orden de varios miles de revoluciones por minuto y su rotación causa la progresión axial sucesiva de cavidades selladas. Con este sistema de operación el aire es liberado de una manera suave y continua. Su rango de operación es del orden de unos cuantos ft^3/min hasta 12 000 ft^3/min con presiones hasta de 18 psig. Se utiliza en sistemas de vacío, sistemas de baja presión, presión media y sistemas combinados.

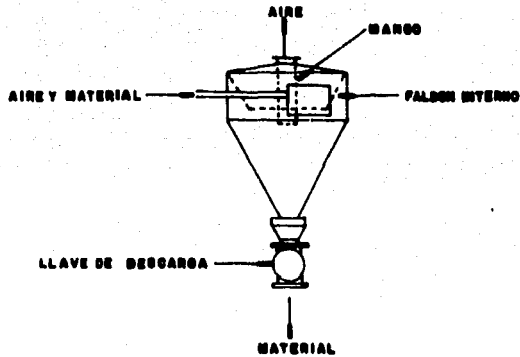


RECIBIDOR CICLONICO DE UNA SOLA FASE

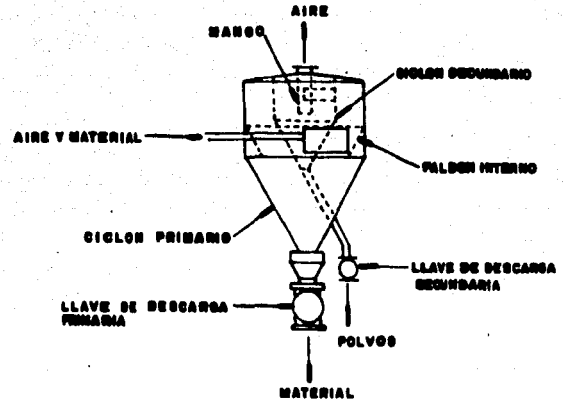


RECIBIDOR CICLONICO DE DOS FASES

RECIBIDORES CICLONICOS



RECIBIDOR CICLONICO DE UNA SOLA FASE



RECIBIDOR CICLONICO DE DOS FASES

RECIBIDORES CICLONICOS

DIAMETRO DE LA LINEA TRANSPORTADORA	DIAMETRO DEL RECIBIDOR CICLONICO	
	PRIMARIO	SECUNDARIO
3 in	3 ft 6 in	2 ft 9 in
4 in	4 ft 0 in	3 ft 0 in
5 in	4 ft 6 in	3 ft 6 in
6 in	5 ft 0 in	3 ft 9 in
8 in	6 ft 9 in	5 ft 0 in

TABLA DE: DIAMETROS RECOMENDADOS PARA LA SELECCION DE RECIBIDORES CICLONICOS (NEUMATIC CONVEYING. STOEES)

b) Filtros-Recibidores

Se componen de una sección inferior cónica y una sección superior equipada con un medio filtrante. Se usan en aquellos sistemas en que se requiere una separación de 100% de sólidos. El medio filtrante puede ser de fibras naturales (algodón, lana) o sintéticas (nylon, dacrón, teflón) y su limpieza se efectúa por sacudimiento mecánico, aire en sentido contrario a la superficie de retención o una combinación de ambos.

Uno de los filtros-recibidores más usado es el de -- 4 compartimientos. En éste, el medio filtrante está

dividido en 4 secciones, con lo cual la limpieza del filtro se efectúa por sección, evitando con esto la necesidad de detener la corriente transportadora (como en el caso de un filtro-recibidor de un solo compartimiento), o tener grandes cantidades de aire transportador pasando a través de una pequeña área del filtro (como en el caso de un filtro-recibidor de 2 fases). Este separador ofrece una alta relación de área activa filtrante durante el ciclo de limpieza (el cual tiene una duración de 15 a 30 segundos cada 2 ó 3 minutos).

En el caso de materiales polvosos no abrasivos, la corriente transportadora debe entrar al separador en forma tangencial para tener en el cono una separación ciclónica.

En el caso de materiales abrasivos, la corriente transportadora debe entrar al separador en forma radial y hacerse chocar contra un baffle para disminuir la velocidad del flujo, provocar el choque entre las partículas abrasivas y reducir el desgaste en las paredes del recibidor.

Para facilitar la acción ciclónica en el fondo cónico, se utiliza un faldón interno para crear esta condición, así como para eliminar la posibilidad de que el aire transportador se dirija directamente a la salida del - separador y/o a las bolsas filtrantes. Asimismo las paredes que dividen los compartimientos del medio filtrante deben extenderse hasta la base del faldón. Para una operación adecuada y una reducción de trayectorias cortas entre la entrada y las bolsas filtrantes, es recomendable que el faldón se extienda hasta unas 4 ó 6 in abajo del punto de entrada.

La placa de la cabeza a la cual se fijan los tubos - filtrantes debe ser de acero y con los cuellos (agujeros donde se colocan los tubos filtradores) soldados y herméticos; esta condición permite a la placa recuperar la resistencia perdida por dichos cuellos y reduce al mínimo la flexión de operación resultante por las diferenciales de presión.

Ya que el mecanismo de sacudimiento imparte cierta reacción de movimiento violento a los tubos filtrantes, la parte que sufre mayor desgaste es el tercio de la base. Existen 2 métodos para evitar lo ante-

rior: el uso de anillos ensanchados o la utilización de bolsas de pared múltiple en los puntos críticos. - Es más común el usar anillos; pues en caso de mangas de pared múltiple, se ocupa con éstas, un espacio que podría ser llenado con polvos o material, causando -- una carga adicional al mecanismo de sacudimiento, con lo cual se aliminaría cualquier utilidad del principio de pared múltiple.

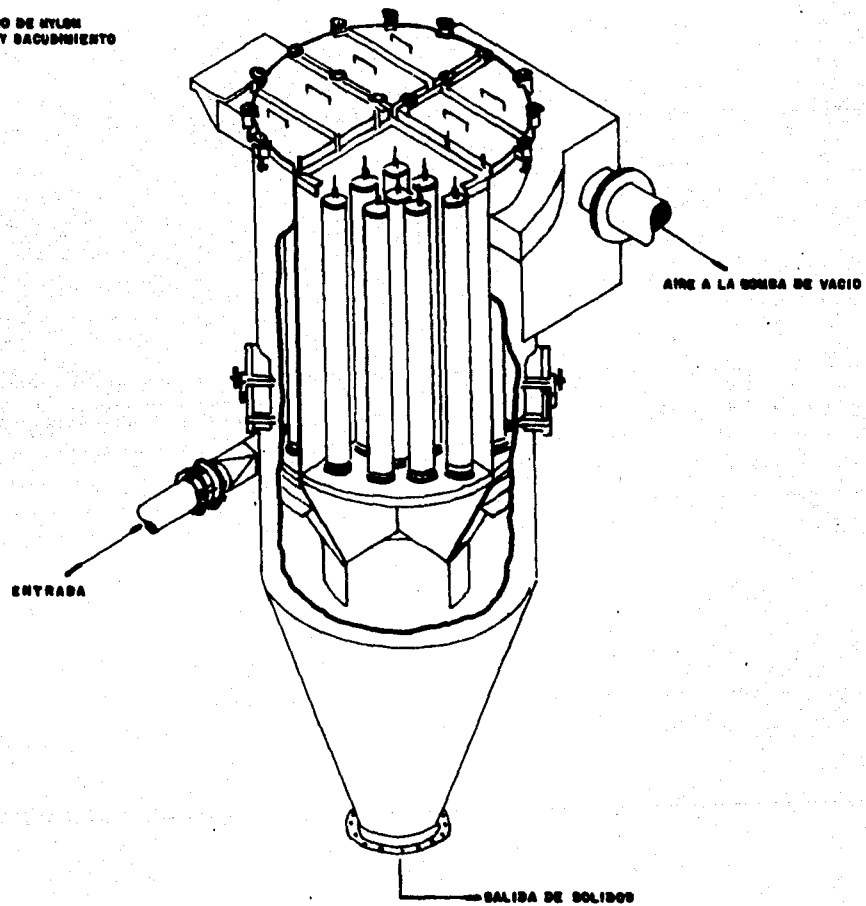
Los filtros generalmente se dimensionan en ft^2 de filtro requerido para retener los polvos de cada ft^3 de aire que pasa a través de dicho filtro. Dependiendo del material transportado así como de su carga de - polvos, los resultados de estas relaciones pueden variar de 1 a 6. También es necesario minimizar la velocidad del aire que para a través de los cuellos de la placa de la cabeza para reducir el efecto de soplado que se tiene en la parte inferior de los tubos filtrantes. Este efecto de soplado puede ser más - perjudicial para la operación del separador, que el flexionamiento provocado por el mecanismo de sacudimiento.

Actualmente existen colectores que usan únicamente aire en sentido inverso para la limpieza de las - bolsas filtrantes, siendo éstas de tela de fieltro. Estos colectores tienen, en las partes finales de - cada tubo filtrante, una boquilla por la cual se inyecta aire en dirección contraria a la del flujo - normal, en el momento de efectuar la limpieza de -- los tubos; y, como dicho aire puede ser de una gran presión (en algunos casos hasta de 100 psig), fácilmente desaloja el polvo de la superficie externa del fieltro, cayendo en el fondo del cono y mezclándose con el material pesado. Estos colectores son muy - costosos por el equipo requerido para la limpieza - del medio filtrante, pues se necesita instalar un - sistema de tuberías con boquillas en cada uno de los tubos, así como el sistema impulsor de aire.

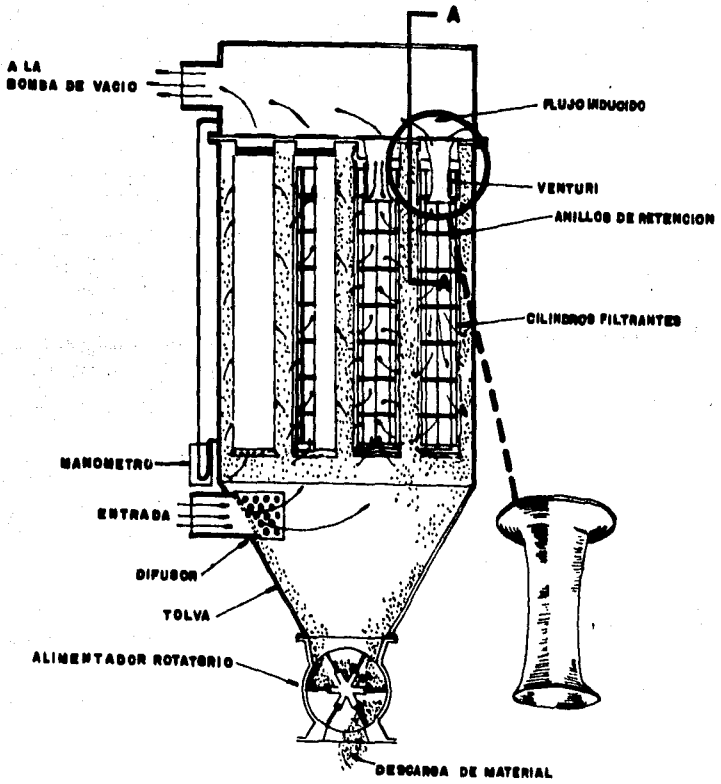
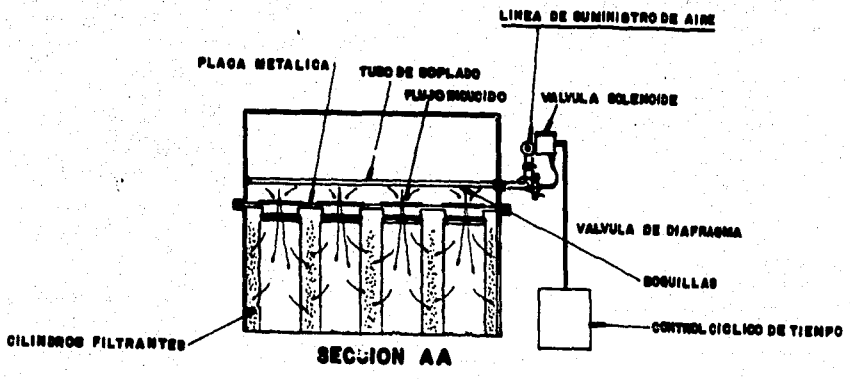
Otros colectores usan una jaula de bolsas filtrantes la cual se sustituye por otra cuando requiere limpieza.

Cuando la disponibilidad de espacio es reducida, se puede efectuar una adaptación, combinando un ciclón -

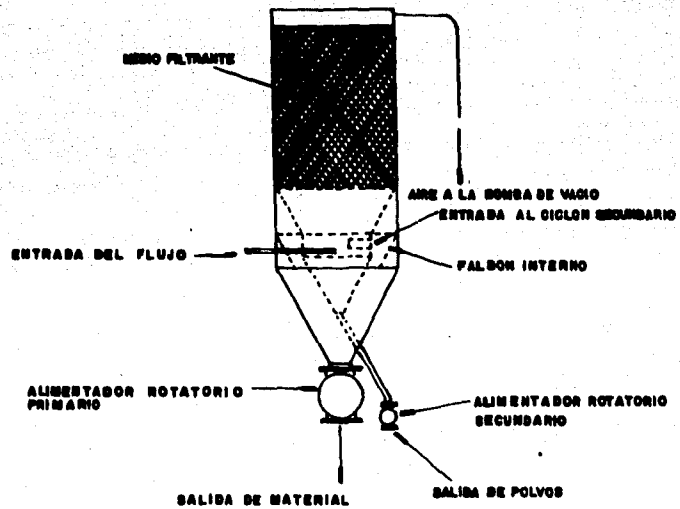
TUBOS DE FILTRO DE NYLON
(CON LIMPIEZA Y SACUDIMIENTO
AUTOMÁTICO)



FILTRO-RECIPIENTE DE 4 COMPARTIMENTOS



FILTRO-RECIPIENTE MIKRO PULSAIRE
LIMPIEZA DEL MEDIO FILTRANTE CON AIRE EN SENTIDO INVERSO AL FLUJO NORMAL



FILTRO-RECIBIDOR DE DOS FASES

5.4

TUBERIA DE TRANSPORTE

Para la mayoría de los materiales la tubería que se usa en transporte neumático es de acero standard: para diámetro de 2 a 7 in, cédula 40; para diámetros de 8 a 12 in, cédula 30. Los ductos de 14 pulgadas o más son de acero soldado con un espesor de pared de $\frac{3}{16}$ a $\frac{5}{16}$ de pulgada, dependiendo del material transportado. Para plásticos y otros materiales que requieran de un transporte libre de contaminación puede usarse tubería de aluminio o de acero inoxidable en medidas comerciales pero con espesores de pared de cédula 5 y 10.

Cuando se requieran cambios de dirección en las líneas de transporte, deben efectuarse empleando curvas de radios grandes. Kraus recomienda usar radios de 6 a 12 veces mayores que el diámetro de la línea, dependiendo del material transportado. Stoess hace las siguientes sugerencias: para diámetros de tubería de 1 a 8 in, usar radios 12 veces mayores que estos diámetros; para diámetros de 8 a 12 in, usar radios constantes de 8 ft; para diámetros de 14 o más pulgadas deberán utilizarse radios mayores. (Véase Tabla).

DIAMETRO DEL DUCTO
(in)

RADIO MINIMO

RADIO RECOMENDADO

3	2 ft 0 in	3 ft 0 in
3 1/2	2 ft 3 in	3 ft 6 in
4	3 ft 0 in	4 ft 0 in
5	3 ft 6 in	5 ft 0 in
6	4 ft 0 in	6 ft 0 in
7	4 ft 6 in	7 ft 0 in
8	5 ft 0 in	8 ft 0 in
10	6 ft 0 in	8 ft 0 in
12	6 ft 0 in	8 ft 0 in

El doblado de los ductos se puede efectuar en frío o en caliente. Para el doblado en frío se coloca dentro del ducto un rodillo y otro más rodeando al ducto externamente, procediendo al doblado por medio de una prensa dobladora. Esta operación causa que el espesor del ducto se vea ligeramente reducido en la sección de curvatura. Para el doblado en caliente, el ducto se llena con arena, se calienta y, es entonces doblado. Con esta operación se tiene una menor reducción del espesor del ducto.

Para materiales no abrasivos puede utilizarse tubería sin refuerzos. En el transporte de materiales medianamente abrasivos se usan refuerzos, que consisten en una delgada capa de acero colocada en la superficie exterior del tubo en el área de curvatura, soldada a dicho ducto y engrapada por medio de pernos en U. Otro método de reforzamiento a las áreas de curvatura, consiste en unir al ducto la placa de refuerzo por medio de fundición segmentada, sólo que en este caso, se requiere que el doblado se efectúe en caliente.

Para materiales muy abrasivos se utilizan como refuerzos, placas de acero soldadas en sus extremos a la parte posterior del segmento de curvatura formando una caja de desgaste, que puede ser hueca o llenarse con concreto resistente a la abrasión.

ESCALA DE MOH	CLASIFICACION DEL MATERIAL	TIPO DE CURVATURA
1,2	No Abrasivos	Tubería Sencilla
3	Ligeramente Abrasivos	Tubería Sencilla
4,5	Medianamente Abrasivos	Tubería Reforzada
6,7	Muy Abrasivos	Tubería con Cajas de Desgaste

TIPO DE CURVATURA REQUERIDO EN FUNCION DE LA ESCALA DE DUREZA DE MOH

Otros materiales requieren de áreas de curvatura de materiales diferentes a la tubería de acero comercial. Así por ejemplo, -- cuando se manejan sólidos como el alumbre, debido a su tendencia a adherirse a las áreas curvas de las tuberías, es recomendable que éstas sean de mangueras de hule reforzado.

En el manejo de granos, para evitar que éstos se rompan y despellejen -lo cual ocurre debido a que su abrasividad causa gran desgaste (en forma de canales) a los codos de los ductos circulares-, se utilizan en los respaldos de las curvas, placas de acero de sección rectangular que son renovadas cada vez que lo requieren. En estas placas de sección rectangular se tiene mayor resistencia a la formación de canales.

Las juntas usadas en la unión de ductos de la línea de transporte deben ser herméticas y sin espacios entre uno y otro ducto; - las más frecuentes son: las uniones por bridas, con soldadura y por coples. En las juntas bridadas debe tenerse cuidado, para un sellado hermético, que los extremos de los ductos se unan completamente; y es recomendable usar un empaque de espesor muy pequeño. Las juntas por soldadura pueden ser por medio de cubre juntas o a tope, evitando que el material de soldadura entre al interior del ducto. Los coples más frecuentes son del tipo de compresión y pueden ser de manga o de anillos de sujeción, tienen la ventaja de que son los más económicos.

Los interruptores de tubería o válvulas diversoras de flujo se usan para desviar el flujo de transporte de un ducto de 2 o más ductos o de 2 o más ductos a uno solo. Lo primero ocurre generalmente en sistemas presurizados y lo segundo ocurre principalmente en sistemas de vacío. En sistemas de presión las válvulas deben ser herméticas a fin de que no haya fugas que contaminen la atmósfera. En sistemas de vacío el problema no es tan serio pues las fugas son internas, sin embargo, cuando esto ocurre, hay necesidad de aumentar la cantidad de aire a ser manejada por la bomba de vacío arriba de la requerida para el transporte.

La válvula de derivación tiende a ser un mecanismo complicado, ya que se convierte en parte de la línea de transporte en la cual se dirige el flujo y debe prevenir fugas de la línea viva a la línea muerta.

Los tipos de válvulas más frecuentes son:

a) Válvula de Tapón Rotatorio

Se usa para aplicaciones donde se requiere que no haya fugas ni de aire, ni de polvos. Consta de una caja y un tapón giratorio. La caja puede ser de hierro - fundido, acero inoxidable o aluminio. El tapón puede ser de aluminio o acero inoxidable. La combinación - más usual es caja de aluminio y tapón de acero inoxidable.

El tapón tiene un agujero cilíndrico que se alinea con cualquiera de los puntos de descarga de la caja. Aunque los puntos de descarga están normalmente puestos a 30 grados uno del otro, el tapón debe rotar 150 grados para ir de una posición a otra. Estas válvulas se maquinan con gran precisión, teniendo unas tolerancias de 0.0011 a 0.0070 pulgadas entre el diámetro externo del tapón y el diámetro interno de la caja. Para prevenir la entrada de material entre los claros del tapón y la caja, se inyecta aire a través de las terminales de la válvula.

La válvula se mueve por medio de un pistón neumático - montado sobre una flecha, y se necesita una planta de - aire de 80 a 100 psig. El tapón es posicionado en la

caja con soportes de tipo manga; y, para evitar fugas - de sólidos, se utiliza como sello de la flecha, empaquetadura suficiente y adecuada.

b) Válvula de Aleta

Es una válvula más económica que la anterior y consiste de una aleta pivoteada en una punta, de tal manera, - que puede dirigir el flujo a la salida adecuada. Esta - paleta se ajusta con un material de empaque reemplazable (generalmente paño), para formar un sello entre la aleta y la caja de la válvula. Los materiales empleados en su construcción son los mismos que para las válvulas de ta pón rotatorio.

Estas válvulas son apropiadas para el transporte de una a dos líneas. Debido a su construcción no deben usarse en sistemas de vacío, pues el sello de la aleta se desgastaría rápidamente. Pueden operarse por medio de un pistón neumático o manualmente por medio de una palanca.

c) Válvula de Asiento Esférico

Consiste de una caja con varias salidas que se sellan - por medio de pistones neumáticos, utilizando un distri-

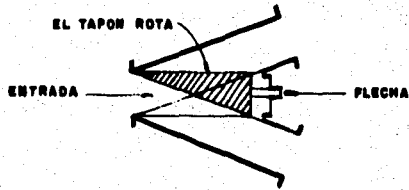
buidor retractable de operación automática para canalizar el flujo a la línea deseada.

Existen otros interruptores de flujo más económicos, como son los desviadores de tipo manguera, que son de gran utilidad cuando se tienen que conectar alternadamente - muchas líneas de transporte, sin embargo requieren de - mayor tiempo de operación para su instalación.

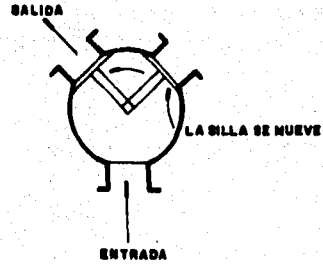
La selección de la válvula depende esencialmente del material a transportarse y de la inversión disponible. - Así por ejemplo, la válvula tipo aleta se usa para sólidos finos, la válvula tipo tapón rotatorio se usa para materiales no polvosos, y la válvula de asiento esférico se usa para materiales abrasivos.

Cuando se usan pistones neumáticos o motores, para operar los interruptores de flujo, no deben instalarse en localidades donde se tengan temperaturas abajo del punto de congelación, pues pueden congelarse.

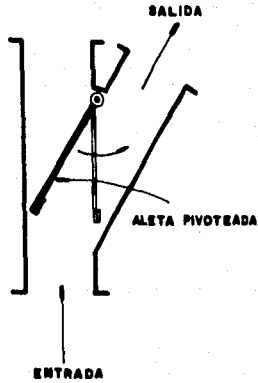
Otros modelos de válvulas divisoras se muestran en la siguiente lámina:



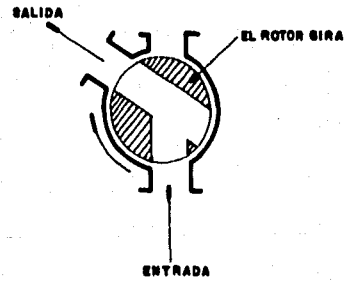
VALVULA DE TAPON ROTATORIO



VALVULA DE ASIENTO ESFERICO

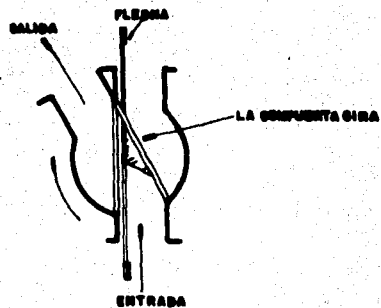


VALVULA DE ALETA

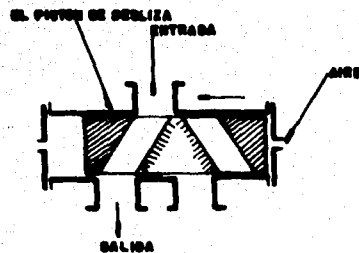


VALVULA DE ROTOR

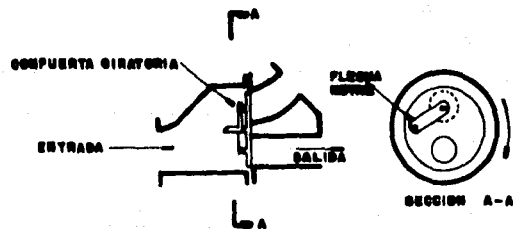
VALVULAS DIVERSORAS DE FLUJO



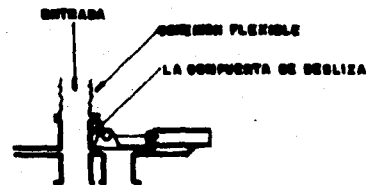
VALVULA DE COMPUERTA ROTATORIA



VALVULA DE PISTON DESLIZANTE

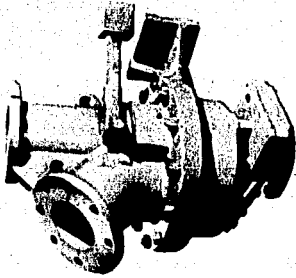


VALVULA DE COMPUERTA OSCILATORIA

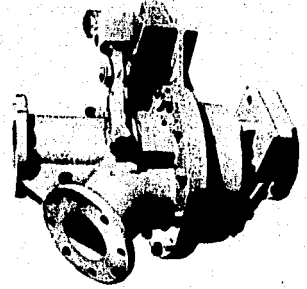


VALVULA DE COMPUERTA DESLIZANTE

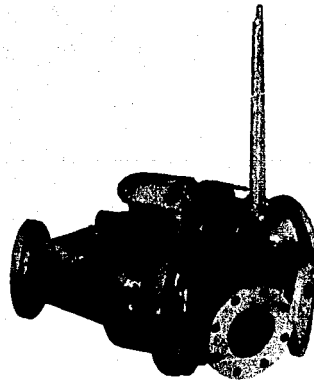
VALVULAS DIVERSORAS DE FLUJO



**VALVULA DE DOS FASES
DE OPERACION MANUAL**



**VALVULA DE DOS FASES
OPERADA POR MOTOR**



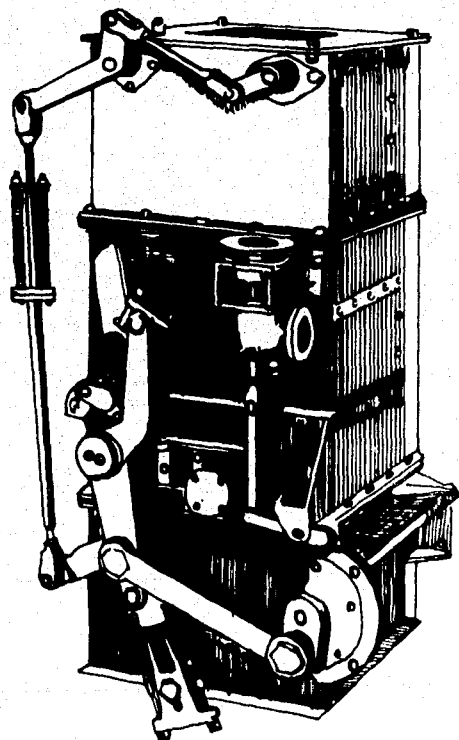
**VALVULA DE TRES FASES
DE OPERACION MANUAL**

VALVULAS DIVERSORAS DE FLUJO

La válvula de compuertas más frecuentes es la de 3 compartimientos. Se utiliza como llave de descarga en filtros-recibidores y recibidores ciclónicos en sistemas de vacío y como alimentador en sistemas presurizados. En ambas aplicaciones es más un sello de aire que un alimentador y se usa para manejar materiales abrasivos y materiales con tendencia a crear formaciones en el interior de alimentadores rotatorios.

Esta válvula, consiste de 3 compuertas, 2 de las cuales son herméticas. La compuerta superior se utiliza como interruptor del flujo del material dentro de la válvula. No puede mantenerse un flujo continua del material a través de la válvula, pues cada compuerta tiene la función de sellar el compartimiento de manera similar a los arreglos en operaciones tipo Batch. La operación de la válvula es como sigue: se abre una compuerta y una carga de material cae al compartimiento siguiente; y, para mantener el vacío o la presión, según el sistema que se tenga, las compuertas herméticas -la central y la inferior-, deben abrirse alternadamente de tal manera que cuando una esté abierta, la otra esté cerrada.

Para que esta válvula opere en forma continua hay que efectuarle una adaptación consistente en anexar a su parte superior un alimentador de medición y una pequeña tolva de compensación. No puede, de ninguna manera, usarse directamente debajo de una tolva o un tanque cuyo volumen sea mayor que el volumen disponible en cada compartimiento.



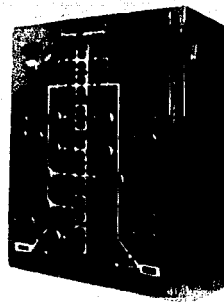
VALVULA DE COMPUERTAS DE 3 COMPARTIMIENTOS

5.8 TABLEROS DE CONTROL

Los tableros de control se utilizan principalmente en sistemas complicados que comprenden más de una operación de transporte neumático, y sirven para indicar la trayectoria que sigue el flujo y el tipo de operación que efectúa el equipo.

En la cara del tablero deberá estar el diagrama de flujo de las operaciones que se efectúan. El punto de partida para la elaboración de un diagrama de este tipo es el enlistamiento de las operaciones mecánicas necesarias para arrancar y parar cada sistema, así como sus requerimientos funcionales. Sobre este diagrama deberán colocarse en los puntos adecuados luces indicadoras: que señalen la dirección de las válvulas divisoras, que muestren la operación del equipo y que permitan observar las condiciones del material dentro de los recipientes que lo reciben o descargan. Habrá también en la cara del tablero, junto con lo anterior: interruptores selectores, botones de control, botones de arranque y paro para el equipo de operación y manómetros que indiquen las presiones y vacíos de operación.

Los tableros de control se recomiendan en sistemas complejos en que se requiere de una operación que minimice la posibilidad de error, debido a que su costo suele representar en algunos casos hasta el 50% de la inversión total para todo el sistema.



TABLERO DE CONTROL

C A P I T U L O 6

APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DE PROCESO

6.1 INDUSTRIA DEL CEMENTO

En las Plantas de Cemento se encuentran muchas aplicaciones de sistemas neumáticos para manejo de materiales entre los diferentes segmentos del proceso que se sigue para su elaboración.

El cemento tiene su origen en la piedra caliza y otros materiales que contengan cal, más otros materiales de propiedades químicas adecuadas, para ser todos transformados en un proceso de combustión, que se lleva a cabo generalmente en un horno rotatorio. En la fase inicial estos materiales no pueden manejarse por transportadores neumáticos, debido a sus dimensiones deben emplearse otros tipos de transportadores, que los lleven a los quebradores primario y secundario y posteriormente a los molinos de cilindros de crudos. La primera aplicación de transporte neumático se tiene en la descarga de los molinos de crudos y consiste en un transportador por aire activado que es -- ideal para conducir sólidos horizontalmente desde la descarga - de dichos molinos a los elevadores de cangilones que liberarán el material en un separador que dividirá los sólidos en finos y grandes. El material fino en estas condiciones ya puede iniciar su proceso de transformación y para esto puede ser transportado mediante una bomba de flujo de sólidos ya sea directamente al -

tanque alimentador del horno o inicialmente a silos de mezclado, si es que se requiere de un mezclado adicional de los materiales crudos para una adecuada mezcla de combustión. En caso de usarse silos de mezclado, la descarga de ellos al tanque alimentador del horno, podrá efectuarse por medio de una bomba de flujo de sólidos o por un transportador de aire activado. El tanque alimentador es un precalentador del material crudo que usa los gases del horno. Después que los crudos pasan por el precalentador son quemados en el horno rotatorio y descargados como cemento clinker. El clinker generalmente es enfriado en un enfriador de aire, posteriormente se pasa a un quebrador y finalmente a los molinos de terminado. Entre la descarga del quebrador y la entrada a los molinos de terminado, el clinker no tiene características adecuadas para transportarse por medios neumáticos, por lo cual se usan otros tipos de transportadores.

De la descarga de los molinos de terminado, se usan transportadores de aire activado para llevar el cemento a una bomba de flujo de sólidos y de allí a los silos de almacenamiento, donde se almacena el producto terminado para su posterior distribución ya sea por carros, ferrocarril o barcos (transporte a granel) o su liberación a áreas de empaquetamiento unitario.

Para cargar carros tolva, se usan transportadores de aire activado para transportar el cemento desde la salida de los silos - hasta la báscula que pesa el material liberado. Para cargar ca - rros de ferrocarril se utiliza el mismo sistema si el furgón - queda lo suficientemente cerca de los silos, si no es así, se usan transportadores de aire activado con eslabones extensibles. Para cargar barcos se usan transportadores de aire activado, bom - bas de flujo de sólidos o una combinación de ambos.

Como puede observarse los transportadores neumáticos se usan am - pliamente en la elaboración del cemento permitiendo una gran fle - xibilidad en el diseño de la planta. Eliminan atmósferas polvo - sas, reducen los costos de mantenimiento y hacen de la planta un lugar de trabajo muy seguro. La alternativa sería una masa de - transportadores de gusano, elevadores de canchales y posible - mente de bandas, los cuales requerirían costos de mantenimiento mucho más altos y probablemente un costo global de producción - también más alto.

En algunas plantas de cemento los procesos de mezclado y combus - tión se controlan por computadora y se requiere de continuos - muestreos de crudos para analizar con rayos X sus condiciones - de mezclado. Para traer las muestras del tanque alimentador del horno y de los molinos de cilindros de crudos al laboratorio, -

se utilizan pequeños transportadores neumáticos del tipo vacío-presión para liberar el material sin recolección manual. Esto permite a los operadores del laboratorio conocer todo el tiempo la calidad del mezclado de los materiales crudos y efectuar, - cuando así proceda, las correcciones necesarias inmediatamente.

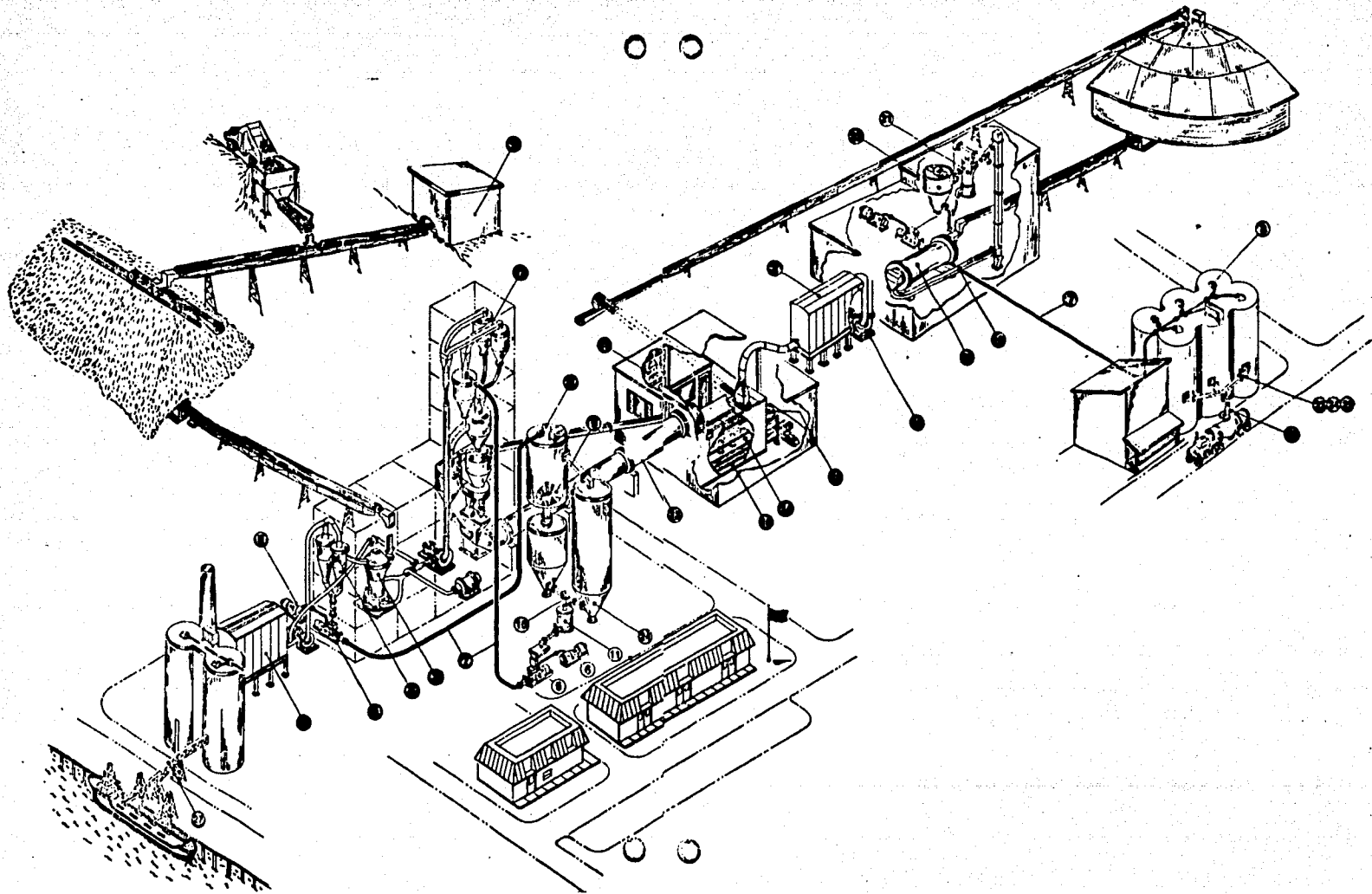
En la siguiente lámina se ilustra un diagrama de flujo de una planta de cemento en la cual se indican sus componentes y las aplicaciones de sistemas neumáticos reseñados anteriormente.

COMPONENTES Y APLICACIONES DE SISTEMAS NEUMATICOS EN UNA PLANTA

TIPICA DE ELABORACION DE CEMENTO

- 1.- Planta Trituradora
- 2.- Colectores de Polvos
- 3.- Molino de Cilindros
- 4.- Ciclones
- 5.- Bomba de Flujo de Sólidos
- 6.- Compresor Rotatorio
- 7.- Líneas de Transporte Neumático
- 8.- Cajas de Entrada a los Silos
- 9.- Sistema de Mezclado
- 10.- Transportadores de Aire Activado
- 11.- Sistema de Control de Niveles
- 12.- Precalentadores
- 13.- Horno Rotatorio
- 14.- Parrilla Enfriadora Horizontal
- 15.- Rompedor de Clinker
- 16.- Transportador de Dragas
- 17.- Mangas Filtrantes
- 18.- Ventilador
- 19.- Tablero de Control

- 20.- Molino de Bolas
- 21.- Enfriador de Cemento
- 22.- Separador
- 23.- Alimentadores Rotatorios
- 24.- Silos de Aeración
- 25.- Sistema de Descarga de los Silos
- 26.- Sistema de Carga a Carros Tolva
- 27.- Sistema de Carga a Barcos



Los plásticos han encontrado en los Transportadores Neumáticos una extensa aplicación entre los segmentos de los procesos que se siguen para su elaboración. En 1930 se utilizaron los primeros Transportadores Neumáticos, para el manejo de resinas fenólicas y madera en polvo que eran empleados en la fabricación de diferentes componentes para radios, teléfonos, aisladores eléctricos, etc.

Al desarrollarse otros materiales plásticos como: resinas vinílicas, acetato de celulosa, nylon, polietileno, poliestireno, polipropileno y otros componentes de fenol, urea y poliéster; e incrementarse su moldeo y extrusión hasta un punto en que era conveniente su manejo a granel, se utilizaron para ello los transportadores neumáticos con las ventajas indicadas en el Capítulo I.

En el diseño de sistemas neumáticos para plásticos se tiene que ser muy cuidadoso con la temperatura del medio de transporte por lo siguiente:

Los plásticos se dividen en 2 categorías: termoplásticos y termofijos. Los primeros tienen la propiedad de fundirse con la

aplicación de calor, por lo cual se requiere que la temperatura del medio de transporte se mantenga abajo de la temperatura de distorsión del material transportado. Los termofijos - tienen la propiedad de permanecer rígidos con la aplicación - de calor, por lo que en este caso la temperatura del medio de transporte no constituye un punto tan crítico.

Los sistemas usados en transporte de plásticos incluyen: vacío, baja presión y tanques de inyección con requerimientos de aire a baja presión. Por ningún motivo deben usarse bombas de flujo de sólidos pues el paso del gusano actuará sobre el material, comprimiéndolo y generando calor, con lo cual puede elevarse la temperatura hasta rebasar la temperatura de distorsión del material transportado. El uso de sistemas de alta presión no es - económico pues se requiere de sofisticados aparatos de enfriamiento.

Los ductos de transporte deben ser de aluminio o de acero inoxidable a fin de evitar la contaminación del producto, la cual también debe evitarse filtrando el aire de transporte. En sistemas de vacío sólo necesita filtrarse el aire en la entrada del sistema, pero en sistemas de presión debe filtrarse en la entrada y - la salida del soplador, pues así se protege el aire de transporte de contaminaciones ocasionadas por herrumbre u otras particu

las que pudieran desprenderse del soplador.

Uno de los problemas más comunes en el transporte neumático - de polimeros granulares es la formación de una película, particularmente cuando las distancias de transporte son grandes, conocida con diferentes nombres: piel de vibora, pelo de ángel, cintillas, etc. Estos términos describen al material - que se desprende de las paredes del ducto de transporte y que se mezcla con el producto manejado. Estas películas se observan en sistemas en que se transporta polietileno. En el manejo de poliestireno se tienen formaciones de películas, pero - no desprendimientos o formación de arroyos. En el manejo de propileno no se han observado formaciones de películas.

Se ha establecido que esta película es más probable de presentarse en el transporte de polietileno de baja densidad elaborado por métodos de alta presión. En el manejo de polietileno de alta densidad elaborado mediante métodos de baja presión las - probabilidades de formación de películas son ligeras y pueden ser controladas.

Se han efectuado muchas pruebas con el propósito de observar - las causas y encontrar las soluciones a estas formaciones de - películas. Para ello se han construido sistemas de vidrio en

las cuales la presencia de películas se puede detectar inmediatamente, al igual que la creación de arroyos. Las pruebas se han llevado a cabo poniendo en el sistema pastillas de polietileno de baja densidad y los resultados han sido los siguientes: la formación de la película se detectó por la presencia de una ligera opacidad, primero en los codos de tubería y después, gradualmente, en las secciones rectas del ducto. Los depósitos iniciales no se desprendieron de las paredes de los ductos hasta que alcanzaron un determinado espesor y fueron observados en el colector ciclónico de vidrio, recuperándose al final del sistema. Del estudio de los resultados anteriores se ha concluido que las formaciones de películas se presentan en función de la velocidad del material a través del sistema y de la fricción entre el material y las paredes de los ductos de transporte. Experimentos diseñados para determinar el coeficiente de fricción de varios materiales con respecto al vidrio y el aluminio han indicado que dicho coeficiente de fricción es mayor en el polietileno de baja densidad que en el de alta densidad.

Una solución al problema anterior se tiene utilizando ductos de superficie rugosa, sin embargo es una solución temporal pues se crea un problema de polvos debido al frotamiento entre las partículas y las paredes rugosas con el resultado de formaciones de

películas diminutas que van llenando la superficie rugosa de los ductos lo cual hace necesario tratar los ductos nuevamente a fin de que recuperen su rugosidad. Esta operación, sin embargo, es costosa, consume mucho tiempo de trabajo y no siempre puede efectuarse cuando se necesita.

Para el manejo de materiales de alta densidad, la solución más práctica parece ser el control de la velocidad, sin embargo hay algunos polietilenos de baja densidad que producen formaciones de películas, aunque se usen las más bajas velocidades de transporte permisibles.

En el manejo de poliestireno se tienen formaciones de películas que representan problemas únicamente cuando se manejan en un mismo sistema materiales de distinto color. La película que se forma no tiene proporciones tales que disminuya la capacidad de transporte por reducir el diámetro de las tuberías, pero si puede contaminar el producto debido al frotamiento del material de un color sobre la película depositada por material de otro color. Lo recomendable en estos casos es usar diferentes líneas de transporte para materiales de diferente color.

No obstante los anteriores problemas, los transportadores neumá

ticos se han desarrollado en la Industria de los Plásticos en forma paralela al rápido crecimiento de la producción y uso - de los polímeros.

Una de las ventajas más importantes que se tiene con el uso de transportadores neumáticos en la Industria Alimenticia, es el alto grado de calidad sanitaria con que pueden manejarse los diferentes materiales. Los molinos de alimentos que estudiaremos reciben granos (maíz, sorgo, avena, cebada, trigo y muchos subproductos de aceite vegetal, grano, almidón, etc) y los procesan en fórmulas alimenticias para ganado, aves de corral y otros animales.

En estos molinos, ya sean grandes o pequeños, se usan los transportadores neumáticos tanto en operaciones de descarga como de transferencia; y dependiendo del material a transportarse se utilizan otros transportadores.

En operaciones de descarga por medio de sistemas de vacío se tiene la ventaja sobre otros transportadores de una gran reducción de las pérdidas por manejo de material. Cuando la descarga de los ingredientes alimenticios a granel se realiza con una pala mecánica, se tienen mermas del 1% al 2%, lo que puede significar pérdidas sustanciales si se tiene en cuenta que en el costo total de la fórmula alimenticia comercial, los ingredien-

tes representan un porcentaje que oscila entre el 65% y 75%. -
Por otra parte, con la Pala Mecánica se corren mayores riesgos de accidentes de trabajo.

En molinos grandes, con producciones de 100 o más toneladas diarias, es común el uso de diversos sistemas de transporte. Cuando las entregas de material se hacen simultáneamente en varios carros de ferrocarril con el propósito de obtener tarifas reducidas de transporte, los granos son descargados en una fosa - que tiene un transportador de gusano liberando el material a un transportador de cangilones que lo depositará en silos adyacentes. En caso de que los silos no estén ubicados al lado de la fosa de recepción de la carga, lo más recomendable es utilizar un sistema de vacío de alta capacidad, conectando una boquilla estacionaria en dicha fosa.

La mayoría de los métodos de descarga en esta industria son a través de sistemas de vacío, por la flexibilidad que presentan para liberar el material de cualquier tipo de transporte. Para un mismo sistema las capacidades de transporte (masa de material/tiempo), son diferentes para cada tipo de material, teniéndose las más bajas cuando se manejan productos de baja densidad -- (20 lb/ft³ o menos) tales como la cebada, la harina de avena, la

leche en polvo, etc. Cuando se manejan granos blandos, como los anteriores, el flujo del cono del filtro-recibidor a la llave de descarga rotatoria se ve impedido por la acción del vacío. Lo que ocurre es que la válvula rotatoria se ve sometida a una presión diferencial, pues mientras las condiciones en la entrada son de vacío, las de salida son atmosféricas, con lo cual se producen soplos de aire de las cavidades del rotor al cono del filtro-recibidor suspendiendo el material y disminuyendo la capacidad de transporte del sistema.

En la descarga de ingredientes alimenticios de grano blando por medio de sistemas de vacío la capacidad de transporte está básicamente en función de su contenido de humedad, de su contenido de aceite y de su tamaño de partícula.

Todos los componentes alimenticios de grano blando son higroscópicos, especialmente las harinas. Aún durante su transporte absorben humedad. Los altos contenidos de humedad ocasionan que los materiales no fluyan libremente y que las pilas, de las que son succionados tengan que ser removidas para que el sistema de boquillas pueda levantar el material, que por la humedad, tiende a pegarse.

dientes han sido procesados, algunos productos terminados se 'peletizan' para facilitar su manejo y eliminar las pérdidas de polvos en los puntos de uso. Cuando estos 'pelets' o pastillas están duros y secos pueden transportarse neumáticamente con pocas pérdidas por roturas y desgaste. Cuando tienen contenidos de grasa elevados son muy friables (desmenuzables) y es muy difícil su manejo cualquiera que sea el tipo de transportador que se emplee.

La rotura de las pastillas se atribuye principalmente a los siguientes factores: formulación del producto, velocidad de transporte y la caída libre en silos y tolvas.

La formulación del producto es un factor que suele descuidarse. Los ingredientes, su preparación y su tratamiento determinan el grado de dureza de las pastillas.

Para mantener las pastillas con un mínimo de rotura y desgaste - deben establecerse velocidades en las tuberías del rango de 4000 a 5000 ft/min ya sea que usen sistemas de vacío o de presión baja. También es importante mantener las cargas más altas posibles de material en la línea de transporte para evitar los movimientos irregulares de pastillas y que choquen entre sí. La tubería debe diseñarse con el menor número de áreas curvas y las termina

les de cada ducto deben ser completamente lisas a fin de que sus uniones a tope cuadren perfectamente. También es recomendable - que al final de la tubería, se disminuya la velocidad terminal de transporte, lo cual se puede hacer con un ducto cónico ubicado - en un punto tal que la velocidad residual sea la suficiente para que el material llegue al final de la tubería y entre al filtro-recibidor o al tanque ya sea que se trate de un sistema de vacío o de uno de baja presión respectivamente.

Al final del sistema, cuando el material es descargado a los silos, debe reducirse lo más posible la caída libre, lo cual puede hacerse utilizando un canal en zig-zag o en espiral. Esto además de reducir la rotura de las pastillas, reduce también la estratificación dentro del tanque.

6.4 INDUSTRIA CERVECERA

La elaboración de un barril de cerveza (31 galones) requiere de 34 lb de malta y 19 lb de maíz molido, por lo que una pequeña cervecería con una producción de 100 000 barriles anuales, usará diariamente unas 13 600 lb de malta y 7 600 lb de maíz. El manejo de esta cantidad de materiales ya hace conveniente el uso de los transportadores neumáticos tanto en operaciones de descarga como de transferencia.

Para sus operaciones de descarga las cervecerías de poca producción usan generalmente sistemas de vacío de 4 a 6 in de diámetro de tubería de transporte con capacidades de 500 a 1000 ft³/hr. Las cervecerías grandes requieren de sistemas de 6 a 8 in con capacidades de 1000 a 2500 ft³/hr para satisfacer sus necesidades. Si se requieren capacidades mayores lo mejor es utilizar 2 sistemas separados. Las distancias de transporte pueden llegar a ser hasta de 1350 ft (410 mts).

La objeción más común que se hace a estos sistemas de vacío, es su facilidad para dañar la malta durante el tránsito en la línea de transporte; sin embargo esto sólo ocurre cuando no se -

toman las precauciones debidas. Las recomendaciones que hay - que considerar son las siguientes:

- a) Mantener una velocidad mínima de transporte. El transportar la malta a alta velocidad equivale a pasarla a través de un pulverizador. En sistemas de vacío la velocidad en la línea de transporte será mayor en la parte final del ducto que en la entrada del material. Para que esta velocidad terminal no sea muy grande debe utilizarse un vacío de operación no mayor de 10 in Hg. Para reducir la velocidad terminal en la última parte del sistema puede ensancharse progresivamente el diámetro del ducto dimensionándolo de tal manera que pueda desplazar el material hasta el final de la tubería.

- b) Usar un flujo de aire lo más denso posible (saturación baja. Mínima cantidad de aire por lb de material transportado). En sistemas presurizados el aire denso permite que se usen bajas velocidades de transporte. En estos sistemas la variación de la velocidad no es tan drástica como en el caso de los sistemas de vacío, pero la presión de operación no debe ser mayor de 10 psig. Como en el caso anterior, la velocidad terminal puede

disminuirse utilizando segmentos de conos invertidos en la parte final de la tubería.

- c) Localizar adecuadamente y minimizar el número de -- áreas de curvatura en las líneas de transporte. También es recomendable que en los cambios de dirección se usen siempre que sea posible ductos de sección rec tan gular para evitar el desgaste y la formación de ca na les en las paredes internas del ducto. Las secciones rectangulares de los codos deben ser placas renovables del metal más resistente a la abrasión. La - transición de la sección circular a la sección rec tan gular y viceversa debe ser suave con el propósito de que la turbulencia en el ducto sea mínima.

Cuando se usen válvulas divisoras deben tener cambios de dirección gradual. Los cambios abruptos ocasionarán que la malta choque contra las paredes internas de los ductos rebotando los granos de un lado a otro y quebrán dose.

- d) Evitar el uso de un solo soplador cuando se emplee un sistema combinado presión-vacío. Cuando el transporte

de la malta se efectúa por medio de un sistema combinado es conveniente separar las trayectorias de vacío y presión en unidades completamente independientes, - esto es, utilizar una bomba de vacío para el sistema de vacío y un soplador para el sistema de presión. Si se usa un soplador para activar ambas terminales del sistema, las variaciones en la cantidad de aire libre manejado por la trayectoria de vacío, debidas a la - carga desigual en el sistema, se reflejarán en la trayaectoria de presión, en velocidades mucho más altas - que las necesarias. Estas velocidades altas deben - evitarse.

- e) Usar alimentadores apropiados cuando se libere material de tanques de almacenamiento. En la recuperación de - la malta de los silos de almacenamiento no deben utilizarse alimentadores rotatorios pues se introducirán - los granos entre las aspas del rotor y el cuerpo del - alimentador, quebrándose. Las pérdidas por este concepto son bajas, pero lo mejor es eliminarlas completamente, lo cual puede hacerse utilizando válvulas rotatorias unidas a boquillas reguladoras de flujo. Cuando el material que va a liberarse de los silos es el maíz

si pueden utilizarse alimentadores rotatorios.

Cuando se tienen sistemas presurizados si deben usarse alimentadores rotatorios para la descarga de la malta de los silos de almacenamiento, pero únicamente como sellos de aire. La capacidad volumétrica del alimentador debe ser por lo menos 1.5 veces mayor que la capacidad de transporte para evitar la formación de material en la parte superior de dicho alimentador. Además debe usarse un dispositivo de medición antes del alimentador rotatorio para evitar sobrecargas en el sistema presurizado y también para reducir la entrada y rotura de granos de malta en los claros del rotor y el cuerpo del alimentador.

Los transportadores neumáticos se usan en las cervecerías para descargar malta, maíz y en ocasiones arroz de carros de ferrocarril, para liberarlo en tanques de almacenamiento. Se utilizan también en la descarga de los silos de almacenamiento a las tolvas pesadoras que son las que liberan el material al proceso de elaboración.

No obstante que normalmente se transportan dos materiales diferentes y en ocasiones tres a través de la misma tubería, la contaminación entre ellos es mínima. Para evitar que los materiales se mezclen es conveniente, una vez que ha terminado el transporte del material, dejar operar libremente el sistema unos 30 - segundos para que se limpien los ductos.

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

CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK
PERRY AND CHILTON. 5a. EDICION

PRACTICAL PNEUMATIC CONVEYOR DESIGN
JOHN FISCHER
CHEMICAL ENGINEERING. JUNIO 2 -1958

DESIGN OF SYSTEMS FOR CONVEYING PNEUMATICALLY
WILBUR G. HUDSON
CHEMICAL AND METALLURGICAL ENGINEERING. FEBRERO -1944

PNEUMATIC CONVEYING
MILTON N. KRAUS
CHEMICAL ENGINEERING. ABRIL 12 Y MAYO 10 -1965

PNEUMATIC CONVEYORS
MILTON N. KRAUS
CHEMICAL ENGINEERING / DESBOOK ISSUE. OCTUBRE 13 -1969

PNEUMATIC CONVEYING
H. A. STOEISS
WILEY - INTERSCIENCE. 1970

HOW TO SELECT A PNEUMATIC-CONVEYING SYSTEM
FRANK J. GERCHOW
CHEMICAL ENGINEERING. FEBRERO 17 -1975

SPECIFYIN COMPONENTS OF PNEUMATIC-CONVEYING SYSTEMS
FRANK J. GERCHOW
CHEMICAL ENGINEERING. MARZO 31 -1975

PNEUMATIC CONVEYING OF GRANULAR PLASTICS

JOHN FISCHER

CHEMICAL ENGINEERING PROGRESS. ENERO - 1962

**MODERN PNEUMATIC BULK HANDLING INSTALLATIONS FOR DE
CHEMICAL AND PLASTIC INDUSTRIES**

H. BREHM

THE SOUTH AFRICAN MECHANICAL ENGINEER. ABRIL - 1976

**PRACTICAL APPLICATIONS OF PNEUMATIC CONVEYING
IN THE MILLING INDUSTRY**

L. BROMLEY

THE SOUTH AFRICAN MECHANICAL ENGINEER. ABRIL - 1976