

# QUIMICA INDUSTRIAL

Revista Científica de la Asociación  
de Químicos Industriales del Uruguay

AFILIADA A LA AGRUPACION UNIVERSITARIA DEL URUGUAY  
Av. AGRACIADA 1464, Piso 13

---

Año III - Volumen I - Junio 1949 - N.º 6

---

## S U M A R I O

### SEGUNDA SECCION

#### Colaboraciones Originales

Las Arcillas Nacionales. Estudio de su comportamiento como  
materias primas para la fabricación de porcelana.

Q. I. Alberto García Capurro . . . . . 455

### TERCERA SECCION

Colaboraciones de revisión, divulgación y enseñanza, traducciones  
Introducción a la Tecnología Química. Tema 18 — Transportes  
de Materiales.

Q. I. Juan P. Cheol . . . . . 487

Tratamiento de Aguas para Alimentación de Calderas. (Con-  
tinuación).

W. Feller . . . . . 515

### CUARTA SECCION

#### Bibliografía Química Nacional

Resúmenes . . . . . 527

### QUINTA SECCION

Noticias de interés para la Industria . . . . . 533

### SEPTIMA SECCION

#### Legislación, Patentes y Privilegios

Información sobre Patentes y Privilegios Nacionales . . . . . 549

Modo práctico de recuperar una partida de Hilado de Algodón  
teñida defectuosamente con colorantes directos.

Q. I. Heriberto Márquez . . . . . 481

# INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA

## QUIMICA

Q. I. JUAN P. CHEOL

TEMA 18

### TRANSPORTE DE MATERIALES

#### A) TRANSPORTE DE SOLIDOS. ELEMENTOS NECESARIOS A ESE TRANSPORTE.

Aunque en general los materiales son transportados, siempre que sea posible, en forma de flúidos (líquidos o gases), existen numerosos casos en los que deben transportarse en forma sólida.

La elección del equipo para este propósito depende de un gran número de factores, los más importantes de los cuales son: capacidad necesaria, forma y tamaño del material y también si el transporte debe hacerse en forma vertical, inclinada u horizontal.

En cualquiera de los casos mencionados, el equipo es diseñado sobre las bases de la experiencia, más bien que sobre métodos racionales de cálculo.

Una clasificación conveniente de algunos de los tipos de transportadores más importantes es la siguiente:

- 1) Transportadores a correa.
- 2) " " raspadores.
- " " de planchada.
- " " cangilones.
- Elevador de cangilones.
- 3) Transportadores a sin-fin.
- 4) " " neumáticos.

#### 1) *Transportadores a correa*

Consisten en una correa sin-fin sobre la cual son transportados los sólidos y consta de los siguientes elementos: la correa, el mecanismo propulsor, los soportes y los estiradores.

Además si la carga no es a mano (paquetes grandes, etc.) son necesarios dispositivos de alimentación y descarga.

Comúnmente la correa es de lona o goma o también de otros materiales como acero al carbono muy delgado.

El elemento más sencillo posible es una polea motora actuada por una fuente de potencia. Este método es satisfactorio cuando la potencia a ser transmitida es suficientemente pequeña como para ser transmitida por la fricción de la correa contra la polea motora. El próximo paso

consiste en utilizar poleas recubiertas con goma o cuero de manera de aumentar el coeficiente de fricción. Si aun así no es suficiente, se utiliza la propulsión en "tandem".

Los soportes son generalmente rodillos que giran sobre un eje, contruídos en gran variedad de formas. Los más costosos son montados sobre cojinetes de rodillos y con grasera al tope. En general se construyen de tal modo que la correa haga una depresión en el centro y tenga así los bordes elevados (fig. 3).

Esto permite a una correa de un ancho determinado, transportar más material sin peligro de derrame.

Los cambios de carga y sobre todo los de temperatura y humedad ambiente, producen variaciones en la longitud de la correa, variaciones que es necesario modificar para asegurar el grado de tirantez requerido.

Existen estiradores automáticos por gravedad y también sistemas a tornillos (fig. 4).

El sistema más sencillo de alimentación es por medio de una tolva que debe ser diseñada de tal modo que la componente horizontal de la velocidad que impulsa el material por la tolva, sea lo más cercana posible a la de la correa misma.

La descarga de la correa varía si se hace en un extremo o en un punto intermedio. En el primer caso la descarga es automática y el material cae en el exterior.

Para descargar en puntos intermedios es necesario alguno de los siguientes dispositivos: 1) Raspadores. 2) Soporte volcador. 3) Cambio de dirección. 4) Transportador lanzadera.

El dispositivo raspador es innecesario describirlo, una placa de metal que cruza diagonalmente la cinta y obliga al material transportador a vertirse hacia un lado. El soporte volcador consiste en uno de los soportes comunes a rodillos, pero colocado con su eje inclinado de tal modo que vierte el producto hacia un costado. No es un sistema de resultados muy satisfactorios porque la descarga no se hace en un punto determinado sino todo a lo largo de una zona.

El cambio de dirección se realiza por medio de dos poleas colocadas de tal modo que obliguen a la correa a volver hacia atrás por un corto trayecto. El material que cae en el extremo A se recoge y puede ser enviado hacia uno o hacia ambos lados de la correa.

Este dispositivo puede ser fijo o móvil a lo largo de la correa para descargar el material en cualquier punto que se desee.

El transportador lanzadera, es un transportador pequeño que cruza en ángulo recto al principal y lo descarga de este modo.

#### *Diseño del transportador de correa*

Velocidad y ancho de la correa son los factores determinantes de la capacidad del transportador. Para material relativamente fino, la carga asumirá una sección uniforme si la alimentación es correcta. Si

el material contiene trozos grandes, puede utilizarse una correa estrecha, especialmente si la alimentación es irregular.

Cada fabricante de equipos de correas transportadoras, publica tablas estimativas y fórmulas prácticas para la determinación del tamaño y tipo de transportador a utilizar y los consumos del mismo. De un modo general, puede decirse que los transportadores a correa no deben marchar a velocidades mucho menores de 200 ft/minuto.

Como el costo inicial del transportador es el mismo para cualquier velocidad usada (se entiende dentro de velocidades normales), si se emplean velocidades muy bajas, el costo puede ser excesivo frente al peso de material transportado por hora. Un transportador más angosto, a mayor velocidad, puede transportar la misma carga con un costo inicial mucho más bajo. Por otra parte, velocidades muy superiores a 500 ft/minuto no deben emplearse por el desgaste prematuro del equipo y las pérdidas de materiales que pueden producirse.

La potencia requerida por el transportador a correa podemos dividirla en: potencia requerida para dar velocidad a la carga y a la correa misma; potencia para vencer la fricción en soportes, etc.; potencia necesaria para operar los elementos de descarga y en el caso de transportadores inclinados, potencia necesaria para elevar la carga al nivel superior.

La inclinación máxima posible para un transportador a correa empleado como elevador en esas condiciones es de 15-20° y el aumento de potencia necesario es de 0,001 H.P. por cada ft/tonelada de carga por hora.

Además del ancho de la correa, debe conocerse el espesor de la misma (peso) que se determina por tablas una vez conocidos los valores de ancho de la correa, velocidad de la misma y potencia que se le aplica.

## 2) *Transportadores a cadenas*

En contraste con los transportadores a correa que son instalaciones compradas completas y de elevado costo, los transportadores a cadenas son baratos, simples y pueden construirse en cualquier lugar y para los usos más variados.

El tipo más simple es el raspador y sus ventajas inmediatas: bajo costo inicial, adaptabilidad a una gran variedad de condiciones de trabajo, facilidad para manipular piezas grandes, etc.

Las desventajas son su consumo de energía relativamente elevado y el costo de las reparaciones necesarias si está en servicio continuo. Estas condiciones son las opuestas del transportador de correa, en consecuencia, en los casos donde la carga es pesada, la distancia larga y el costo inicial sin importancia en comparación con los consumos de energía y gastos de reparaciones, debe, siempre que el material a transportar lo permita, emplearse la correa transportadora. Cuando la distancia es corta, la carga liviana o intermitente se utiliza generalmente el transportador a cadenas.

Un transportador por arrastre como es el raspador, puede ser construido en diversos materiales, madera, metal, etc. (fig. 5).

Si se desea mantener la cadena fuera del material a ser transportado se carga la parte inferior del transportador; si esto no es necesario, se pueden hacer actuar las paletas de arrastre de la parte superior, cargando el material en ese tramo.

La capacidad de un transportador raspador está dada por el número de unidades de peso que transporta cada paleta, pero que varía con el tamaño de la paleta y con la densidad del material a ser transportado.

La velocidad de trabajo de un transportador de este tipo es variable, pero la más corriente es de 100 ft/minuto y su eficacia para elevar carga la siguiente:

<i>Inclinación</i>	<i>Capacidad % de la horizontal</i>
20° .....	77 %
30° .....	55 %
40° .....	33 %

Los porcentajes representan las fracciones del total que llevaría el mismo transportador sobre la horizontal.

El consumo de energía de un transportador de cadena está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{H.P.} = \frac{0,06 S L F W_e + T(L'F' + H)}{600}$$

En la cual: H.P. = Caballos en el motor.

L = Largo horizontal total proyectado del transportador en ft.

S = Velocidad del transportador en ft/minuto.

F' = Factor de fricción para cadenas y paletas (varía entre 0,6 y 0,2, según cadena).

W<sub>e</sub> = Peso total de cadenas y paletas, en lbs/ft del largo del transportador.

T = Toneladas de material transportadas por hora.

L' = Largo horizontal total proyectado de la sección cargada del transportador, en ft.

F = Factor de fricción para la carga (Ejem. 0,6 para carbón).

H = Elevación vertical en ft.

### Transportadores de planchada

Siempre dentro del tipo 2 de transportadores tenemos los de planchada que son utilizados generalmente para cargas pesadas en trayectos cortos.

Los más elementales constan de dos cadenas a las que se unen barras horizontales del tipo cortina que puede girar en los extremos del transportador.

El consumo de energía aproximado de este tipo de transportador, está dado por la fórmula:

$$\text{H.P.} = \frac{\text{Carga en lbs.} \times \text{velocidad en ft/minuto}}{33.000}$$

### Transportadores de cangilones

Consisten en un par de cadenas unidas por cubas en forma adecuada al material a transportar.

Más que transportadores podríamos llamar a este tipo elevadores, ya que la descarga se hace en un punto superior a la carga y en la generalidad de los casos el ángulo de elevación es superior a los 15-20° que habíamos visto para los transportadores a correa, o los 30° aproximadamente de elevación que admite un transportador raspador.

Por lo general estos elevadores actúan encerrados en una caja metálica o de madera.

El consumo de energía está dado aproximadamente:

$$\text{H. P.} = \frac{\text{H T}}{500}$$

o para cubas espaciadas y carga por arrastre

$$\text{H. P.} = \frac{\text{H T}}{550}$$

o para cubas espaciadas y carga por arrastre

H = Distancia en feet de centro a centro del elevador.

T = Tonelada por hora.

### 3) Transportadores a sin-fin

Constituyen un tipo muy importante para el transporte de materiales en forma finamente dividida o sólidos pastosos, escamas, etc.

Los elementos principales de estos transportadores son: la chapa metálica (tornillo) provista de un eje y la caja metálica con su parte inferior en forma de U por donde avanza el material transportado. La forma de la espiral metálica varía con el trabajo, y el producto a mover: si se desea a la vez agitar, se la provee de paletas adicionales; si es para materiales pastosos, se utiliza sólo una cinta metálica angosta en lugar de la espiral llena hasta el eje, etc. El material de que se construye varía también con la naturaleza de los materiales en contacto (abrasivos, corrosivos, etc.).

Las cajas pueden ser también de madera y el eje, además de los soportes extremos que son los principales (uno o ambos propulsores), tiene especialmente dispositivos de sostén provistos de cojinetes para facilitar la rotación.

Las velocidades de rotación varían con el tipo de transporte que se haga: para *cereales* entre 200-160 r.p.m.; para *arena, pedregullo*,

cenizas, entre 125-80 r.p.m.; para carbón (trozos de no más de 1"), 110-80 r.p.m. y para cemento entre 125-85 r.p.m. (fig. 6).

La potencia requerida está dada por la siguiente fórmula aproximada:

$$H. P. = \frac{K C D L}{2.000.000}$$

o también

$$H. P. = \frac{W L K}{33.000}$$

En cualquiera de las dos fórmulas:

K = Constante: 1,2 para cereales; 2,5 carbón fino, cementos, etc. y 4,0 para arena, cenizas, etc.

C = Capacidad en ft.<sup>3</sup>/hora.

D = Peso material en lbs/ft.<sup>3</sup>

W = Peso del material movido en lbs/minuto.

L = Largo del transportador en ft.

#### 4) Transportadores neumáticos (fig. 7)

En este sistema, el material es transportado en suspensión en el aire y se emplea siempre por esta razón con materiales livianos.

En la industria de la ceniza de soda, es éste el único sistema de transporte posible dado el gran poder de ataque de este material.

Los elementos comunes a todos los transportadores neumáticos son:

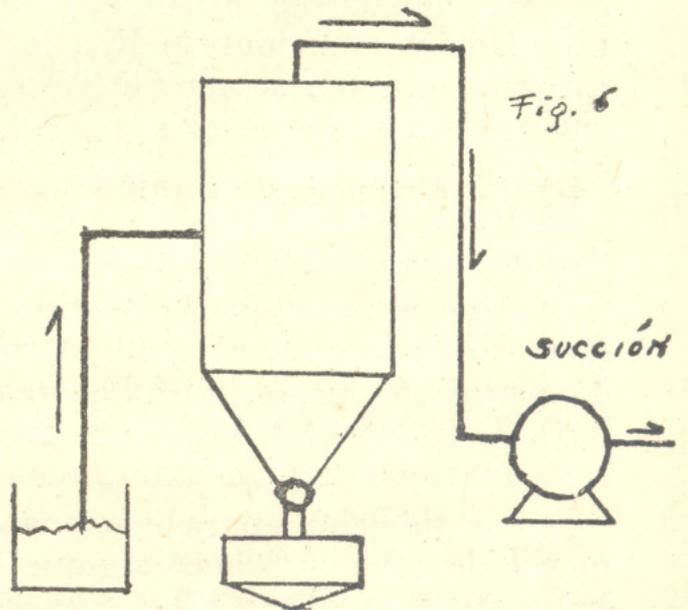
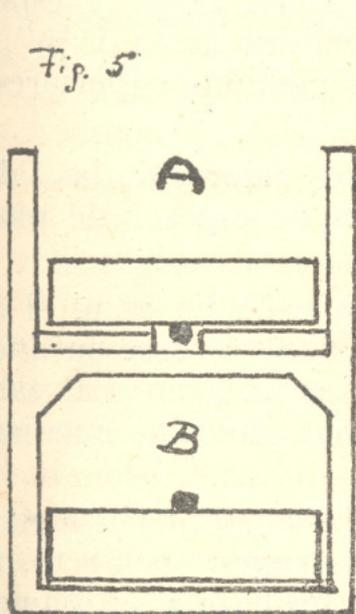
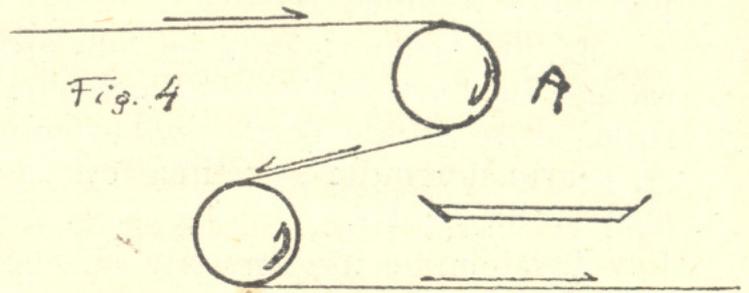
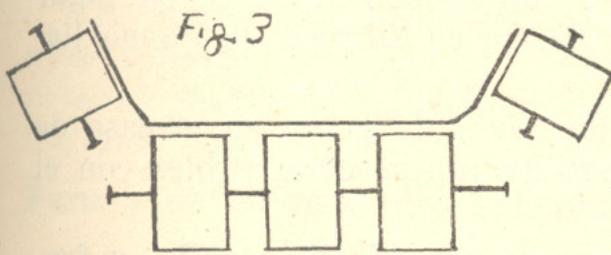
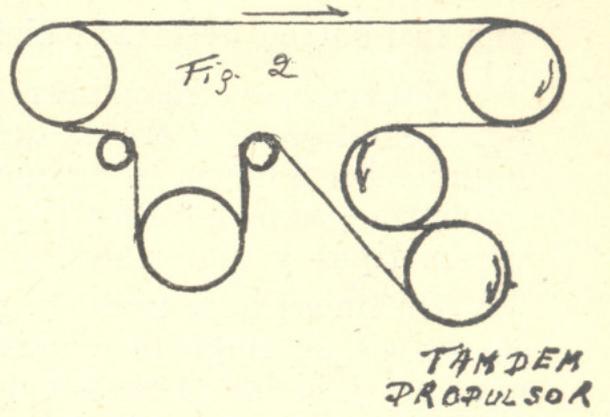
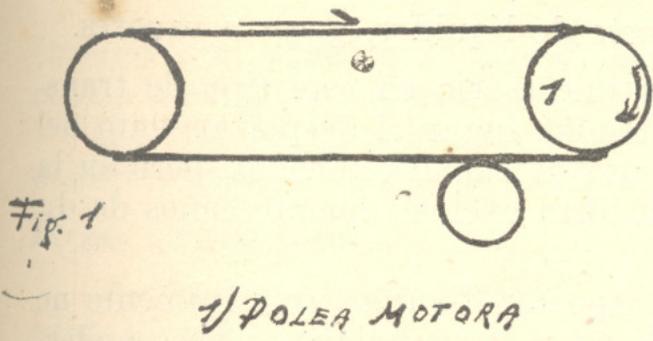
Una bomba o ventilador para producir la corriente de aire, un recipiente para separar las partículas mayores y frecuentemente, aunque no siempre, un separador de polvo del tipo de saco de tela. La velocidad del aire puede estar entre unos pocos cientos hasta 5.000 ft/minuto y habitualmente se emplean de 50-100 ft.<sup>3</sup> de aire por cada lb. de producto transportada.

En los esquemas, el N.º 1 trabaja a succión y el N.º 2 a presión. La desventaja más notable de este tipo de transportadores, es el elevado consumo de energía que exigen.

#### B) Transporte de líquidos, gases y vapores. Elementos necesarios a ese transporte

El transporte de materiales bajo la forma de flúidos es tanto más económico y conveniente que el transporte de sólidos que, siempre que es posible se utiliza industrialmente el movimiento en forma de líquidos, soluciones, etc.

Veremos en primer término los elementos y dispositivos empleados en el transporte de líquidos, así como los elementos mecánicos que originarán el movimiento. Posteriormente estudiaremos el aspecto técnico de los problemas que con más frecuencia se plantean, al planear



una instalación destinada al transporte de líquidos, gases o vapores.

**Cañerías.** — El primer elemento necesario en este tipo de transporte es el canal a través del cual tendrá lugar el desplazamiento del líquido. En minería es frecuente el uso de canales abiertos, pero en la industria podemos admitir que se utilizan exclusivamente caños de diversos tipos y materiales.

En líneas bajo tierra y que transportan líquidos relativamente no corrosivos, se emplean generalmente caños de fundición o más modernamente y si las presiones de trabajo no son excesivamente altas, cañerías de fibro-cemento.

Las cañerías de fundición son más pesadas y caras que otras cañerías que se describirán posteriormente, pero tienen una resistencia a la corrosión bastante mayor que las cañerías de hierro comunes.

Regularmente se hacen en tamaños superiores a 3" y el largo usual por pieza es de 12 ft.

La junta más común en esta clase de cañería es la de campana y espiga. La parte inferior de las campanas se rellena con estopa; en la superior se funde plomo embutiéndolo con cincel. A veces en lugar de plomo derretido se utiliza un tipo de forma fibrosa de plomo llamado lana de Pb.

También se usa amianto en cuerda; aros de goma en el caso de cañerías de fibro-cemento y otras clases de juntas compatibles con el uso a que se destinan las cañerías.

Los caños de hierro fundido no se unen por platinas dada su fragilidad que ocasionaría una rotura a la menor desalineación de la cañería.

Bajo la denominación de "cañerías de hierro", se conoce toda una serie de materiales que tienen una característica común que permite definirlos: son aceros con bajo porcentaje de C.

Se construyen arrollando una banda chata del largo y espesor adecuado y soldándola todo a lo largo. Para medidas hasta 1 1/2", las cañerías se unen solamente y se sueldan; para medidas superiores se superponen y después se sueldan.

Las cañerías son diseñadas de acuerdo con los valores de las tablas "BRIGGS STANDARD" con todos los detalles de espesor de pared, diámetro interior y exterior, roscas, etc.

Debe notarse que la medida nominal de un caño no es ni el diámetro interno ni el externo, salvo para las medidas mayores en que la denominación indica aproximadamente el diámetro interno. Las tablas "BRIGGS STANDARD" no incluyen datos para cañerías de diámetro superior a 12".

Las tuberías (para condensadores, serpentines, etc.) son generalmente de cobre o bronce aunque también se construyen en hierro, níquel y otros metales y aleaciones. Se comercializa en base a su diámetro

externo y al espesor de pared, siendo frecuente encontrar para una misma medida de diámetro, varios espesores de pared.

El espesor de pared en tubos de bronce y cobre es expresado generalmente en términos de B.W.G. (Birmingham Wire Gage).

### Piezas adaptadoras

Aplicadas en los lugares adecuados de una cañería, las piezas adaptadoras llenan uno o más de los siguientes cometidos:

- 1) Unir dos trozos de caño. (Uniones dobles, cuplas, etc.).
- 2) Cambiar la dirección de la línea. (Codos, tees, cruces, ángulos, etc.).
- 3) Cambiar el diámetro de la línea. (Reducir o ampliar).
- 4) Conectar ramales. (Cruces, tees, ángulos, etc.).
- 5) Terminar una línea. (Tapones, juntas ciegas, etc.).

En el 90-95 % de los casos se emplean piezas construídas en fundición gris. Para condiciones de trabajo muy severas, vibraciones, etc., se emplean de hierro maleable y para elevadas presiones, de acero fundido.

Se construyen y conocen bajo las siguientes denominaciones: "baja presión hasta 25 lbs/inch.<sup>2</sup>", "standard" hasta 125 lbs/inch.<sup>2</sup>; "extra pesada" hasta 250 lbs/inch.<sup>2</sup>, e "hidráulicas" entre 300 y 1.000 lbs/inch.<sup>2</sup>

### Formas de unión de las cañerías

Dos trozos de cañería pueden unirse según una gran variedad de métodos, de los que se mencionarán los más importantes.

Las uniones pueden realizarse por soldadura, método que se emplea mucho actualmente o si se prefiere se emplean piezas adaptadoras como las ya citadas (cuplas, uniones dobles) en cañerías hasta 2" de diámetro.

Para cañerías de mayor diámetro, este tipo de unión por pieza adaptadora es considerado malo y en su lugar se emplea el método universal de unión por platina o brida abulonada.

Según el tipo de enfrentamiento de las platinas tendremos: caras planas, estriadas o acanaladas, de embutir, canal y reborde, etc. y según como se una la brida al caño: roscada, doblada y golpeada, remachada, soldada, etc.

Otro detalle a considerar en las cañerías son las puntas de expansión, elemento necesario en toda línea de largo considerable que esté sometida a cambios de temperatura.

La forma más corriente de absorber las dilataciones y contracciones de una línea es incluyendo en ella un trozo de figura geométrica adecuada que permita esa variación (omega, ese, etc.).

Deben disponerse de tal modo que cada una de ellas reciba una fracción de la variación total.

A veces, para bajas presiones se emplean dispositivos con juntas que permiten deslizarse un caño dentro del otro (telescopio) y absor-

ben así las variaciones de longitud de la línea.

### Soportes y aislación de cañerías

Si las cañerías son internas o externas, se utilizan distintos tipos de soportes de acuerdo con las oportunidades que brinden paredes, vigas, columnas, etc., ya existentes.

Todos los manuales presentan distintas formas de soportar cañerías que creemos innecesario ilustrar aquí en detalle.

Con respecto a la aislación de cañerías, calderas, aparatos, etc., en los cuales puede ser transportado, generado o almacenado un vapor o un líquido caliente, debemos indicar que representa un factor muy importante a considerar en la mayoría de las industrias.

La cantidad de calor proveniente de un fluido caliente separado del aire ambiente por una chapa metálica, es medida por el número de unidades de calor que se transmiten en la unidad de tiempo y es expresada generalmente en B.T.U. por ft.<sup>2</sup>/hora.

La velocidad de transmisión a través de un cierto espesor y para una diferencia de temperatura determinada, establece la conductividad del material usado en el ensayo. Un menor número de unidades de calor pasará a través de un material de baja conductividad, que a través de igual espesor de otro material de alta conductividad.

La eficiencia de una aislación es expresada por el % de calor recuperado por la aislación.

Existen gran número de sustancias comerciales aislantes pero las más comunes en uso son: para cañerías que transportan fluidos con temperaturas hasta 600° F, magnesia a 85 % y para fluidos con temperaturas por encima de 800° F, fieltro de esponja de amianto. Los espesores adecuados que varían con el diámetro del caño a forrar, se indican en tablas.

En líneas externas, es necesario proteger la aislación contra la acción del tiempo y para ello se recubre con telas alquitranadas o aun envolventes metálicas finas si las condiciones son muy severas.

**Válvulas.** — Para controlar la corriente de fluidos en una cañería desde las posiciones extremas de "abierto" a "cerrado" pasando por todas las intermedias, se emplean válvulas de materiales y construcción muy variados y que podemos clasificar así:

- 1) Grifos.
- 2) Válvulas de globo {Asiento cambiabile (metálico o de com-  
posición).  
Asiento fijo.
- 3) Válvulas esclusa.
- 4) Válvulas de retención.
- 5) Válvulas reductoras.
- 6) Válvulas de seguridad.

Los grifos representan el método más sencillo de regular el caudal

de un fluido. Consisten en un cuerpo de bronce en el que ajusta una pieza cónica con una abertura que puede colocarse confrontando la línea. Debe estar provisto el vástago de empaquetadura para evitar las pérdidas.

Se utilizan generalmente para aire comprimido, raramente para agua o vapor. Una de sus desventajas es su dificultad de maniobra (las hay lubricadas) y otra el hecho de que por ser el área de la abertura grande, pequeñas variaciones al abrirlo o cerrarlo producen grandes variaciones en el caudal controlado. Se usan entonces con más frecuencia para casos en que sólo se utilizan las posiciones extremas de todo abierto a todo cerrado.

Las válvulas de globo están constituidas por un cuerpo de forma esférica que produce el cierre sobre un anillo denominado "asiento" y que en las válvulas de calidad es cambiabile. Son empleadas para vapor especialmente y el mayor gasto inicial en una válvula de asiento cambiabile es ampliamente compensado con la facilidad de reparación posterior.

Las válvulas de esclusa se emplean construidas en diversos tipos de materiales para controlar el pasaje de líquidos en cañerías en posiciones intermedias de la esclusa o en las extremas de abierto o cerrado.

Las válvulas de retención (automáticas) se utilizan cuando en una línea sólo se emplea el movimiento en una única dirección y se desea evitar un retroceso.

Cuando en un sistema se necesita mantener en una parte del mismo una presión uniforme e inferior a la del resto, se instala una válvula reductora operada automáticamente.

El diagrama corriente de instalación de estas válvulas es el indicado en la fig. 8.

El "by-pass" es necesario para evitar una posible alteración y puesta fuera de uso momentánea de la válvula reductora.

En ese caso se trabajaría regulando la presión a mano mediante la válvula 1 después de haber cerrado las válvulas 2 y 3 para aislar la reductora y repararla. La válvula de seguridad automática 5, cumple la misión de descargar a la atmósfera un exceso de la presión admitida como de trabajo después de la reductora y se instala para prever una falta ocasional de la misma, así como percances originados en la regulación a mano a través de 1.

Las válvulas se construyen de diversos materiales: hasta 2" con de bronce, en medidas superiores, el cuerpo es de hierro con las partes principales, disco, asiento y a veces vástago de bronce. Para vapor recalentado a altas presiones se construyen en metal "Monel" (aleación de níquel y cobre).

### **Materiales especiales para transporte de líquidos corrosivos**

Ocurre con frecuencia en la industria, que es necesario transportar materiales cuyas propiedades corrosivas no permiten el empleo de cañerías comunes de hierro. Veremos alguno de los materiales espe-

ciales empleados en cada caso, ya que no hay uno único que pueda ser empleado en todos los casos.

La porcelana es muy resistente a la acción de los ácidos pero débil y de fácil fractura. No puede emplearse en cañerías sometidas a elevación de temperatura puesto que rompe fácilmente. Las uniones de caños de porcelana se realizan por medio de bridas especiales.

Un material, muy usado actualmente, es el vidrio "Pirex" industrial, para cañerías, juntas, etc., que presenta como ventaja sobre la porcelana las de ser más fuerte, liviano y resistir mejor los cambios de temperatura.

El "Duriron" es un hierro con alto porcentaje de Si, muy resistente a los ácidos y que se fabrica en varias formas y medidas. Su defecto principal radica en que es extremadamente frágil, duro y de alto coeficiente de expansión térmica.

El plomo es muy empleado por su propiedad de ser especialmente resistente a soluciones que contengan  $H_2SO_4$ . Los caños y piezas de este material se unen por soldadura entre sí y su defecto mayor es que cualquier acción externa, golpe, etc., o aun el peso del caño, provocan una deformación permanente debido al bajo límite elástico de este material.

El cobre y bronce son muy usados en las más diversas industrias. El cobre es resistente prácticamente a todos los ácidos (excepto el  $HNO_3$ ) en moderadas concentraciones y siempre que se evite la oxidación.

Las juntas en el caso de cañerías de cobre se hacen con bridas de bronce o doblando el borde de cobre del caño sobre una brida de hierro que no queda en contacto con el líquido corrosivo.

El bronce se usa casi exclusivamente en las válvulas hasta 2", en placas de condensadores, etc.

Además de los materiales ya mencionados, se pueden utilizar también especiales que se pueden clasificar de acuerdo al componente principal.

Las aleaciones con base de Cu son costosas y están constituidas por 4 ó 5 elementos.

Las que tienen el Fe como base son aleaciones con Cr y Ni o ambos metales, algunas conocidas como "stainless-steel".

El metal monel es una aleación de 65 % Ni, 30 % Cu y otros elementos, muy resistente a la corrosión.

También puede obtenerse en la actualidad Ni puro a relativamente bajo precio en forma de tubos, planchas, etc.

## B o m b a s

Un gran número de bombas que difieren grandemente en principio de funcionamiento y construcción mecánica, ha sido desarrollado para atender las distintas operaciones de la industria actual.

Ninguna bomba o tipo de bomba puede ser considerado como el

más importante, ya que todas las que describiremos a continuación son de gran utilidad en la operación específica a que se afectan.

**Eleva-ácidos (fig. 9)**

Posiblemente el método más sencillo de transporte para un fluido es desplazarlo del recipiente que lo contiene por medio de aire comprimido. Los elementos indispensables para un dispositivo de esta naturaleza son: el recipiente que contendrá el ácido (1), la cañería de transporte que llega casi al fondo del recipiente (2), la cañería de llegada de ácido (3) y la cañería de llegadas de aire comprimido (4), provista de manómetro.

Cuando la presión en el manómetro cae, indica que todo el líquido hasta el caño (2) ha sido desplazado y está escapando a través del caño (2) el aire comprimido.

Las principales desventajas de este método de transporte de líquidos son en primer lugar que la operación es discontinua y en segundo lugar el consumo de energía es elevado, puesto que hacia el final de la operación el recipiente estará lleno de aire comprimido que pasará instantáneamente a la atmósfera sin producir trabajo alguno.

**Elevador a aire comprimido (fig. 10)**

Un uso más eficiente del aire comprimido como agente transportador de fluidos está representado por el elevador a aire. En este aparato, el tubo de descarga está sumergido en el líquido a transportar y el chorro de aire comprimido se admite por el extremo sumergido.

Existe una fórmula aproximada deducida de la práctica que da el volumen de aire necesario para elevar un galón de agua.

$$V_a = 0,8 \frac{H_t}{C \log \frac{H_s + 34}{34}}$$

en la cual:

$V_a$  = Ft<sup>3</sup> de aire comprimido necesario para elevar 1 galón de agua.

$H_t$  = Elevación total.

$H_s$  = Distancia del nivel del agua a salida del aire.

$C$  = Constante con los siguientes valores:

$H_t$ = 10- 60 ft	.....	$C$ = 245
" = 61-200 "	.....	" = 233
" = 201-500 "	.....	" = 216
" = 501-650 "	.....	" = 185
" = 651-750 "	.....	" = 156

$H_s$

La relación  $\frac{H_s}{H_s + H_t}$  podrá variar entre 0,66 para una elevación

de 20 ft. a 0,41 para una elevación de 500 ft.

La ventaja de este sistema sobre el anterior radica en su continuidad y mayor eficiencia, además no existen partes móviles que ocasionen trastornos.

### Eyectores

Otro método común de transportar un fluido por medio de un dispositivo que carezca de puntos móviles es por medio del eyector.

La expansión de un fluido (vapor generalmente) a través del aparato produce una succión que origina el transporte.

El aparato más común que emplea este principio es el "inyector" empleado para alimentación de agua en generadores de vapor.

### Bombas recíprocas

Antiguamente el método más importante en el movimiento de fluidos era por el empleo de alguno de los diversos tipos de bomba recíproca. Estas bombas son aún de gran utilidad y se emplean de preferencia aún en casos en que las bombas centrífugas prestarían mejor servicio, por motivos que estudiaremos posteriormente con más detalle.

Las bombas recíprocas pueden ser estudiadas clasificándolas de varias maneras, pero la principal base de clasificación la constituye el cilindro de agua. Las construcciones más comunes son:

- |            |           |                         |  |
|------------|-----------|-------------------------|--|
|            |           | (Empaquetadura interna. |  |
| a) Pistón. | b) Émbolo | }                       | externa. (al centro.<br>} en el extremo. |
|            |           |                         |  |

Además de esta clasificación, las bombas pueden ser de "simple acción" o "doble acción" y desde el punto de vista de la potencia motora pueden ser a vapor o "power".

También se clasifican según el tipo de válvulas que tengan o, de acuerdo al número de cilindros de agua operados en "simplex", "duplex", "triplex", etc.

Las bombas a pistón se emplean para elevar líquidos hasta alturas de 150-200 ft. siempre que no se trate de líquidos corrosivos, muy viscosos o abrasivos.

Las velocidades de marcha normal de estas bombas se miden en pistonadas por minuto y de un modo general se admite:

- |                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| Para pistones hasta 10" diámetro ..  | 100-125 pist/minuto. |
| Para pistones de más de 10" diámetro | 100 " "              |

Las bombas a émbolo se diferencian de las anteriores en que en estas últimas el pistón lleva consigo la empaquetadura en forma de aros de metal o materiales especiales, mientras que en este tipo la empaquetadura permanece fija, desplazándose sólo el émbolo. Este detalle presenta ventajas sobre todo en bombas de tamaño grande por la accesibilidad a la empaquetadura para su reposición.

Las bombas "Power" son construídas con el cilindro de vapor y el de agua en extremos opuestos del mismo vástago y por consiguiente son accionadas por presión directa del vapor.

Fig. 7

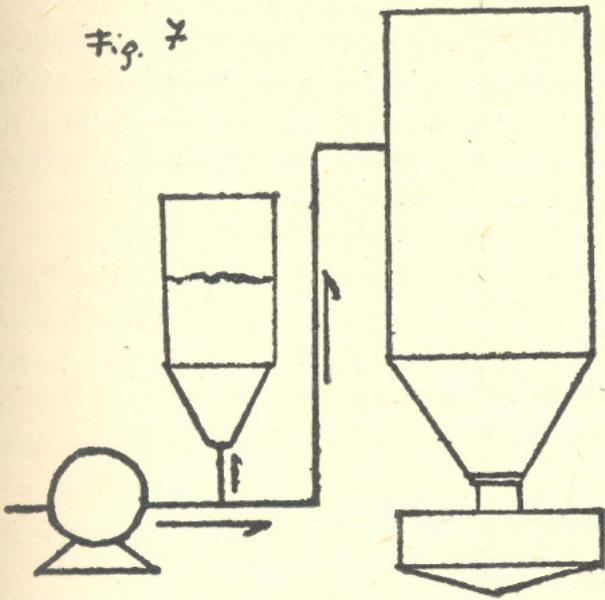


Fig. 8

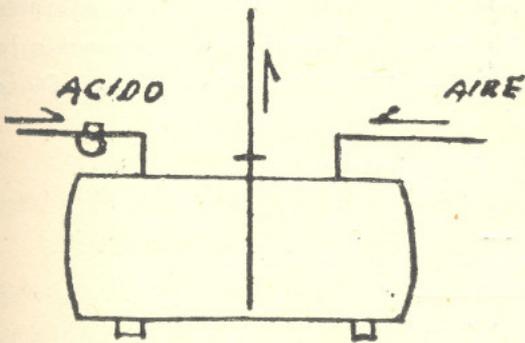
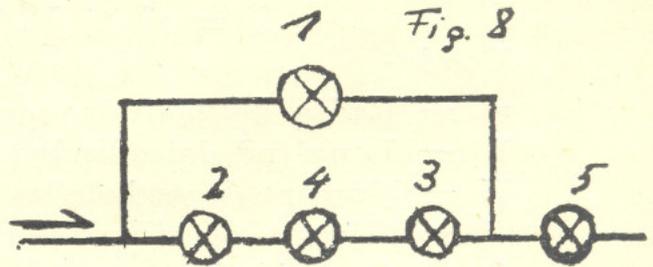


Fig. 9

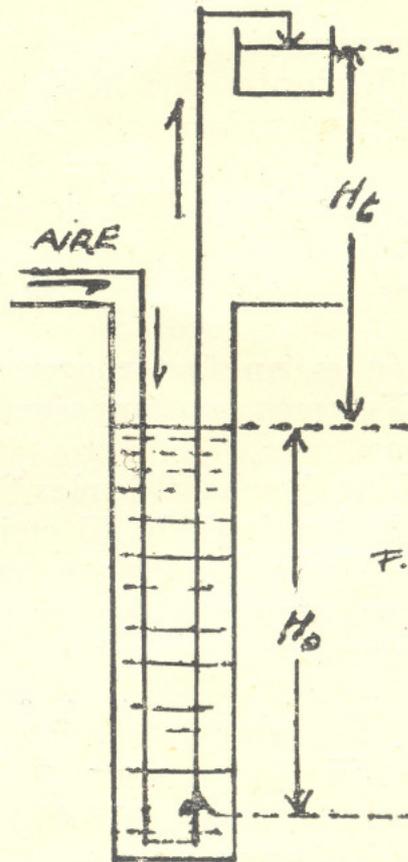


Fig. 10

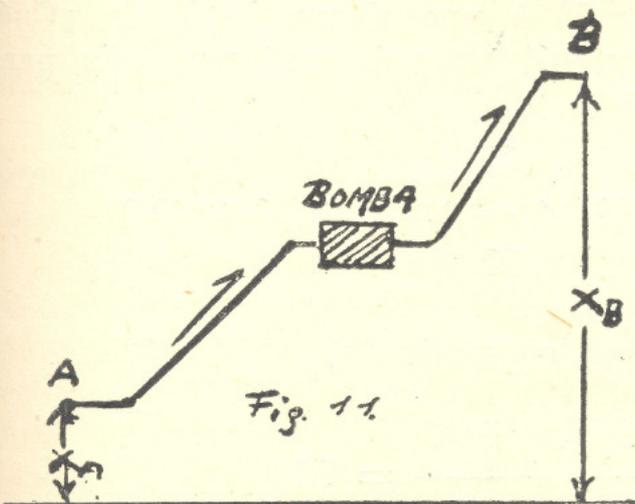


Fig. 11

**Capacidad teórica de una bomba recíproca**

La capacidad teórica de una bomba a pistón o a émbolo está en relación directa con el volumen del o los cilindros y el número de emboladas por minuto y se expresa por la siguiente fórmula:

$$Q = r^2 \times 3,1416 \times L \times N \times C$$

Donde:

- r = Radio del cilindro en ft.
- L = Longitud del cilindro en ft.
- N = Número de emboladas por minuto.
- C = Número de cilindros de la bomba.
- Q = Capacidad en ft.<sup>3</sup>/minuto.

Si se desea expresar la capacidad en galones:

$$Q \times 7,48 = N.^{\circ} \text{ galones/minuto}$$

También es necesario que intervengan en la fórmula la eficiencia de la bomba en forma de factor: 0,9 - 0,8 etc.

La potencia necesaria para accionar la bomba está en relación directa con: la cantidad de líquido que ésta suministra en un tiempo dado; con la densidad del líquido y con la altura a que ese líquido debe ser elevado. Por lo tanto, si llamamos T al trabajo efectuado en un minuto, Q a la cantidad de líquido que es bombeado expresada en ft<sup>3</sup>/minuto, d a la densidad del líquido y H a la altura en ft. a que debe bombearse, tendremos:

$$T = d \cdot Q \cdot H \text{ lb/ft/minuto}$$

y la potencia en H.P. será:

$$H.P. = \frac{d \cdot Q \cdot H}{33.000 \times n}$$

(n es un factor correspondiente al rendimiento.)

Veremos con un ejemplo la aplicación práctica de las fórmulas citadas.

Una bomba "duplex" cuyos cilindros son de 8" de diámetro y 10" de longitud da 45 emboladas por minuto con un rendimiento de 80 %. Debe bombear agua (d = 1) a una altura de 85 ft. ¿Cuál será su capacidad en ft/minuto y qué potencia será necesaria para accionar esta bomba?

$$Q = \left( \frac{4}{12} \right)^2 \times 3,1416 \times \frac{10}{12} \times 45 \times 2 \times 0,9$$

$$Q = 25,56 \text{ ft}^3/\text{minuto.}$$

$$Q = 25,56 \times 7,48 = 176,23 \text{ galones/minuto,}$$

y la potencia necesaria:

$$H.P. = \frac{62,5 \times 25,56 \times 85}{33.000 \times 0,8} = 7,74$$

(El valor 62,5 lbs/ft.<sup>3</sup> expresa la densidad del agua a 39,1° F en unidades inglesas. Si la temperatura aumenta, como el volumen específico también aumenta, la densidad disminuirá.)

### Profundidad de succión

Teóricamente, una bomba perfecta puede extraer el agua de una profundidad de 33,95 ft = 10,33 mts. que corresponde a un vacío perfecto. Una bomba no puede realizar un trabajo de esa eficiencia puesto que hay pérdidas por la cantidad de aire que puede entrar con el agua y por la tensión de vapor de agua misma que aumenta con la temperatura.

Prácticamente, una instalación de bombeo no debe hacerse con una profundidad de succión mayor de 22 ft.

### Bombas a diafragma

Constituyen un tipo de bajo costo y adaptable a las más rigurosas condiciones de trabajo. Se indican especialmente para transportar líquidos con gran cantidad de sólidos en suspensión a no muy gran altura.

### Bombas rotativas

Son actualmente las más usadas y entre ellas los tipos más comunes son: las bombas a engranajes y las centrífugas.

Las bombas a engranajes están constituídas por dos ruedas dentadas (3 a 7 dientes) que accionan en el interior de una caja muy compacta. Se emplean para líquidos viscosos (fuel-oil, aceite, etc.) y por sus características de construcción y método de trabajo, no sirven para bombear líquidos que tengan sólidos en suspensión.

Las bombas centrífugas constituyen el tipo más importante de bombas actualmente en uso y su estudio ha progresado en forma tal, que se construyen en los más diversos materiales y para todo servicio.

La altura máxima que es posible alcanzar con una bomba centrífuga de un solo impulso es de 75-100 ft.

Si se desea elevar un líquido a mayor altura debe emplearse un tipo de bomba centrífuga a 2 ó 3 impulsores unidos en serie que permitan alcanzar alturas de 300-350 ft.

Algunas consideraciones generales de carácter práctico pueden resumirse así: el tubo de succión debe ser lo más corto posible o si la instalación lo permite, la bomba centrífuga debe alimentarse por gravedad. En caso de existir cañería de succión, debe comenzarse siempre toda operación de bombeo, cebando la bomba con una cañería auxiliar.

La potencia útil de una bomba centrífuga es directamente propor-

cional al caudal de líquido en  $\text{ft}^3/\text{minuto}$ , a la densidad del líquido en  $\text{lb}/\text{ft}^3$  y a la altura de elevación en ft.

$$T = Q \cdot d \cdot H.$$

y como 1 H.P. = 33.000 lb. ft/minuto

$$\text{Potencia útil H.P.} = \frac{Q \cdot d \cdot H.}{33.000}$$

Si se desea conocer la capacidad::

$$Q = \frac{\text{H.P.} \times 33.000}{d \cdot H.} \text{ ft}^3 = \text{minuto}$$

La potencia motora o total será igual a la suma de la potencia útil más la potencia perdida en el grupo

$$P_m = P_n + P_r$$

y como el rendimiento de la bomba se expresa por el cociente

$$n = \frac{P_n}{P_m}$$

podemos deducir la potencia motora que será:

$$P_m = \frac{P_n}{n} = \frac{Q \cdot d \cdot H.}{33.000 \times n} \text{ (en H.P.)}$$

### Localización de fallas en instalaciones de bombas en que se utilizan bombas centrífugas

En forma muy abreviada, indicaremos una alteración o falla en el trabajo y a continuación la causa que debe haber provocado esa alteración.

a) La instalación funcionando no suministra líquido alguno.

Las causas pueden ser: 1) Cañería de succión y bomba sin líquido. 2) Baja velocidad de la bomba. 3) Línea de descarga parcialmente obstaculizada por incrustaciones, válvulas parcial o totalmente cerradas, etc. 4) Altura de succión demasiado elevada. 5) Rotor impulsor incrustado y obstruido. 6) Sentido de rotación de la bomba invertido.

b) El caudal suministrado es inferior al normal.

Las causas pueden ser: 7) Entradas de aire en la cañería de succión. 8) Entradas de aire por prensaestopas de la bomba. 9) Baja velocidad (motor en 2 fases). 10) Línea de descarga parcialmente bloqueada. 11) Altura de succión demasiado elevada. 12) Rotor impulsor parcialmente incrustado y obstruido. 13) Succión alterada por líquido demasiado caliente. 14) Pérdidas internas en la bomba por defecto en los anillos. 15) Mala empaquetadura. 16) Rotor impulsor defectuoso o alterado. 17) Válvula de retención en la cañería de succión muy pequeña o parcialmente obstruida (el área libre de la válvula de re-

tención debe ser igual a la del caño de succión y preferiblemente 1 1/2 veces). 18) Cañería de succión no sumergida lo necesario. 19) Sentido de rotación invertido.

c) La presión de descarga de la bomba es inferior a la normal.

Las causas pueden ser: 20) Baja velocidad. 21) Aire o gases en el líquido. 22) Defectos mecánicos (14, 15 y 16). 23) Rotor impulsor de diámetro demasiado pequeño.

d) La bomba trabaja en forma irregular.

24) Cebado incompleto de bomba y línea de succión. 25) Altura de succión demasiado elevada. 26) Entradas de aire en la cañería de succión. 27) Entradas de aire en prensaestopa. 28) Aire o gases en el líquido.

e) La bomba consume demasiada energía.

29) Presión de descarga inferior a la calculada, la bomba descarga demasiado líquido. 30) Líquido más pesado (en viscosidad o en peso específico) que el permitido por la instalación. 31) Sentido de rotación invertido. 32) Empaquetaduras demasiado apretadas. 33) Alteraciones en la caja de la bomba, desalineación, roces, etc. 34) Bomba y motor fuera de línea.

### Comparación entre bombas recíprocas y centrífugas

Las ventajas de las bombas recíprocas sobre las centrífugas pueden resumirse en el siguiente cuadro:

Pueden emplearse para elevar líquidos a mayor altura.

Su costo inicial para iguales capacidades es menor.

Son más flexibles en operación.

Para una gran escala de velocidades de descarga, su eficiencia es constante.

En cambio, las bombas centrífugas a su vez presentan las siguientes ventajas sobre las recíprocas:

En tamaños moderados, la eficiencia de una buena centrífuga es igual o superior a la del promedio de bombas recíprocas.

Expulsan líquido a presión uniforme sin choques ni pulsaciones.

Pueden conectarse directamente al motor sin necesidad de engranajes ni poleas.

Las válvulas de la línea de descarga pueden permanecer cerradas (por omisión) sin peligro para la bomba.

Si es necesario, transportan líquidos con gran cantidad de sólidos en suspensión.

Se construyen en una gran cantidad de materiales resistentes a la corrosión, incluso en vidrio Pirex.

Estos puntos indicados, no agotan el tema: si la bomba recíproca es actuada por vapor, su escape debe ser tenido en cuenta. En industrias que emplean vapor de proceso a baja tensión, el escape de una bomba recíproca tiene el mismo valor como elemento calefactor que el vapor de caldera a igual presión. Desde este punto de vista, una bomba recíproca puede ser considerada como una válvula reductora. La ten-

dencia moderna, sin embargo, se dirige a la instalación de bombas centrífugas con motores individuales.

### Transporte de gases

Los elementos empleados para este transporte son similares a los ya vistos para líquidos con las variantes necesarias dado el diferente estado físico del material transportado. La bomba empleada en el transporte de líquidos, es reemplazada por alguno de los diversos tipos de compresores que podemos clasificar en forma similar a la ya realizada al estudiar bombas.

Los eyectores, actuados por vapor o agua se utilizan con frecuencia para producir "tiro", para extraer gases, etc. y pueden hacerse descargar a presión atmosférica o una presión de unas pocas pulgadas de agua por encima de ella.

Cuando los gases transportados deben entregarse o envasarse a una presión muy superior a la atmosférica, se emplean compresores recíprocos similares en diseño a una bomba a pistón (válvulas más livianas y ajuste perfecto). La diferencia más sensible entre el trabajo de una bomba y el de un compresor recíproco radica en que en el caso de un líquido, dado que el volumen no cambia, no hay elevación de temperatura. No sucede así en el compresor recíproco, ya que al comprimirse un gas su volumen disminuye y se realiza un trabajo sobre él que se manifiesta como elevación de temperatura del gas. Esta elevación de temperatura debe anularse con refrigeración para que el gas comprimido salga a la temperatura ambiente o lo más cercano posible a ella.

Para altas presiones, se emplean compresores recíprocos que actúan en dos o más etapas.

Para transportar gases a presiones moderadas se emplean ventiladores de distinto tipo: a hélice, a paletas metálicas, rotores, etc.

Son efectivos para presiones entre 2" a 3" de columna de agua hasta 0,5 lb/inch.<sup>2</sup>

Para presiones entre 0,5 y 12 lbs/inch.<sup>2</sup>, se utilizan en la industria sopladores cicloïdales, aunque debe indicarse que su eficiencia máxima corresponde a 5 lbs/inch.<sup>2</sup>

También se emplea para el transporte de gases un compresor construido según la bomba centrífuga a turbina que trabaja a elevada velocidad y aunque opera a 8-10 lbs/inch.<sup>2</sup> su mejor trabajo es realizado también a 5 lbs/inch.<sup>2</sup>

Este tipo no se construye en tamaño pequeño, es utilizado únicamente para grandes desplazamientos.

### Principios generales de cálculo para el diseño de instalaciones destinadas al transporte de flúidos

Cuando el principio de la conservación de la energía se aplica al transporte de flúidos, la ecuación resultante es llamada teorema de

Bernoulli. Debe destacarse que este teorema es sólo un caso especial de la ley general de la conservación de la energía.

Consideremos el sistema representado en la figura, suponiendo que la temperatura permanece constante durante la operación (fig. 11).

La cañería transporta un líquido del punto A al punto B, siendo suministrada la energía necesaria para ello por la bomba intercalada entre ambos puntos.

Consideremos una libra de líquido entrando en A a una presión  $P_A$  lb/ft.<sup>2</sup>, una velocidad  $u_A$  ft/seg. y con un volumen específico  $V_A$  ft.<sup>3</sup>/lb.

El punto A está a una altura  $X_A$  ft. sobre un plano M-N dado como base y por lo tanto una lb. de producto tendrá una energía potencial de  $X_A \times 1$  ft/lb. medida sobre el plano M-N.

Como el líquido está en movimiento a una velocidad de  $u_A$  ft/seg., esa libra de líquido tendrá una energía cinética de  $\frac{u_A^2}{2g}$  ft/lb. Además,

como la libra de líquido entra en la cañería, lo hace con una presión  $P_A$  lb/ft.<sup>2</sup> y por consiguiente un trabajo  $P_A \cdot V_A$  ft/lb. es realizado sobre la lb. de líquido y agregado a su stock de energía. La suma de estos tres valores representa la energía de la lb. de líquido que entra en la sección A:

$$X_A + \frac{u^2}{2g} + P_A \cdot V_A$$

Después que el sistema ha alcanzado el equilibrio de marcha, siempre que 1 lb. de líquido en A, otra lb. de líquido es desplazada en B de acuerdo con el principio de la conservación de las masas. La lb. de líquido que sale en B tendrá un contenido energético de:

$$X_B + \frac{u_B^2}{2g} + P_B \cdot V_B$$

donde:  $u_B$ ,  $P_B$  y  $V_B$  son respectivamente velocidad, presión y volumen específico en el punto B.

Si no hubiera incrementos o pérdidas de energía entre los puntos A y B, el contenido de energía de 1 lb. de líquido en A sería el mismo que 1 lb. de líquido en B de acuerdo con el principio de la conservación de la energía.

Habíamos dicho que la energía necesaria para el transporte era suministrada por la bomba, llamemos esa energía  $W$  ft/lb. por lb. de líquido. Parte de esa energía será transformada en calor por la fricción pero nosotros consideramos que todo el sistema permanece a temperatura constante de modo que todo el calor originado por la fricción será eliminado por radiación. Llamemos esa pérdida ft/lb. por lb. de

líquido. La ecuación completa representando un balance de energía a través del sistema entre los puntos A y B será entonces:

$$X_A + \frac{u_A^2}{2g} + P_A \cdot V_A - F + W = X_B + \frac{u_B^2}{2g} + P_B \cdot V_B$$

Expresando los volúmenes en función del peso 1 lb. y de la densidad (d) tendremos:

$$V_A = \frac{1}{d_A} \quad \text{y} \quad V_B = \frac{1}{d_B}$$

La ecuación se transformará así en:

$$X_A + \frac{u_A^2}{2g} + \frac{P_A}{d_A} - F + W = X_B + \frac{u_B^2}{2g} + \frac{P_B}{d_B}$$

Como los términos de esta ecuación son aditivos, deben ser expresados en las mismas unidades: los términos en X medidas en ft., las velocidades en ft/seg., la aceleración g en ft/seg.<sup>2</sup> Las unidades de

la fricción  $\frac{u^2}{2g}$  están expresadas en  $\frac{\text{ft}^2/\text{seg}^2}{\text{ft}/\text{seg}^2} = \text{ft.}$

Además los términos P V son medidos en  $\text{lb}/\text{ft}^2 \times \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} = \text{ft.}$

Los términos F y W deberán necesariamente expresarse en ft para corresponder a las unidades de los otros términos. Consideremos una columna de líquido de 1 ft.<sup>2</sup> de base y X ft. de altura. Si la densidad del líquido es d lb/ft.<sup>3</sup>, la presión en la base será igual al peso de la columna (volumen  $\times$  densidad). El volumen es igual numéricamente a la altura X de la columna ya que la sección es igual en 1 ft.<sup>2</sup> y entonces:

$$P = d \cdot X$$

En otras palabras, una presión puede ser medida por una altura de fluido cuya densidad se conoce.

La ecuación deducida para el teorema de Bernoulli no contempla todos los casos posibles ya que si hay otro cambio de energía en el sistema entre A y B además de la fricción y el trabajo suministrado por la bomba, deberá agregarse el término que corresponda.

### Aplicación del teorema de Bernoulli

“Una bomba lleva una solución de peso específico 1,84 de un tanque depósito a través de una cañería de 3”. La velocidad en la línea de succión es de 3 ft/seg. La bomba descarga a través de una cañería de 2” en un tanque superior y el final de la línea de descarga está a 50 ft. sobre el nivel de la solución en el tanque de alimentación.

Las pérdidas por fricción en el sistema completo equivalen a 10 ft. de solución. ¿Qué presión en lb/inch.<sup>2</sup>, debe desarrollar la bomba? ¿Cuál es la potencia teórica en H.P. de la bomba?

$$X_A = 0 \quad \text{y} \quad X_B = 50 \text{ ft.}$$

$$u_A = 0$$

$$u_A = 3 \times \frac{3.068^2}{2.067^2} = 6,61 \text{ ft/seg.}$$

(Las velocidades son inversamente proporcionales a las secciones de las cañerías:

$$3 \times \frac{\pi D^2}{4} = u_B \times \frac{\pi D'^2}{4} \quad \text{y despejando } u_B = 3 \frac{D^2}{D'^2}, \text{ siendo } D \text{ y } D'$$

respectivamente los diámetros internos de las cañerías 3" y 2".)

$$F = 10 \text{ ft.}$$

$$P_A = P_B \text{ (ambas a la presión atmosférica).}$$

$d_A = d_B = 1,84$  para expresarlo en unidades inglesas, multiplicaremos por el factor de transformación:

$$d_A = d_B = 1,84 \times 62,4 = 115 \text{ lb/ft}^3$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación del teorema de Bernoulli tenemos:

$$-10 + W = 50 + \frac{6,61^2}{2 \times 32,2}$$

$W = 60,68$  ft. de sol. de densidad = 115 lb/ft<sup>3</sup> y de acuerdo con lo ya visto ( $P = d \times x$ ):

$$W = \frac{60,68 \times 115}{6.978} = 6.978 \text{ lb/ft.}^2, \text{ o expresado en lb/inch.}^2$$

$$W = \frac{6.978}{144} = 48,5 \text{ lb/inch.}^2$$

$$\text{Como: } \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \times \frac{\text{ft}^3}{\text{seg}} = \frac{\text{lb} \times \text{ft}}{\text{seg}}$$

Multiplicando la presión expresada en lb/ft.<sup>2</sup>, 6.978 por el líquido bombeado en un segundo, tendremos el valor de la potencia consumida. Para conocer el volumen sabemos que el área seccional interna de una cañería de 3" es de 7,393 inch.<sup>2</sup> ó 0,0513 ft.<sup>2</sup> Con una velocidad de succión de 3 ft/seg. el volumen bombeado será:

$$0.513 \times 3 = 0.1539 \text{ ft}^3/\text{seg. y como } 1 \text{ H.P.} = 550 \text{ ft. lb/seg.}$$

$$X = \frac{6.978 \times 0.1539}{550} = 1,95 \text{ H.P.}$$

### Pérdidas de energía por fricción en las cañerías

En la ecuación de Bernoulli se incluyó un término F que repre-

senta la pérdida de energía originada por fricción en el sistema.

Estas pérdidas por fricción pueden ser motivadas por diversas causas y es un problema importante el cálculo de estas pérdidas no sólo para el caso especial del agua, sino para cualquier fluido. Un fluido puede marchar por una cañería en forma *viscosa* o *turbulenta*. En el primer caso, la pérdida por fricción se determina por una fórmula especial que no mencionaremos, por presentarse muy rara vez en la práctica esta forma de marcha de un fluido.

Para el estudio del segundo caso, marcha turbulenta, vamos a hacer algunas consideraciones previas.

Consideremos un cuerpo sólido de cualquier forma, sumergido en una corriente de fluido. Hagamos el largo de este cuerpo (medido perpendicularmente a la dirección de marcha del fluido) igual a  $D$  y el área de contacto entre el sólido y el fluido igual a  $A$ . Si la velocidad del fluido pasado el cuerpo es pequeña en comparación a la velocidad del sonido, se ha encontrado experimentalmente que la fuerza resistente depende solamente de la rugosidad y forma del sólido y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido.

Puede demostrarse que:

$$\frac{F}{A} = \frac{d \cdot v^2}{g} : f\left(\frac{D \cdot v \cdot d}{u}\right) \quad [1]$$

En la cual:

$F$ : Fuerza resistente total.

$v$ : Velocidad del fluido pasado el cuerpo sólido.

$d$ : Densidad del fluido.

$u$ : Viscosidad del fluido.

$f$ : Función cuya forma precisa es necesario determinar para cada caso específico.

$g$ : Aceleración debida a la gravedad.

El valor  $\frac{D \cdot v \cdot d}{u}$  se denomina número de Reynolds y es de gran

importancia en problemas de hidrodinámica. Si el valor de este número es, para un fluido que marcha en una cañería, inferior a 2.100 la marcha será viscosa, mientras que si su valor supera 4.000, será siempre turbulenta. Entre estos dos valores 2.100 y 4.000, la marcha del fluido será viscosa o turbulenta según las condiciones generales.

En el caso particular de un fluido marchando a través de una cañería de sección circular de largo  $L$ , la fuerza total resistente a la

corriente será igual al producto del área de contacto entre el fluido y la pared del caño ( $L\pi D$ ) por el valor  $\frac{F}{A}$  de la ecuación [1].

La caída de presión será igual a este producto dividido por el área seccional del caño, dado que la presión es medida en fuerza por unidad de área:

$$P_f = \frac{F}{A} \cdot \left( \frac{L\pi D}{\pi D^2} \right) = \frac{F}{A} \cdot \frac{4L}{D}$$

Si multiplicamos en la ecuación [1] por el valor  $\frac{4L}{D}$ , tendremos:

$$P_f = \frac{F}{A} \cdot \frac{4L}{D} = \frac{d \cdot v^2 \cdot 4L}{g \cdot D} = f \left( \frac{D \cdot v \cdot d}{u} \right)$$

incorporando los valores 4 y g a la constante F tendremos un nuevo valor f' y la ecuación reducida a:

$$P_f = \frac{d \cdot v^2 \cdot L}{D} \cdot f' \left( \frac{D \cdot v \cdot d}{u} \right)$$

$$\frac{P_f \cdot D}{d \cdot v^2 \cdot L} = f' \left( \frac{D \cdot v \cdot d}{u} \right)$$

y llamando  $\frac{P_f}{d} = H_f =$  pérdida debida a la fricción y expresada en ft., podremos escribir:

$$\frac{H_f \cdot D}{v^2 \cdot L} = f' \left( \frac{D \cdot v \cdot d}{u} \right)$$

En todas las expresiones dadas:

$P_f =$  Caída de presión debida a la fricción y expresada en lb/ft<sup>2</sup>.

$\frac{F}{A} =$  Fuerza resistente en ft/lb. por ft.<sup>2</sup> de área de contacto.

$L =$  Largo del caño en ft.

$D =$  Diámetro interno del caño en ft.

$v =$  Promedio de velocidad del fluido en ft/seg. (Caudal total

en ft.<sup>3</sup> por seg. dividido por el área seccional del caño en ft<sup>2</sup>.)

- u = Viscosidad del fluido en unidades inglesas (lb/ft. segundo).
- g = Aceleración de la gravedad — 32,2 ft/seg.
- H<sub>f</sub> = Pérdida de presión motivada por la fricción y expresada en altura del líquido (en ft.).

Prácticamente el cálculo se abrevia mucho porque existen tablas (Badger y McCabe) con los distintos valores para el número de Reynolds en abscisas y en ordenadas los correspondientes valores de

$$\frac{H_f \cdot D}{L \cdot v^2} = \frac{P_f \cdot D}{L \cdot v^2 d}$$

Este método, original de Reynolds para la determinación de la fricción de los fluidos es conocido con algunas variantes bajo el nombre de ecuación de Fanning.

#### **Pérdida por ensanchamiento del área seccional de la cañería**

Si el área seccional de las cañerías se agranda tan gradualmente que el fluido se adapta al cambio de sección sin disturbios, no hay pérdida de energía en ese punto, pero si por el contrario el cambio de sección es repentino, resultan pérdidas adicionales debidas a la turbulencia. La pérdida de presión está representada por:

$$H_e = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

en la cual:

H<sub>e</sub> = Pérdida de presión por el ensanchamiento expresada en altura de líquido (en ft.).

v<sub>1</sub> = Velocidad en ft/seg. en la sección menor.

v<sub>2</sub> = Velocidad en ft/seg. en la sección mayor.

g = Aceleración debida a la gravedad (32,2 ft. seg. seg.).

#### **Pérdidas por contracción**

Cuando el área seccional de la cañería es reducida repentinamente, las pérdidas debidas a la turbulencia adicional están expresadas por:

$$H_e = \frac{K \cdot v_2^2}{2g}$$

(K es una constante cuyo valor depende de las áreas relativas de las dos secciones.)

#### **Pérdidas por piezas intercaladas**

Cada cambio de dirección obtenido mediante una de las piezas adaptadoras ya mencionadas (codos, cruces, etc.) o simplemente en

la misma cañería, ocasiona una pérdida adicional por la turbulencia originada. Del mismo modo, una válvula esclusa, de globo, reductora, de retroceso, etc., también produce modificaciones que deben intervenir en los cálculos.

Existen tablas ya preparadas que expresan la resistencia adicional que introducen piezas y válvulas de distinto tipo y medida en líneas de bombeo. Esas tablas por lo general indican el valor adicional en términos ft. de cañería recta a agregar a la línea cuyas dimensiones se conocen.

#### NOTA:

El uso de unidades inglesas en el desarrollo del tema obedece al hecho de que si bien sería ideal para nosotros trabajar con el sistema decimal que conocemos, por desgracia gran parte de la bibliografía técnica emplea únicamente el sistema inglés de unidades.

Todo el progreso científico e industrial de EE. UU. y las naciones de la Comunidad Británica nos llegará retrasado y con traducciones que no se ajustan a veces a la realidad, si continuamos como hasta hace pocos años adquiriendo nuestros conocimientos únicamente en bibliografías de origen europeo continental. Es completamente necesario entonces y a pesar nuestro, conocer el irracional y poco práctico sistema inglés de unidades.