



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

28  
181

SELECCION DE EQUIPO DE BOMBEO PARA  
ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EDIFICIOS

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

Ricardo Alonso Rivera Gómez

México, D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE GENERAL

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
<p>Conceptos básicos usados en equipos de bombeo. - -Presión-Columna-Carga total de bombeo-Pasos-Pre sión de vapor-Columna de succión positiva neta- -Cavitación-Velocidad específica-Cebamiento.</p>	
2. TIPOS DE BOMBAS	14
2.1 <u>Clasificación</u>	14
2.2 <u>Materiales utilizados en la construcción de una bomba</u>	16
2.3 <u>Bombas centrífugas</u>	16
2.3.1 Partes constitutivas de una bomba centrífuga	17
<p>-Carcaza-Impulsores-Flecha-Elemento motriz-Anillos desgaste-Cojinetes (o chumaceras)-Estoperos, empa- ques y sellos mecánicos-Manguitos-Cubre flechas.</p>	
2.3.2 Acción de las bombas centrífugas	20
<p>Bombas de tipo voluta. Bombas de tipo difusor. Bombas de tipo turbina. Bombas de flujo radial Bombas de flujo axial. Bombas de flujo mixto. Motobombas. Bombas inatascables. Bombas autoce- bantes. Bombas de pozo profundo. Bombas de motor sumergido. Bombas de eyector. Bombas de rotor he- licoïdal. Bombas verticales de foso seco.</p>	

	Pág.
2.4	<u>Bombas rotatorias</u> 43
2.4.1	Acción de las bombas rotatorias Bombas de engranes. Bombas de leva y pistón. Bombas de tornillo. Bombas lobulares. Bombas de aspas. Bombas de bloque y vaivén
2.5	<u>Bombas reciprocantes</u> 49
2.5.1	Acción de las bombas reciprocantes 49 Bombas de acción directa. Bombas de potencia
3.	SELECCION DE EQUIPO DE BOMBEO 53
3.1	<u>Secuencia de cálculo para la selección de un equipo</u> 55
3.2	<u>Operación de equipos de bombeo en serie y en paralelo</u> 68
3.3	<u>Bombas de eje vertical contra bombas de eje horizontal</u> 69
3.4	<u>Ejemplos</u> 71
4.	RECOMENDACIONES 88
4.1	<u>Recomendaciones de instalación</u> 89 Localización.-Cimentaciones.-Montaje de bombas ver- ticales de foso lleno.-Alineamiento.-Vaciado de la lechada de concreto.-Esfuerzos en la tubería.-Tuber- ría de succión.-Tubería de descarga.-Coladeras de succión.-Válvulas de desfogue.-Instrumentación.- Control automático de bombeo
4.2	<u>Recomendaciones de operación</u> 103 Cebamiento de una bomba.-Procedimiento de arranque y

Pág.

parada.- Correr una bomba en seco.- Estrangulación  
en la succión

4.3

Recomendaciones de mantenimiento

108

Observación diaria.- Inspección semestral.- Inspección  
anual.- Partes de repuesto y reparación

BIBLIOGRAFIA

112

## 1. INTRODUCCION

Probablemente el mayor problema con el que se encuentra un ingeniero al diseñar un sistema de bombeo es la elección de la clase, tipo, capacidad, columna y detalles de la bomba o bombas que deberán usarse en un sistema, debido a que hay tal variedad de bombas y tantas aplicaciones para cada una de ellas; lo que hace generalmente difícil elegir una unidad específica.

El presente trabajo tiene como objetivo dar un panorama general de la aplica

ción de las bombas existentes, así como la secuela de cálculo que generalmente se sigue para la determinación de la carga de bombeo, incluyendo algunos ejemplos sencillos e ilustrativos, y algunas recomendaciones para la instalación, operación y mantenimiento del equipo de bombeo.

Entre los factores de operación que requieren reconocimiento especial para decidir la clase de bomba, están: el tipo de servicio (continuo o intermitente), las cargas futuras anticipadas y su efecto sobre la columna de la bomba, la posibilidad de operar en serie o en paralelo con otras bombas, la velocidad de operación y muchas otras condiciones particulares para una aplicación dada.

En el presente trabajo se da una especial atención a las bombas centrífugas, en virtud de que aproximadamente el 75 % de las bombas usadas en la actualidad son de esta clase.

A continuación se describen algunos conceptos básicos en el campo de los equipos de bombeo:

- Presión. En los problemas de sistemas de bombeo, generalmente se consideran tres tipos de presión: absoluta, barométrica y de columna; aunque se usa un cuarto término "vacío" cuando las instalaciones operan abajo de la presión atmosférica, pero no es un término en el mismo sentido que los otros tres.

La presión absoluta es la presión arriba del cero absoluto; y puede encontrarse arriba o abajo de la presión atmosférica existente en el sitio considerado. La presión barométrica es la presión atmosférica en la localidad estudiada, y varía con las condicio-

nes de altitud y clima. La presión de columna es la presión arriba de la atmosférica en la localidad en que se mide. Un vacío es una presión de columna negativa (fig 1.1).

En la tabla 1.1 se muestran presiones barométricas para algunas altitudes sobre el nivel del mar.

- **Columna.** Una columna de agua o de otro líquido en un tubo vertical desarrolla una cierta presión (fuerza por unidad de área) sobre la superficie horizontal en el fondo del tubo. Esta presión puede expresarse en kilogramos sobre centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), o como el número de metros de líquido que ejerce una presión igual sobre la misma superficie.
- **Carga total de bombeo.** Es la columna o carga que debe ejercer una bomba para mover una determinada cantidad de agua de un punto a otro, tomando en cuenta las pérdidas de fricción en la tubería y en las piezas especiales (válvulas, codos, etc).
- **Pasos.** El número de "pasos" de una bomba centrífuga es el número de impulsores que una bomba posee para trabajar bajo condiciones de cargas y gasto a que fue diseñada.
- **Presión a vapor.** Los líquidos a cualquier temperatura arriba de su punto de congelación tienen una presión de vapor, que debe considerarse cuando se calcula un sistema de bombeo. La figura 1.2 muestra la presión de vapor para agua a varias temperaturas.

La reducción de la presión en el tubo de succión de una bomba, más



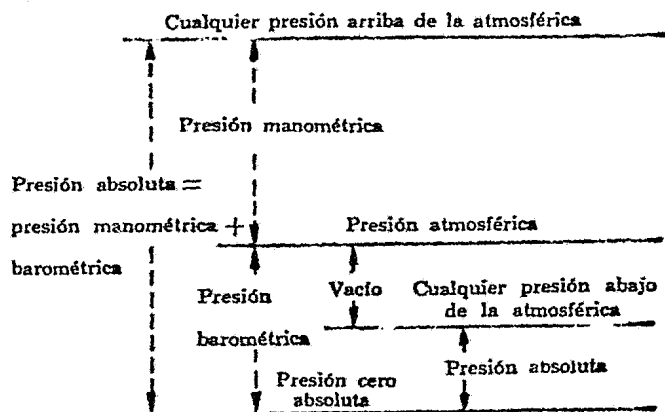


Fig. 1.1 Relación entre los diferentes términos de presión que se usan en bombeo.

Altitud m	Presión barométrica mm Hg	kg/cm <sup>2</sup>	Punto de ebullición °C
-305	787.4	1.07	109
-152.5	774.7	1.05	105
0 (anm)	759.5	1.03	100
305	734.0	1.00	99
457.5	718.8	0.98	98.5
610	706.1	0.96	98
1220	655.3	0.89	96
1830	609.6	0.93	94
2440	563.9	0.77	92
3050	523.2	0.71	90
4575	429.3	0.58	84.5

Tabla 1.1 Propiedades del agua a varias altitudes.

abajo de la presión de vapor del líquido, puede causar vaporización; es decir, formación de vapor del líquido. Puesto que una bomba de diseño ordinario no puede bombear vapor, el flujo del líquido a la bomba se interrumpe y se dice que la unidad se encuentra "en vapor". El método más comunmente usado para evitar esta condición es dar suficiente columna a la succión de la bomba (ver fig 3.1) para que la presión en el tubo de succión sea siempre mayor que la presión de vapor del líquido que se maneja.

- Columna de succión positiva neta (cspn). Una determinación incorrrecta de la cspn puede reducir la capacidad y eficiencia de la bomba, llegando a producir daños por cavitación, además de problemas severos de operación, reduciendo la efectividad de equipo de bombeo. A su vez, la cspn se puede diferenciar de la siguiente forma:
  - a) Cspn disponible. Esta es una función del sistema: la coluna de succión o elevación, columna de fricción y la presión de vapor del líquido que se maneja. Dependiendo de las condiciones de aplicación, la cspn de que se dispone puede alterarse para ajustarse a lo que requiere la bomba para su operación satisfactoria, en caso de que pueden hacerse cambios en la tubería, nivel de suministro, etc.
  - b) Cspn requerida. Es una función del diseño de la bomba y varía de una marca a otra, y aún entre modelos de una sola marca, así como con la capacidad de una bomba dada. Aun cuando la cspn disponible es fácil de calcular para unas condicio

nes conocidas, la cspn requerida para una bomba en particular debe obtenerse del fabricante.

En ambos casos, la cspn es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, a través de la tubería de succión al ojo del impulsor. Por conveniencia, la cspn viene dada en metros de líquido.

Así, cuando el nivel del suministro del líquido se encuentra arriba de la línea del centro de bomba (con la superficie de líquido a la presión atmosférica), la cspn se determina como sigue:

$$\text{cspn} = P_b - E_{sp} - h_{fs} - P_{vap}$$

entonces:

$$E_{sp} = P_b - \text{cspn} - h_{fs} - P_{vap}$$

donde:

$E_{sp}$  es la elevación de succión permisible

$P_b$  es la presión barométrica del lugar

cspn es la carga de succión positiva neta requerida

$h_{fs}$  son las pérdidas de succión

$P_{vap}$  es la presión de vapor

Todas las unidades de estos conceptos pueden estar en metros de líquido o en su equivalente en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (un  $\text{kg}/\text{cm}^2$  es igual a 10 m

columna de agua).

Cuando la alimentación del líquido se encuentra abajo de la bomba en un tanque abierto a la presión atmosférica, la cspn se calcula como:

$$cspn = P_b + C_{es} - h_{fs} - P_{vap}$$

entonces:

$$C_{es} = cspn - P_b + P_{vap} + h_{fs}$$

donde:

$C_{es}$  es la columna estática requerida

Los demás conceptos son los mismos que en el caso anterior.

En la figura 1.3 se ilustra la determinación de la elevación de succión permisible y la columna estática requerida.

- Cavitación. Con una elevación de succión alta o una cspn insuficiente puede ocurrir cavitación en la instalación de bombeo.

La cavitación es producida por el rompimiento súbito de burbujas de vapor (generadas al crearse un vacío) de un área de baja presión, en la admisión, a otra área de alta presión en la zona del impulsor.

Las dificultades más comunes derivadas de la cavitación son: pica duras en el impulsor, vibración y ruido. Aun cuando la cavitación severa viene acompañada generalmente por ruido excesivo y daños a la bomba, una cavitación moderada puede no producir más que una pe

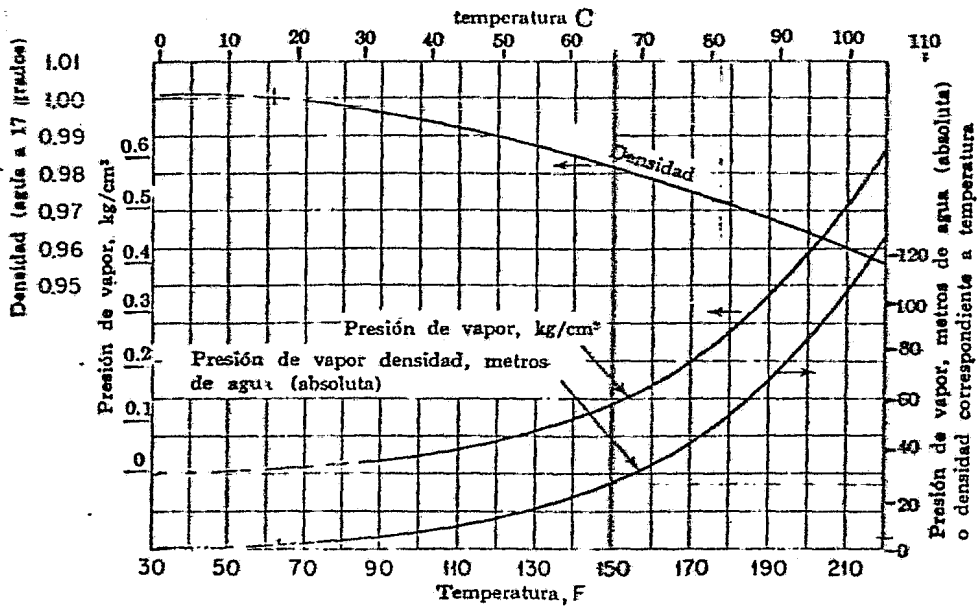


Fig. 1.2 Presión de vapor y densidad de agua a varias temperaturas.

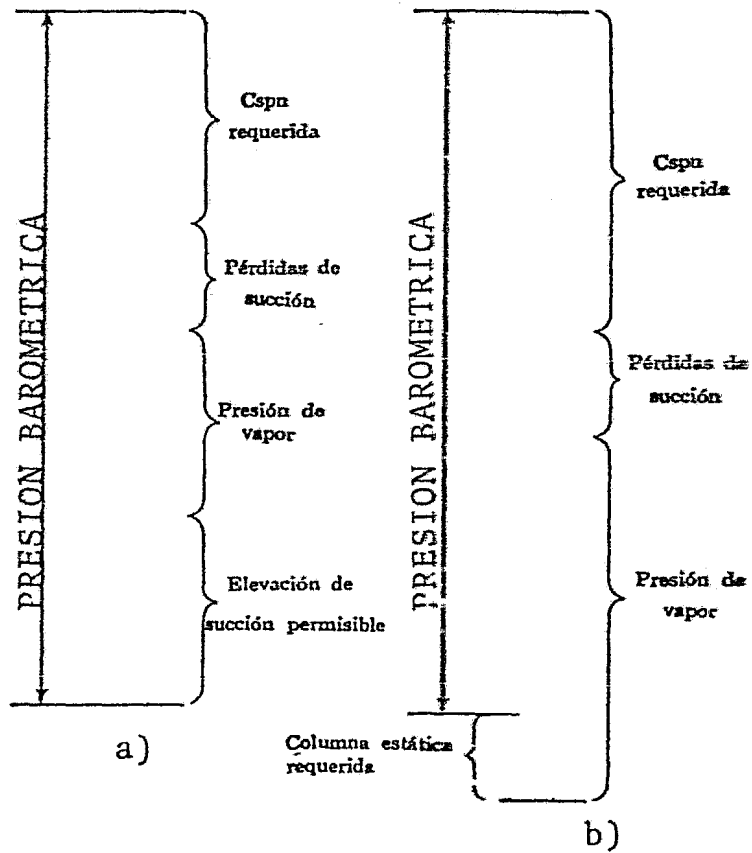


Fig. 1.3 Determinación de la elevación de succión permisible y la columna estática requerida

queña reducción en la eficiencia de la bomba y un desgaste moderado en las partes de la bomba.

- Velocidad específica. En su forma básica, la velocidad específica es un número índice, sin dimensiones, que es numéricamente igual a la velocidad giratoria a la que un modelo exacto de una bomba centrífuga tendría que operar, con objeto de descargar una unidad de gasto contra una unidad de carga total. Matemáticamente se expresa como sigue:

$$N_s = \frac{n Q^{0.5}}{H^{3/4}}$$

donde:

$N_s$  es la velocidad específica

$n$  es la velocidad giratoria, en r.p.m.

$Q$  es el gasto, en l.p.s.

$H$  es la carga total (carga por paso para bombas de varios pasos)

Así, los impulsores para columnas altas tienen generalmente una velocidad específica baja, y los impulsores para columnas reducidas tienen generalmente una velocidad específica alta.

En las figuras 1.4 y 1.5 se muestran recomendaciones del Instituto de Hidráulica para los límites superiores de velocidad específica para bombas de un solo paso, de succión simple o doble y flujos

axial o mixto.

- Cebamiento. Es la acción de llenar de líquido una bomba centrífuga para reemplazar al aire, gas o vapor en la bomba, antes de arrancarla. El cebamiento se puede hacer manual o automáticamente. En la figura 1.6 se muestra un dispositivo de acoplamiento directo para lograr un cebamiento automático en una bomba centrífuga pequeña, y en la figura 1.7 aparece un esquema de una bomba autocebante con recirculación en la descarga.

Las bombas de desplazamiento positivo (reciprocantes y rotatorias) son autocebantes para elevaciones de succión de alrededor de 8.3 m cuando están en buenas condiciones, pero cuando se tienen líneas de succión largas, elevaciones altas u otras condiciones anormales, deben cebarse.

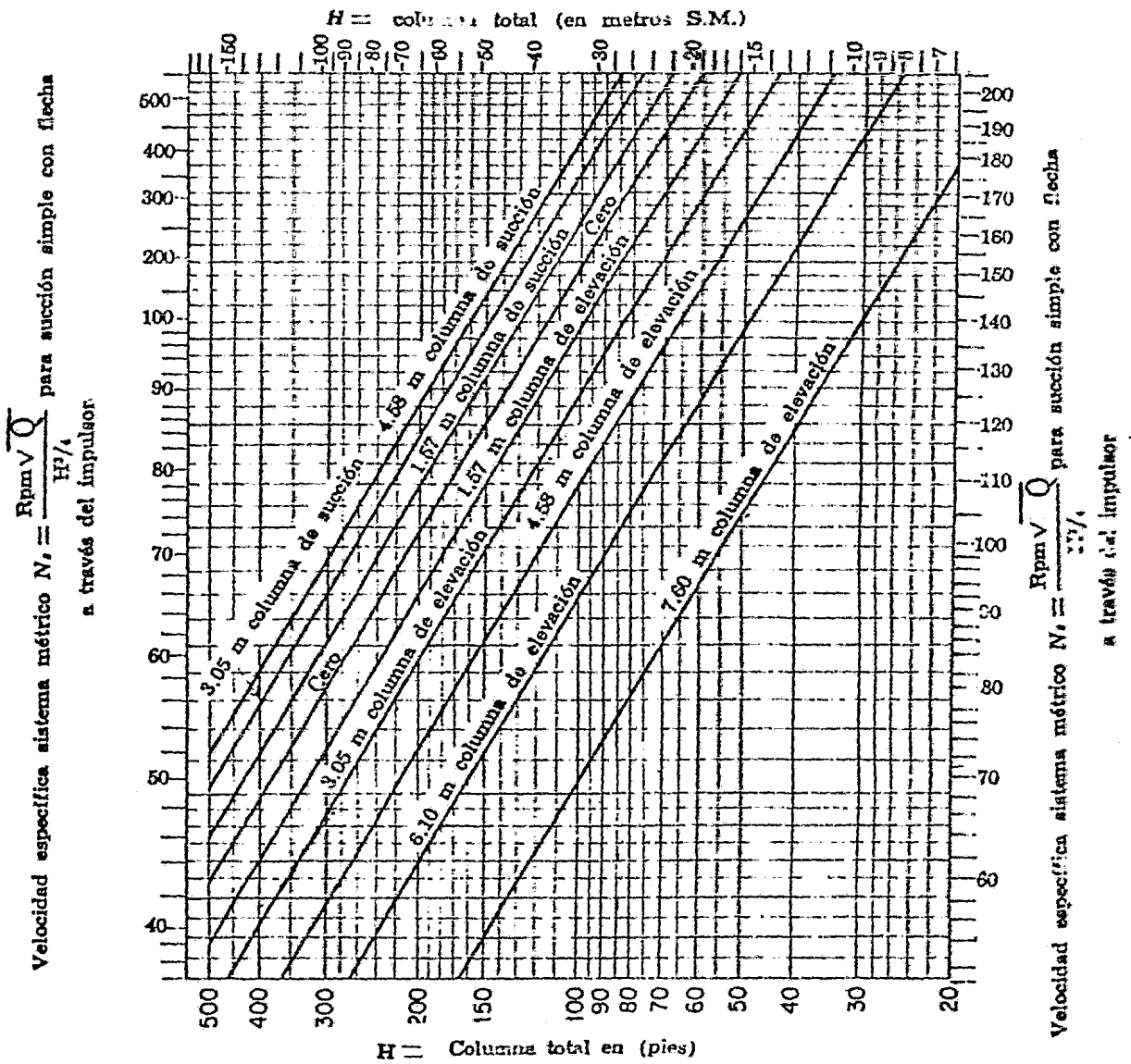


Fig. 1.4 Límites superiores para la velocidad específica señalados por el Instituto de Hidráulica en bombas de un paso de succión simple o doble



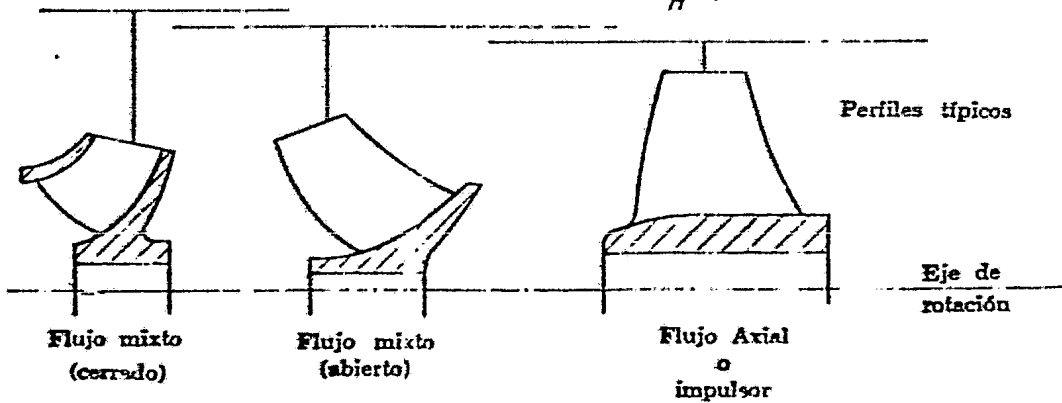
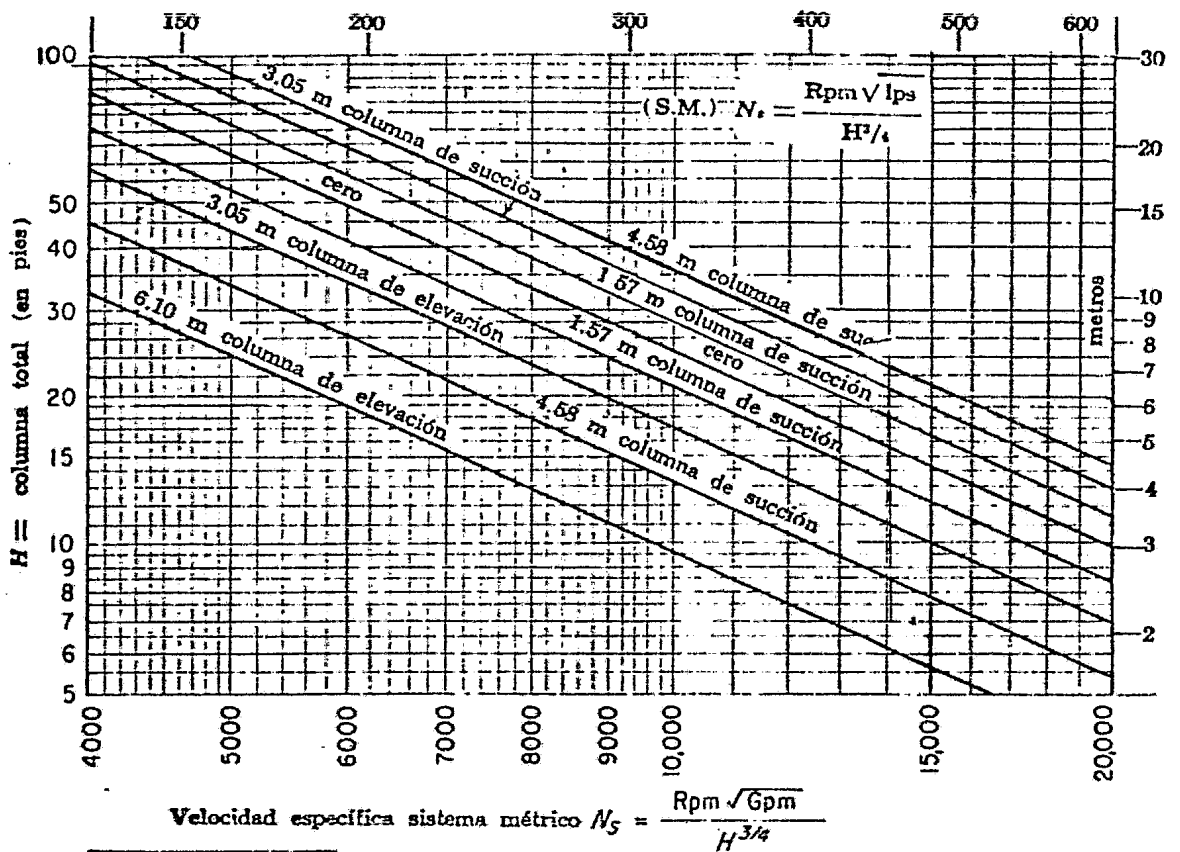
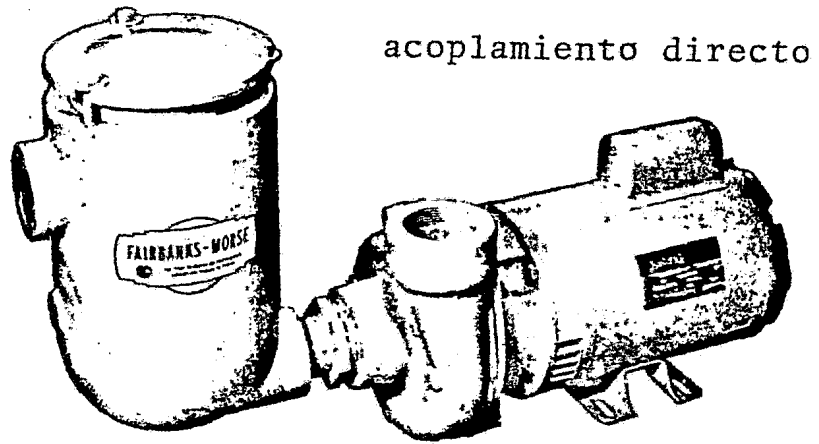


Fig. 1.5 Límite de velocidades específicas superiores según el Instituto de Hidráulica para bombas de un solo paso de succión simple y flujo axial o mixto.



acoplamiento directo

motobomba

Fig. 1.6 Dispositivo de acoplamiento directo para cebar automáticamente una bomba pequeña.

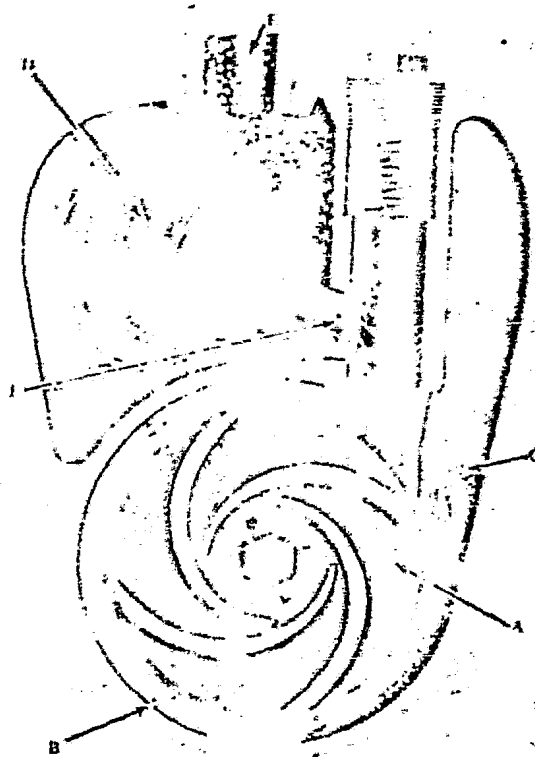


Fig. 1.7 Bomba autocebante con circulación de voluta.

## 2. TIPOS DE BOMBAS

## 2. TIPOS DE BOMBAS

### 2.1 Clasificación

Existen muchos tipos de bombas, las cuales se pueden clasificar de diferentes maneras. Por ejemplo, dependiendo de la forma de efectuar la conversión de energía, según su construcción, sus características de succión, su número de pasos, etc. Pero una clasificación simple, que tiene por objeto ordenar en forma adecuada y eficiente el panorama general de los equipos de bombeo, es la que se presenta en la figura 2.1.

Clase	Sub-Clase	Tipo	Sub-tipo
ROTODINAMICAS	CENTRIFUGAS HORIZONTALES	VOLUTA DIFUSOR TURBINA FLUJO RADIAL FLUJO AXIAL FLUJO MIXTO MOTO BOMBAS INATASCABLES AUTOCEBANTES	UN SOLO PASO Y PASOS MÚLTIPLES
	CENTRIFUGAS VERTICALES	POZO PROFUNDO MOTOR SUMERGIDO EYECTOR HELICOIDAL POZO SECO	
DESPLAZAMIENTO POSITIVO	ROTATORIAS	ENGRANE ASPAS LEVA Y PISTON TORNILLO LOBULO BLOQUE Y VAIVEN	SIMPLEX DUPLEX CUADRUPLIX ETC.
	RECÍPROCANTES	ACCION DIRECTA POTENCIA	

Fig. 2.1. Clasificación de Bombas

Los términos usados para definir las clases de bombas (Centrífugas, Rotatorias y Reciprocantes) son aplicados para describir la mecánica del movimiento del líquido y no para el servicio al que se ha diseñado una bomba.

## 2.2 Materiales utilizados en la construcción de una bomba

Los materiales más comúnmente usados en la construcción de una bomba son el bronce, el fierro y el acero inoxidable. Comercialmente se pueden encontrar bombas con las siguientes combinaciones:

- Bomba estándar de fierro y bronce
- Bomba toda de fierro
- Bomba toda de bronce
- Bombas de acero con partes internas de fierro o acero inoxidable
- Bombas de acero inoxidable

Las condiciones de servicio y la naturaleza del líquido manejado determinan el material que se utilizará en la construcción de una bomba; pero para bombas utilizadas en el abastecimiento de agua potable, la construcción más normal es la estándar, de fierro y bronce.

## 2.3 Bombas centrífugas

Los progresos en los motores eléctricos han propiciado el desarrollo de bombas centrífugas mucho más ligeras y económicas, las cuales tienen en su favor condiciones de descarga constante, a una presión dada, que no tienen las bombas reciprocantes.

Actualmente, las bombas centrífugas cubren el campo de las altas presiones, que se logran mediante bombas de varios pasos, accionadas para funcionar a al

tas velocidades.

En cuanto a capacidades, las bombas centrífugas se han diseñado para gastos que van de uno a más de un millón de galones por minuto. Debido a tal versatilidad, estas bombas representan el 75% de las bombas utilizadas en la actualidad.

### 2.3.1 Partes constitutivas de una bomba centrífuga

En la figura 2.2 se muestran las principales partes constitutivas de una bomba centrífuga. A continuación se describen brevemente estos elementos.

#### - Carcaza

La función de la carcaza en una bomba centrífuga horizontal, es convertir la energía de velocidad, impartida al líquido por el impulsor, en energía de presión.

Para el abastecimiento de agua potable, son comunes bombas con carcazas partidas en un plano horizontal, construidas de fierro y algunas veces de bronce, ya que tienen la ventaja de inspeccionar sus partes internas sin tener que quitar tuberías. Estas se designan como bombas de caja partida (fig 2.3).

Las bombas de carcaza inclinada se usan mucho en aquellos casos en que se manejen pulpas o pastas que continuamente estén obstruyendo al impulsor, y cuya revisión es continua.

Según sus características de succión, las carcazas pueden ser de simple o doble succión, correspondiendo a las características del

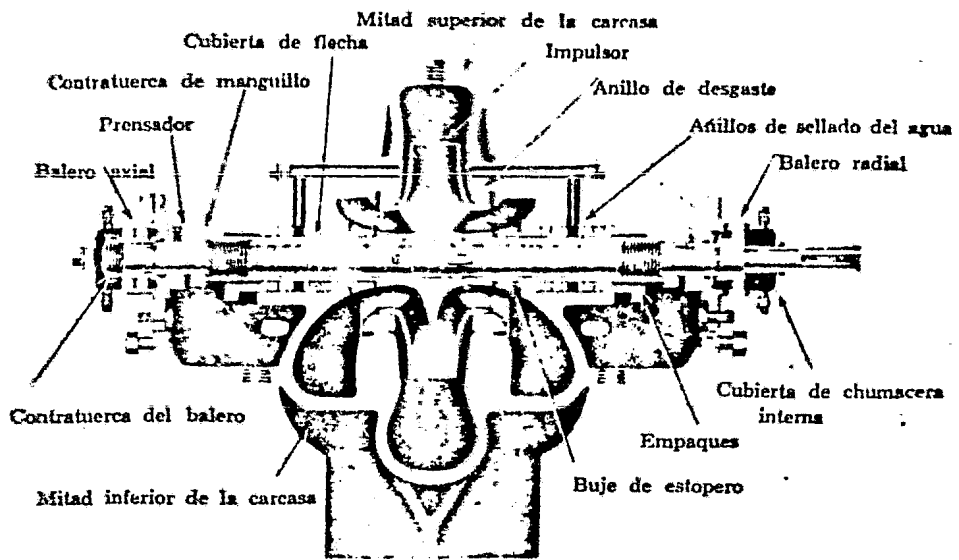


Fig. 2.2 Partes constitutivas de una bomba Centrífuga.

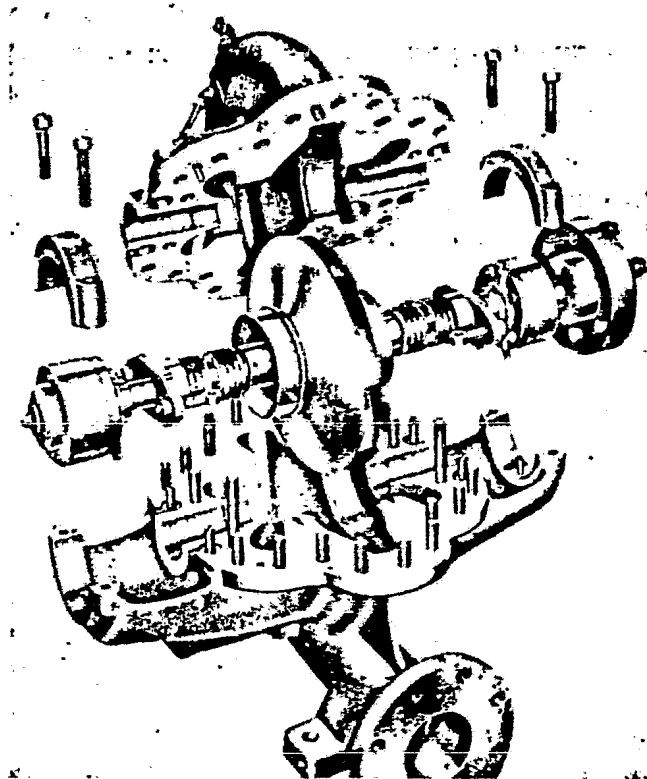


Fig. 2.3 Bomba de propósito general de un solo paso con carcasa horizontalmente dividida.



impulsor que succionará el agua por uno o ambos extremos. Una carcaza puede tener succión lateral superior e inferior, dependiendo de las necesidades y colocación de las tuberías de succión y descarga.

Por otro lado, las carcazas pueden ser de uno o varios pasos, según contenga uno o más impulsores.

En el caso de las bombas verticales, los tazones vienen a ser, en cierta forma, lo que la carcaza a las bombas horizontales, ya que concentran la presión del agua, ejercida por el impulsor, para ser conducida por el tubo de columna hacia su salida.

#### - Impulsores

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

Por el tipo de succión, los impulsores se dividen en simple y doble succión. En el primer caso, el líquido entra por un solo extremo; en tanto que en el de doble succión podría considerarse integrado por dos impulsores de simple succión colocados espalda con espalda, donde el líquido tiene entrada por ambos extremos y una salida común.

El impulsor de simple succión es más práctico y usado debido a razones de manufactura, ya que simplifica considerablemente la forma de la carcaza. Sin embargo, para grandes gastos, es preferi-

ble utilizar un impulsor de doble succión, debido que para una misma carga se maneja el doble de gasto. Además, tienen la ventaja de que debido a la succión por lados opuestos no se produce empuje axial.

En cuanto a la forma de los impulsores, se pueden diferenciar en cuanto a la forma de sus álabes (aspas) y de sus paletas, como se muestra en la figura 2.4.

Los impulsores abiertos (fig 2.4A) tienen álabes unidos a un mamelón central sin ningún plato en los extremos. Los impulsores semiabiertos B tienen una tapa o pared en un solo lado. Los impulsos cerrados C y D tienen tapas en ambos lados para encerrar el pasaje del líquido (el impulsor C es de succión simple y el tipo D de doble succión). En E, F y G se muestran diseños de impulsores para manejar pulpa, de tipo de paletas y de flujo mixto, respectivamente.

En la figura 2.5 se muestra una bomba para manejo de pulpa, donde se aprecia el tipo de impulsor empleado para este caso (tipo E).

Los impulsores abiertos y semiabiertos están generalmente destinados para gastos pequeños y cargas altas, por lo cual son impulsores de baja velocidad específica. Pueden manejar líquidos ligeramente sucios.

Los impulsores de doble succión son los más usados en aplicaciones generales, así como en bombas de varios pasos.

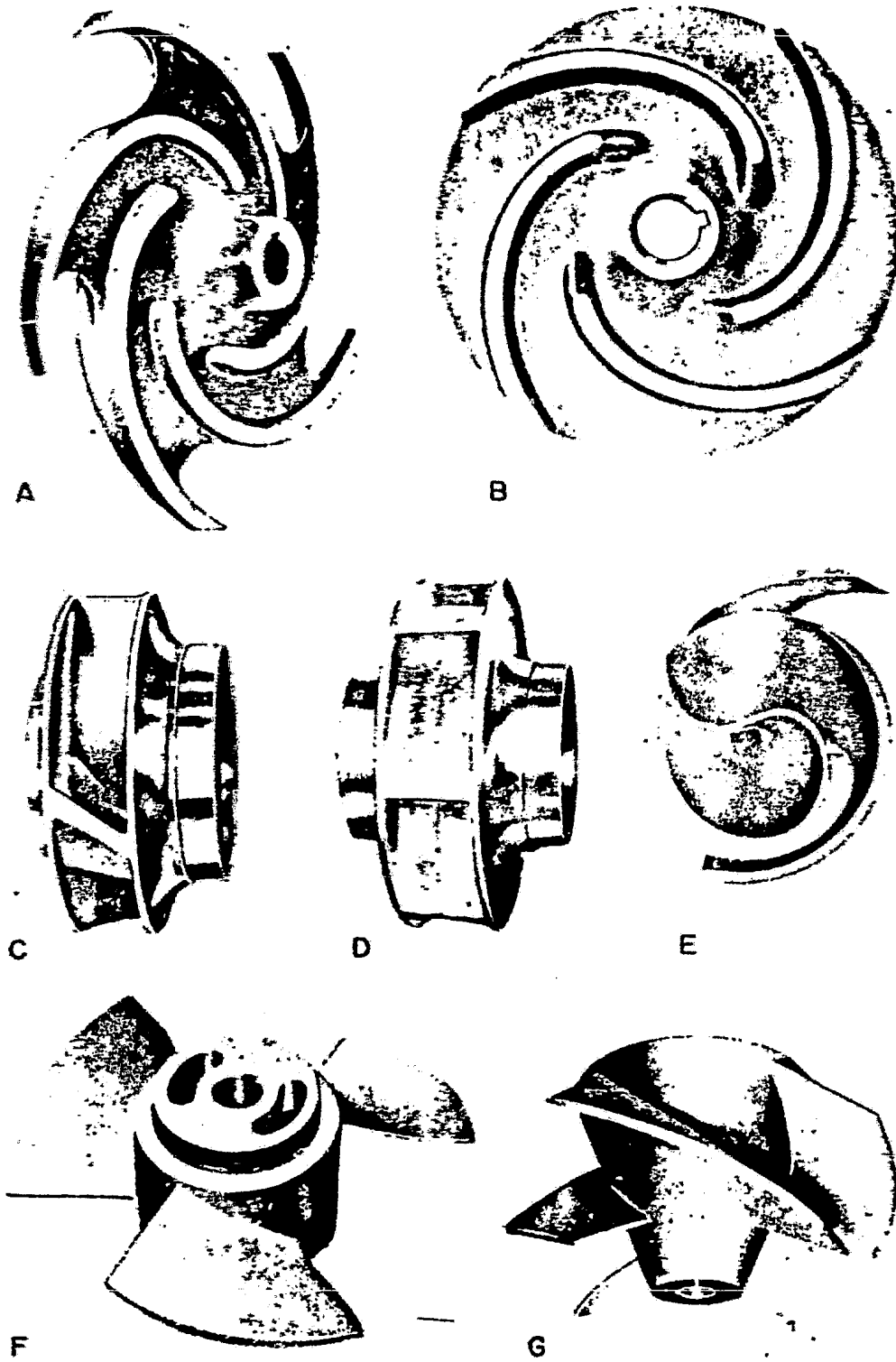


Fig. 2.4 Impulsores típicos.

Los impulsores de tipo propela (de paletas), de flujo completamente axial, se utilizan para manejar gastos altísimos y cargas reducidas, pudiendo manejar líquidos con sólidos en suspensión de tamaño relativamente grande, los cuales son especialmente adecuados para bombas de drenaje de ciudades. Otro tipo de impulsores con aspas son los impulsores centrífugos inatascables.

El impulsor tipo mixto, donde el flujo es radial axial, se pueden manejar líquidos con sólidos en suspensión.

#### - Flecha

La flecha de una bomba centrífuga es el eje de todos los elementos que giran en ella, transmitiendo el movimiento que imparte el motor.

En caso de una bomba centrífuga horizontal, la flecha es una pieza a lo largo de toda la bomba. En caso de bombas verticales, existe un tramo de flecha donde se localizan los impulsores; el cual está unido a una serie de flechas de transmisión que completan la longitud necesaria desde el cuerpo de tazones hasta el cabezal de descarga.

- Las flechas generalmente son de acero, modificándose el contenido de carbono, según la resistencia que se necesite.

#### - Elemento motriz

El elemento motriz es independiente de las bombas en sí mismas, ya que aquél puede tratarse de un motor eléctrico o de combustión

interna, transmitiendo el movimiento al impulsor generalmente a través de una flecha.

El tipo de motor más comúnmente usado es el eléctrico, por sus ventajas sobre el de combustión interna, como menor inversión inicial, economía de operación y mantenimiento, y una mayor vida útil.

Para mover bombas, uno de los tipos de motores eléctricos más recomendados es el de inducción, para corriente alterna, trifásico y rotor con devanado jaula de ardilla.

En relación a los voltajes de operación, éstos, en general, se recomienda seleccionarlos de acuerdo a la potencia del motor, como se describe a continuación:

Monofásicos: hasta un H.P. ....	110/220 V
Trifásicos: hasta 20 H.P. ....	220/240 V
hasta 200 H.P. ....	440 V

#### - Anillos de desgaste

Para evitar el desgaste costoso de la carcaza y del impulsor en la junta de operación, se instalan anillos de desgaste, conocidos también como anillos de sellado o anillos de carcaza. Cuando estos anillos son móviles, que es el caso general, pueden reemplazarse a una fracción del costo de un nuevo impulsor o carcaza de la bomba, ya que de otra manera serían necesarios. En la figura 2.6, el sello "a" es una unión plana simple. La unión "b" tiene

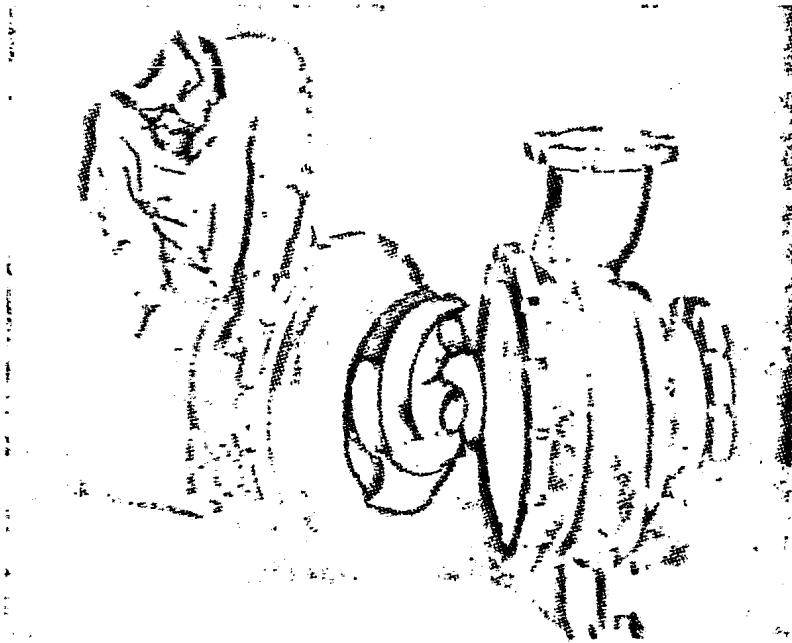


Fig. 2.5 Bomba para manejo de pulpa.

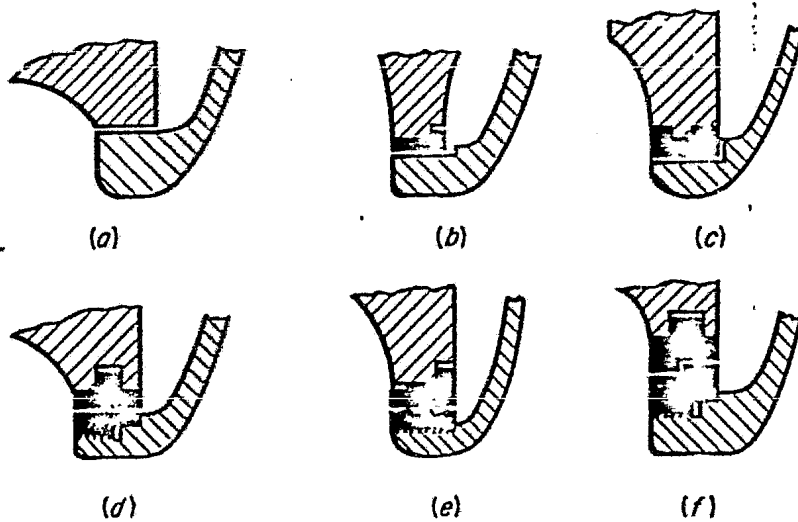


Fig. 2.6 Disposiciones Típicas de los Anillos de Desgaste.

un anillo plano montado en la carcaza de la bomba. En "c", el anillo se ajusta en una ranura de la carcaza (el impulsor puede tener un anillo similar). En los diseños "d", "e" y "f", los anillos están ajustados tanto a la carcaza como al impulsor.

La forma de estos anillos varían de acuerdo con la precisión de descarga de la bomba, del servicio de ésta, etc.

- Cojinetes (o chumaceras)

La función de los cojinetes en las bombas centrífugas es mantener la flecha o rotor en correcto alineamiento con las partes estacionarias, bajo la acción de cargas radiales y transversales.

Muchas bombas tienen más de un tipo de cojinetes para llenar diferentes requisitos de operación.

Las chumaceras de balas (fig 2.7A) pueden ser del tipo de una o dos hileras. Las chumaceras de manguito B y C pueden ser horizontales o verticales. En este último caso, el lubricante es generalmente agua. En bombas más grandes todavía se usan chumaceras de empuje Kingsbury, D.

- Estoperos, empaques y sellos mecánicos

La función de estos es evitar el flujo hacia afuera del líquido bombeado, a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba, y el flujo del aire hacia el interior de la bomba.

El estopero es una cavidad concéntrica con la flecha donde van co

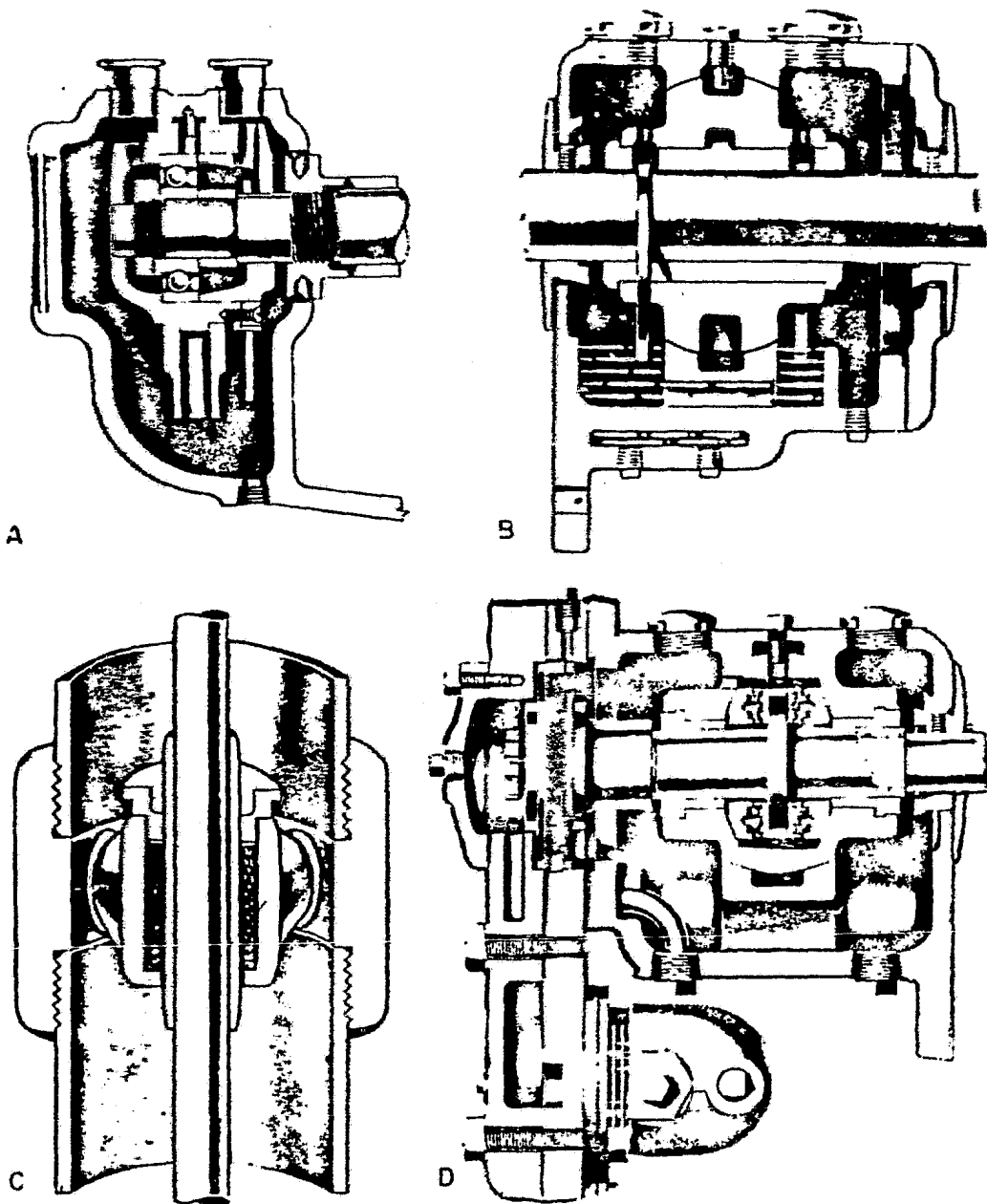


Fig. 2.7 Cuatro Tipos de Chumaceras para bombas centrífugas.



locados los empaques.

Todos los estoperos deben ejercer cierta presión para contrarrestar o equilibrar la que ya existe en el interior de la bomba. Debido a esta misma presión, se origina en la flecha una fricción bastante considerable, con el inevitable aumento de la temperatura; por lo cual se procura un medio de lubricación y enfriamiento.

La presión de los empaques se efectúa por medio de un prensaestopas, que es una pieza metálica que se mueve por medio de tornillos.

Los materiales usados para la fabricación de los empaques en las bombas centrífugas son diversos, pero los más usados son los empaques de asbesto y asbesto grafitado; asbesto con plomo; plástico con plomo, cobre o aluminio y empaque de teflón. Los primeros son utilizados en el manejo de agua fría, a temperaturas no muy elevadas, y los restantes lo son para otros líquidos diferentes al agua, para presiones y temperaturas más elevadas, en procesos industriales químicos o de refinación.

En aquellos casos en que se usa el empaque convencional y prensaestopas, debe dejarse un pequeño goteo, ya que de otra manera el calor y la fricción generado sobre la flecha es muy grande, dañando y haciendo que el motor tome más potencia. Sin embargo, hay ocasiones en que se desea que no se produzca ninguna fuga; para lo cual se usa un sello mecánico que consiste en dos superficies bien pulidas que se encuentran en contacto; una unida a la carcasa y otra que gira con la flecha, con lo que el goteo que se

escapa es reducido prácticamente a nada.

Hay dos tipos básicos de sellos: el sello exterior, dentro de la caja de empaques y el sello externo. Los materiales empleados generalmente son de carbón o teflón, y el otro de acero inoxidable.

#### - Manguitos

La flecha de las bombas generalmente se protegen de la erosión, corrosión y desgaste de los estoperos y juntas de escurrimiento con manguitos renovables. La función más común de un manguito de flecha es la de proteger ésta del desgaste del estopero.

Los manguitos de flecha que tienen otras funciones reciben nombres específicos para indicar su propósito. Por ejemplo un manguito de flecha usado entre dos impulsores de una bomba de varios pasos, se llama manguito de entrepasos o separador.

Los manguitos de flecha son generalmente la parte de la bomba que se desgasta más rápidamente y que requiere más frecuentemente reponerse. Una vez que los manguitos se han desgastado apreciablemente, la empaquetadura no puede ajustarse para evitar el escurrimiento excesivo. Por esto, los manguitos requieren reponerse o repararse cuando no es necesaria ninguna otra reparación de la bomba.

#### - Cubreflechas

En bombas grandes son utilizadas las cubreflechas que protegen de

la corrosión, erosión y desgaste a las flechas. En bombas pequeñas se eliminan, ya que las flechas se construyen con la suficiente resistencia a la corrosión y al desgaste.

### 2.3.2 Acción de las bombas centrífugas

**Bombas de tipo voluta.** En este tipo de bomba (fig 2.8) el impulsor descarga en una caja espiral que se expande progresivamente, de tal forma que la velocidad del líquido se reduzca en forma gradual. Así, parte de la energía de velocidad del líquido se convierte en presión estática.

**Bombas de tipo difusor.** Los álabes direccionales estacionarios (fig 2.9) rodean al impulsor en una bomba de este tipo, provocando una expansión gradual, cambiando la dirección del flujo del líquido, convirtiendo la energía de velocidad a columna de presión.

**Bombas de tipo turbina.** También se conocen como bombas de vórtice, periféricas o regenerativas. En este tipo de bombas se producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas dentro del canal anular en que gira el impulsor (fig 2.10 y 2.11).

**Bombas de flujo radial.** Tienen impulsores generalmente angostos de baja velocidad específica. que desarrollan cargas altas. El flujo es totalmente radial, y la presión desarrollada es debida principalmente a la fuerza centrífuga.

**Bombas de flujo axial.** Llamadas de propela. El flujo, como su nombre lo indica, es completamente axial y sus impulsores de alta velocidad específica.

**Bombas de flujo mixto.** El flujo cambia de axial a radial. Son bombas para

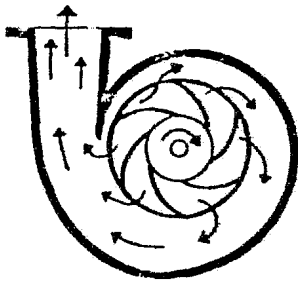


Fig. 2.8 La voluta de la bomba convierte la energía de velocidad del líquido en presión estática.

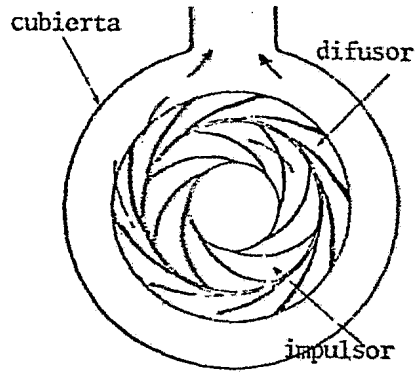


Fig. 2.9 El difusor cambia la dirección del flujo, y contribuye a convertir la velocidad en presión.

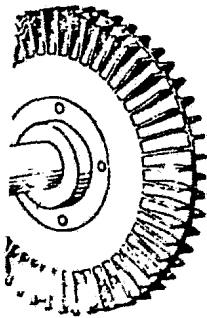


Fig. 2.10 impulsor de turbina.

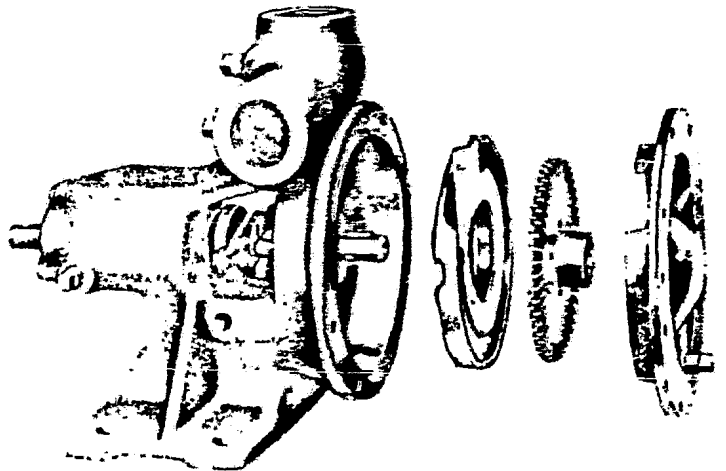


Fig. 2.11 Bomba de turbina horizontal regenerativa de un solo paso.

cargas intermedias, donde la velocidad específica de sus impulsores es mayor que las de flujo axial (fig 2.12).

Motobombas. Estas combinan la bomba y su motor en una sola unidad, proporcionando una bomba compacta, maciza y eficiente (fig 2.13). Se diseñan para manejar una gran variedad de líquidos.

Bombas inatascables. Estas bombas manejan líquidos de drenaje, de procesos de fabricación de papel, líquidos viscosos y otros similares que contengan sólidos (fig 2.14). Estas unidades tienen impulsores de paletas y una cubierta de construcción removible para facilitar la limpieza una vez instalada.

Bombas autocebantes. Estas bombas tienen la ventaja de cebarse solas, aun cuando se coloquen arriba del abastecimiento de agua. Desalojan el aire en forma de burbujas de sus conductos y reanuda la operación de bombeo sin atención del exterior. Una bomba autocebante requiere de un separador de aire, que es una cámara grande de calma o amortiguador que se instala a un lado de la descarga para efectuar esa separación.

Existen otras formas de hacer autocebante una bomba, siendo las más importantes las siguientes:

- Recirculación dentro de la descarga y del impulsor en sí mismo.
- Recirculación de la descarga, retornando a la succión.

La primera forma de cebado se llama "cebado de boluta" o "cebado de difusor", dependiendo del diseño de la carcasa. Tiene la ventaja de ser sencilla en su operación, eliminando mecanismos complicados de válvulas internas (fig 1.7).

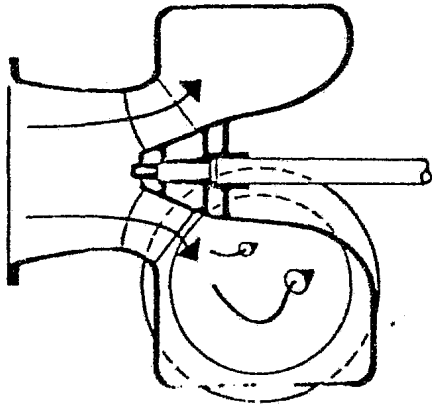


Fig. 2.12 Las bombas de flujo mixto usan tanto la fuerza centrífuga como el impulso de los álabes sobre el líquido.

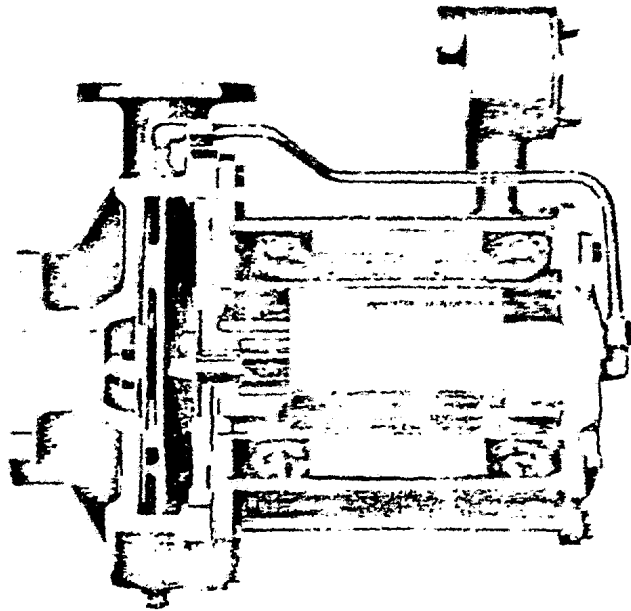


Fig. 2.13 Bomba directamente acoplada, sin sello, a prueba de escapes.

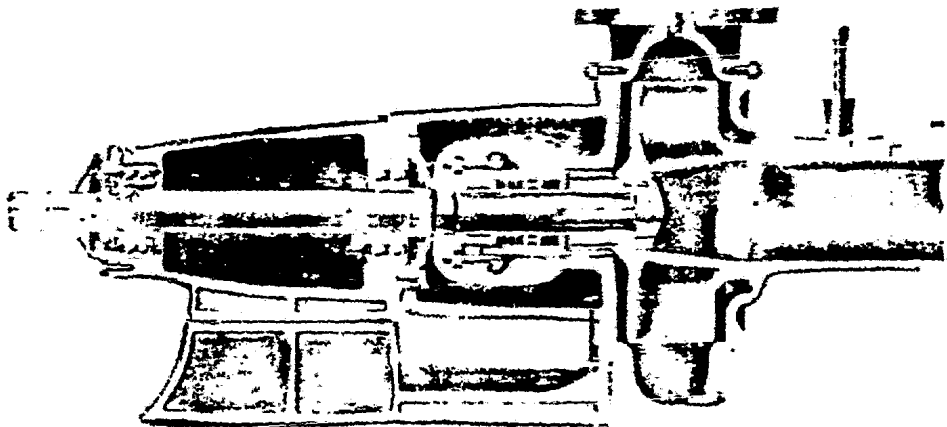


Fig. 2.14 Bomba inatascable con impulsor de dos álabes

Las bombas autocebantes se construyen con tantas combinaciones de impulsores como las bombas ordinarias que no se ceban solas. Se obtienen comúnmente ya sea con un impulsor separado, con acoplamiento directo (fig 1.6) o portátil impulsada con motor de combustión interna.

Las bombas de flecha vertical caen dentro de dos clasificaciones distintas: las de foso lleno y las de foso seco. En el primer caso se tienen los siguientes tipos, que se diferencian principalmente para el servicio a que se destinan:

Bombas de pozo profundo. Las bombas de tipo difusor de varios pasos se usan mucho para servicios de pozo profundo. Las unidades de este diseño se llaman comúnmente "bombas de turbinas verticales" (no deben confundirse con las bombas de turbina regenerativa mostrada en la fig 2.11).

Las bombas de turbinas verticales pueden ser lubricadas por aceite o por agua (fig 2.15 y 2.16).

Cuando se tienen chumaceras lubricadas con aceite se usa cubreflecha; y en caso que el líquido manejado por la bomba sirva como lubricante, como en el caso de las bombas lubricadas por agua, no se necesita cubreflecha, por lo que se les conocen también como bombas de flecha descubierta.

Las bombas de turbinas verticales pueden ser movidas por motores eléctricos, turbinas de vapor o máquinas de gasolina o diesel.

Las bombas de turbinas verticales se fabrican comúnmente para pozos perforados de 6" o mayores.

Las bombas de varios pasos para servicio de pozo profundo desarrollan colum-



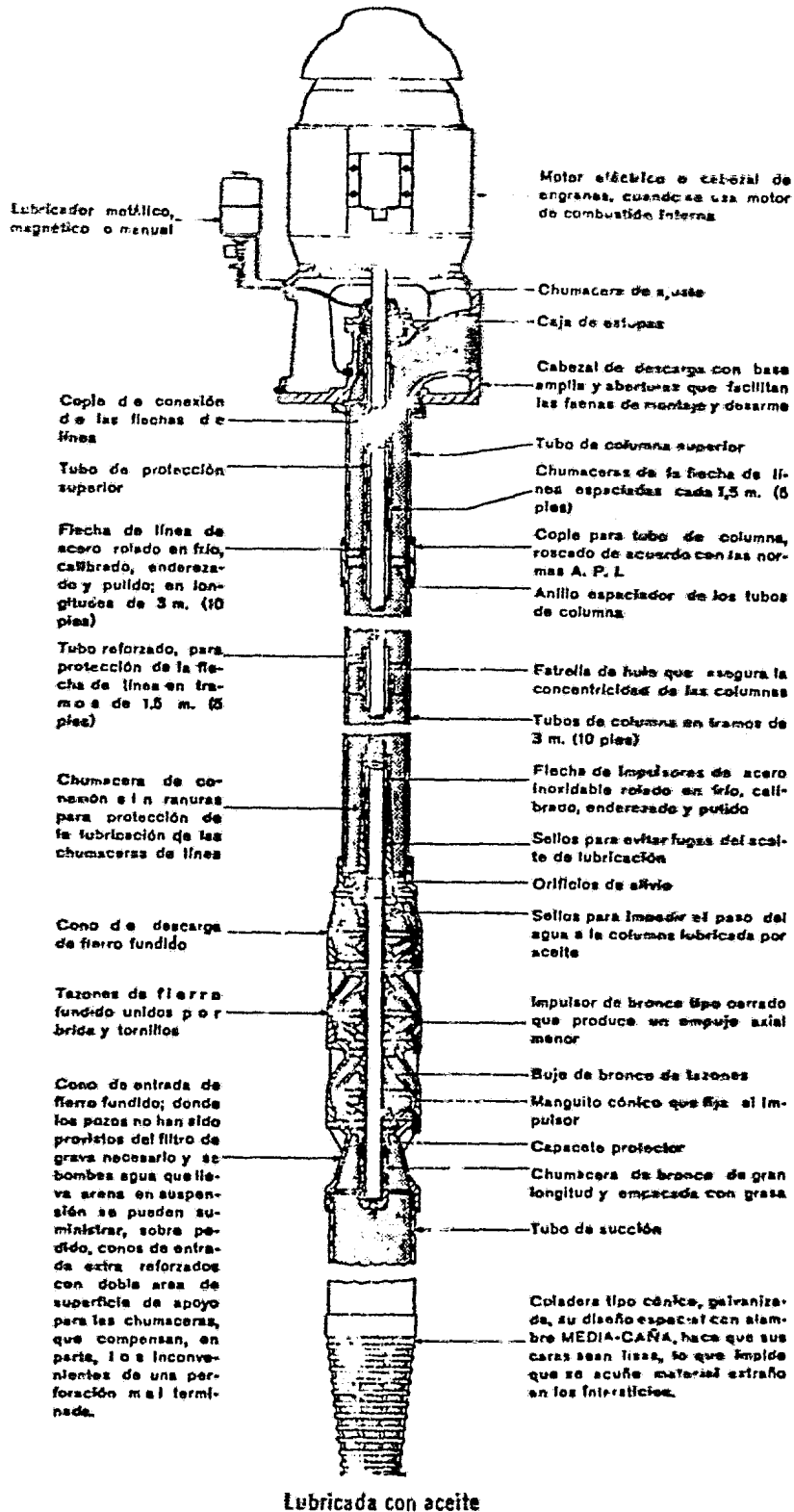


Fig. 2.15 Bomba de pozo profundo lubricada con aceite, mostrando todas sus partes.

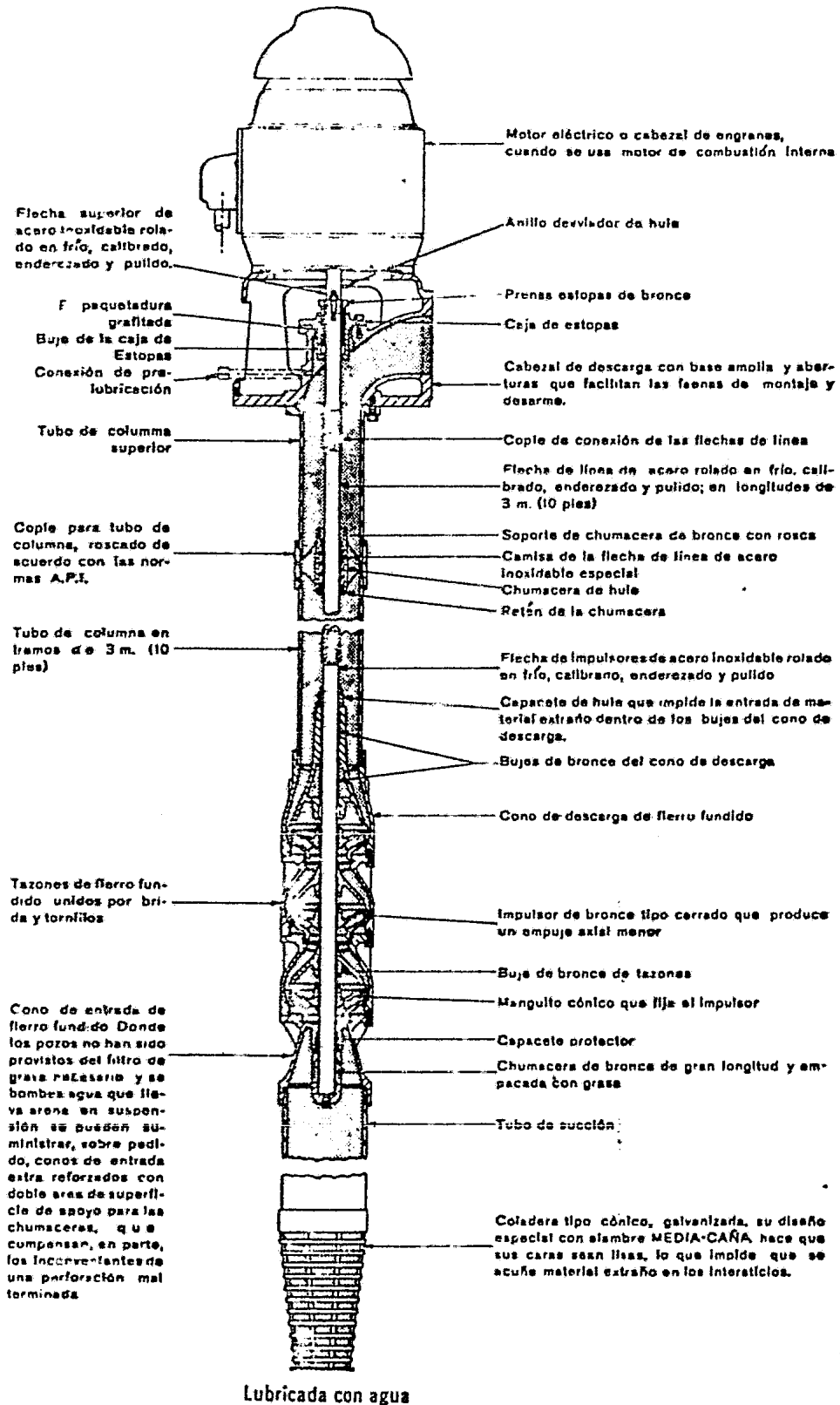


Fig. 2.16 Bomba de pozo profundo lubricada con agua, mostrando todas sus partes.

nas de más de 460 m y manejan gastos de hasta 1,900 litros por segundo.

El número de pasos elegidos depende de la columna que deba desarrollarse, siendo la elevación de la presión uniforme en cada paso. Las bombas de alta columna pueden tener 20 o más pasos, pero la mayor parte de las unidades que se usan en la actualidad tienen generalmente menos.

Bombas de motor sumergido. En este diseño (fig 2.17) una bomba centrífuga del tipo difusor vertical se monta directamente sobre un motor eléctrico de diámetro pequeño que opera sumergido en el agua todo el tiempo. La tubería de descarga soporta el peso de la bomba y el motor.

Los motores usados con bombas de este tipo, se diseñan para un gran servicio sin atención. En caso de una falla del motor, debe extraerse toda la bomba del pozo, lo que representa una desventaja en pozos muy profundos.

Muchas bombas de motor sumergido se construyen para columnas de hasta 360 m, y capacidades de 25 l.p.s. a temperaturas del líquido de 130 °C. Algunas bombas de este tipo tienen más de 300 pasos. Muchas bombas de motor sumergido de varios diseños se usan tanto para pozos poco profundos como profundos, especialmente cuando la perforación del pozo está chueca.

Bombas de eyector. Este tipo de bombas es utilizado para evitar los problemas de funcionamiento que representa para la bomba la entrada de burbujas de aire o arenas.

Estas bombas combinan una bomba centrífuga de un solo paso en la parte superior del pozo con una boquilla de chorro o eyector. Una parte del agua descargada por la bomba fluye hacia abajo a través del eyector, con lo cual el

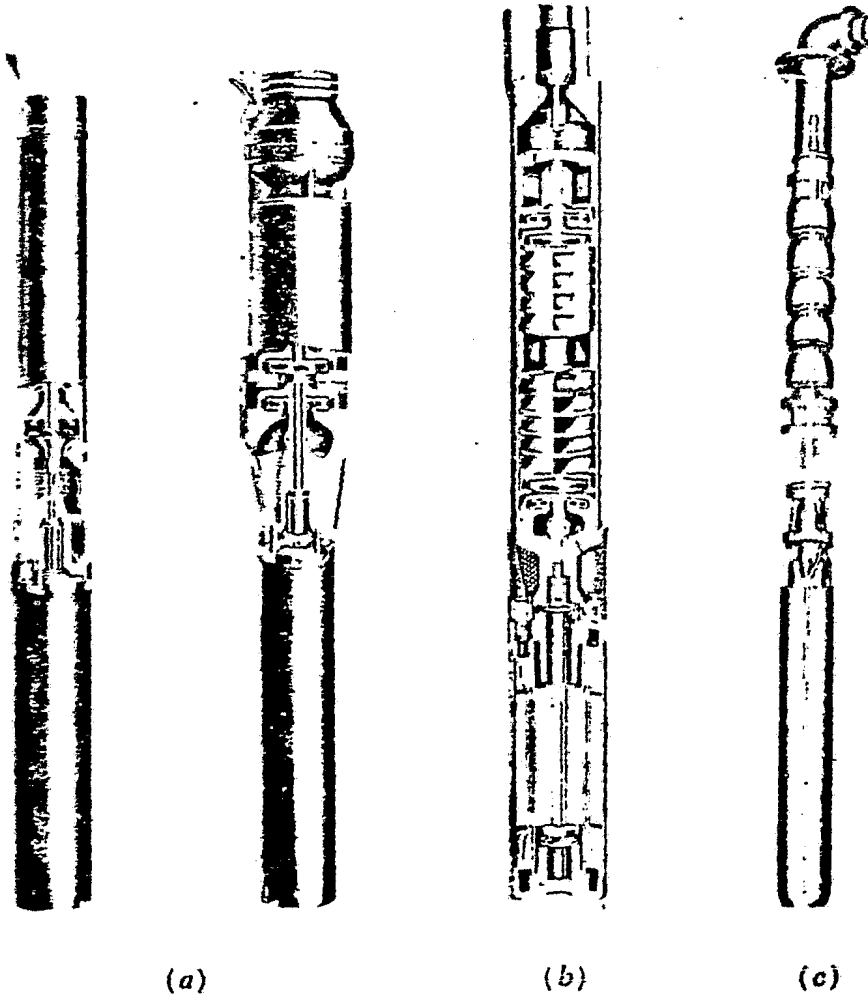


Fig. 2.17 (a) y (b) Bombas de pozo profundo pequeñas, de motor sumergible, y (c) Bomba grande de motor sumergible.

flujo que va a la bomba es mejorado, subiendo por el tubo de descarga (fig 2.18).

Para pozos de poca profundidad, con elevación de menos de 7.5 m el eyector se coloca generalmente sobre la superficie, en la carcasa de la bomba; permitiendo un mantenimiento más fácil. Para profundidades mayores, el eyector se encuentra en el pozo, y la bomba, que puede ser horizontal, en la superficie.

Las bombas de eyector son adecuadas para elevaciones de 7.5 m o más, con capacidades de hasta 3.2 l.p.s. de gasto neto (capacidad de la bomba menos cantidad usada en el chorro). Son comunes elevaciones de hasta 38 m, y algunas bombas operan con elevaciones de más de 45 m. En la figura 2.19 se muestran algunos tipos de estas bombas.

En general, se puede decir que la eficiencia de una bomba de eyector en elevaciones altas es reducida, existiendo otros diseños de bombas para servicios de columnas altas.

**Bombas de rotor helicoidal.** En lugar de impulsor, esta bomba está provista con rotor helicoidal (en forma alabeada), como se muestra en la figura 2.20. El agua es desplazada continuamente hacia arriba por el efecto de la acción del rotor helicoidal.

Las unidades de este tipo se diseñan para pozos profundos y capacidades de 30 a 210 l.p.s., y columnas de 300 m. Se usan pozos perforados con diámetros internos de más de 4".

**Bombas verticales de foso seco.** Las bombas verticales anteriormente descrii



Fig. 2.18 (a) Se puede evitar la entrada de burbujas de aire, encerrando la válvula de pie. (b) La cámara de asentamiento elimina la arena del agua.

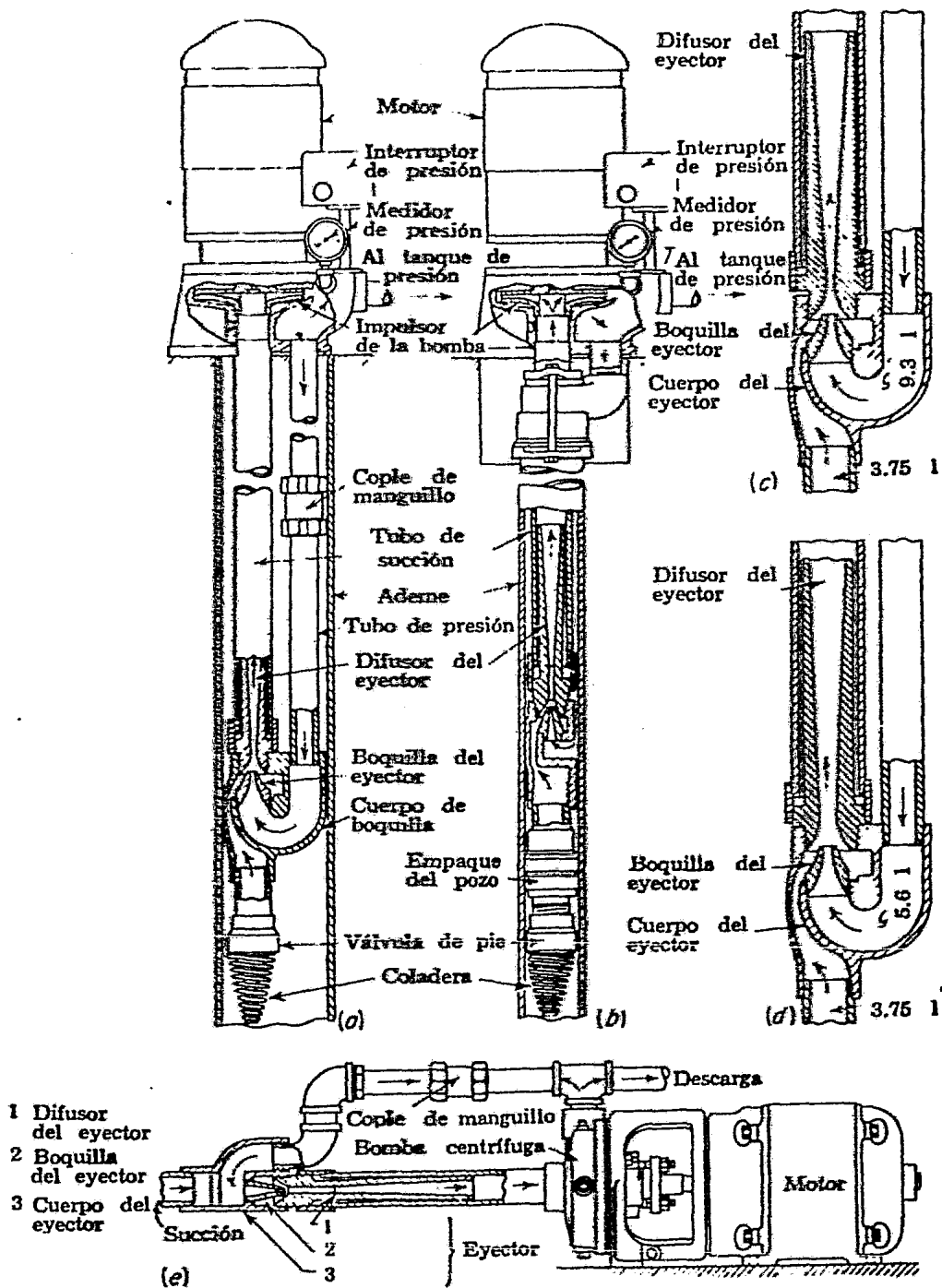


Fig. 2.19 Tipos de bombas de eyector (a) De dos tubos. (b) De un tubo. (c) Alta columna, baja capacidad. (d) Baja columna, alta capacidad. (e) Eyector conectado cerca de la bomba da una curva H-Q de inclinación pronunciada.

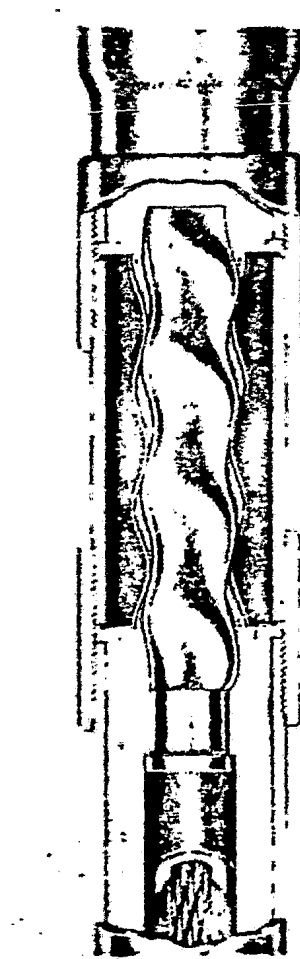


Fig. 2.20 Bomba de po-  
zo profundo de rotor -  
helicoidal.



tas operan sumergidas en el líquido manejado, en cambio las bombas verticales de foso seco operan rodeadas de aire.

Muchas bombas verticales de foso seco son básicamente diseñados de bombas horizontales con pequeñas modificaciones (generalmente en los cojinetes) para adaptarlas al impulsor de flecha vertical.

Estas bombas son utilizadas para el drenaje de aguas negras, irrigación, circulación a condensadores y suministro de agua; para alturas de elevación de pequeñas a mediana y grande.

#### 2.4 Bombas rotatorias

El campo de aplicación de estas bombas es muy extenso. Se usan para manejar gran variedad de líquidos; las hay para un amplio rango de capacidades y para distintas presiones y velocidades. Son utilizadas principalmente en la industria petrolera, alimenticia y marítima.

Este tipo de bombas no deben manejar líquidos que contengan sustancias abrasivas o corrosivas, ya que pueden causar un desgaste prematuro en los engranes, levas, etc., que giran dentro de la cámara o caja; además se debe evitar utilizar este tipo de bombas donde pudieran quedarse trabajando en seco.

En cuanto a las ventajas de esta bomba, se pueden mencionar que combinan las características de flujo constante de las bombas centrífugas, con el efecto positivo de las bombas reciprocantes. Pueden manejar líquidos que contengan aire o vapor, así como líquidos densos, delgados y altamente viscosos; lo que ninguna otra bomba puede hacer.

#### 2.4.1 Acción de las bombas rotatorias

En lugar de "aventar" el líquido como en una bomba centrífuga, una bomba rotatoria lo atrapa y lo empuja contra la caja fija, en forma muy similar a como lo hace un pistón en una bomba recíproca. Pero a diferencia de una bomba de pistón, la bomba rotatoria descarga un flujo continuo.

Bombas de engranes. Estas constituyen el tipo rotatorio más simple. El líquido es conducido con trayectoria circular hacia afuera, y es exprimido al engranar nuevamente los rotores entre los dientes de sus engranes, que sirven también como superficies de sello en la carcasa de la bomba. Las hay de engranes externos, que pueden ser rectos (fig 2.21), helicoidales simples o dobles y de engrane interno que tiene un solo rotor que engrana con uno externo. Puede usarse una partición en forma de luna creciente para evitar que el líquido pase de nuevo al lado de la succión de la bomba (fig 2.22).

Puede manejar de pequeños gastos, hasta caudales que ascienden a más de 300 litros por segundo, con presiones de más de 200 kg/cm<sup>2</sup>.

Bombas de leva y pistón. También llamadas bombas de émbolo rotatorio. Consisten en un excéntrico con un brazo ranurado en la parte superior (fig 2.23) La rotación de la flecha hace que el excéntrico atrape al líquido contra la caja. Conforme continúa la rotación, el líquido se fuerza de la caja a través de la ranura, a la salida de la bomba.

Bombas de tornillo. Estas bombas (fig 2.24, 2.25 y 2.26) tienen de uno a tres tornillos roscados que giran en una caja fija. Existe un gran número de diseños para diferentes aplicaciones.

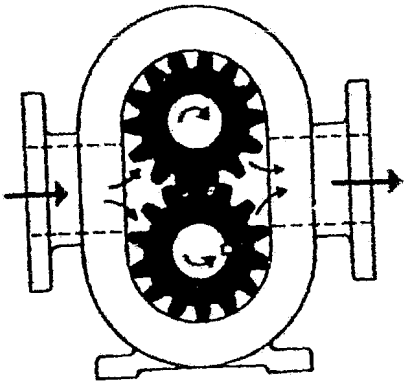


Fig. 2.21 Bomba rotatoria de engranes externos rectos.

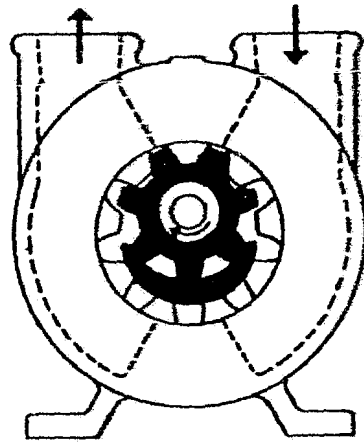


Fig. 2.22 Bomba de engranes internos.

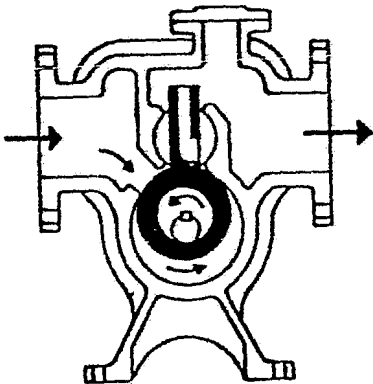


Fig. 2.23 Bomba rotatoria de leva y pistón.

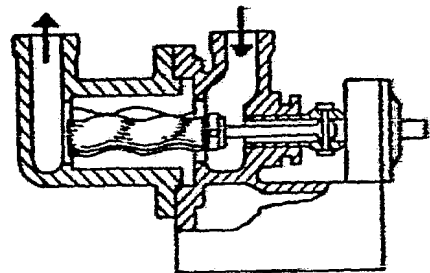


Fig. 2.24 Bomba de un tornillo

Las bombas de un solo tornillo tienen un rotor en forma espiral que gira excéntricamente desplazando axialmente al líquido a lo largo de una carcaza en forma de gusano. Tiene el inconveniente de poseer un alto grado de empuje axial.

Las bombas de dos y tres tornillos tienen uno y dos engranes locos, respectivamente, estableciéndose el flujo entre las roscas de los tornillos, y a lo largo del eje de los mismos. Estos diseños se reducen al empuje axial.

Bombas lobulares. Estas se asemejan a las bombas de engranes en su forma de acción. Tienen dos o más rotores cortados con dos o más lóbulos en cada rotor (fig 2.27, 2.28 y 2.29). Los rotores se sincronizan para obtener una rotación positiva por medio de engranes externos. El flujo de este tipo de bomba no es tan constante como en la bomba del tipo de engranes. Existen también combinaciones de bombas de engrane y lóbulo.

Bombas de aspas. Las bombas de aspas o paletas oscilantes (fig 2.30) tienen una serie de aspas articuladas que se balancean conforme gira el rotor, atrapando al líquido y forzándolo en el tubo de descarga de la bomba. Las bombas de aspas deslizantes (fig 2.31) usan aspas que se presionan contra la carcaza por la fuerza centrífuga cuando gira el rotor. El líquido atrapado entre las dos aspas se conduce y fuerza hacia la descarga de la bomba.

Bombas de bloque y vaivén. Tienen un motor cilíndrico que gira con una carcaza concéntrica. En el interior del rotor se encuentra en un bloque que cambia en posición de vaivén y un pistón recíprocado por un perno loco colocado excéntricamente, produciendo succión y descarga (fig 2.32).

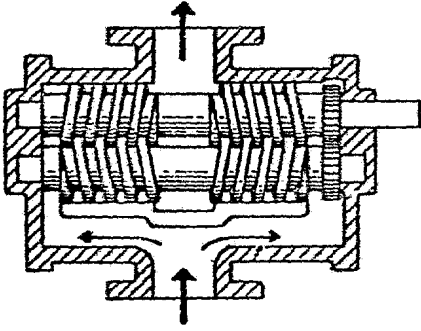


Fig. 2.25 Bomba de dos tornillos.

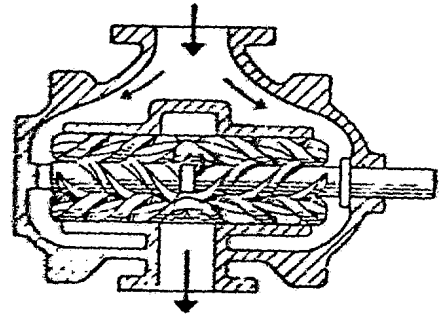


Fig. 2.26 Bomba de tres tornillos

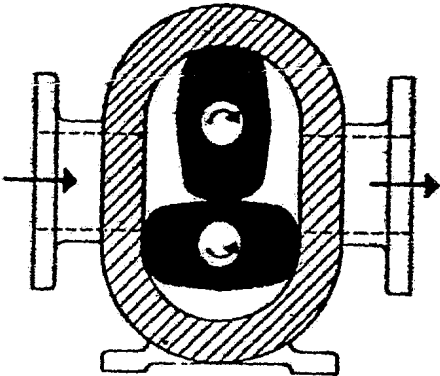


Fig. 2.27 Bomba rotatoria de dos lóbulos.

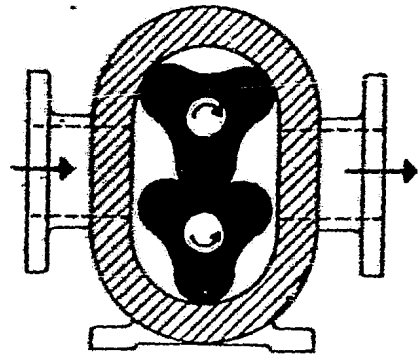


Fig. 2.28 Bomba rotatoria de tres lóbulos.

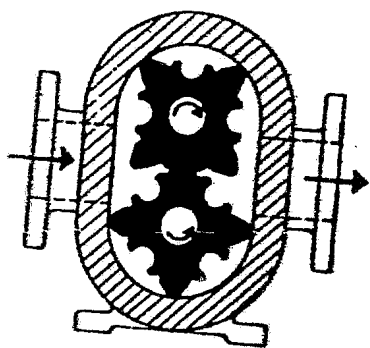


Fig. 2.29 Bomba rotatoria de cuatro lóbulos.

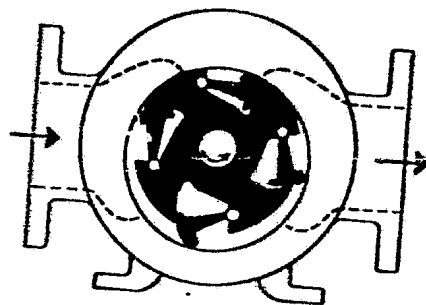


Fig. 2.30 Bomba de paletas oscilantes.

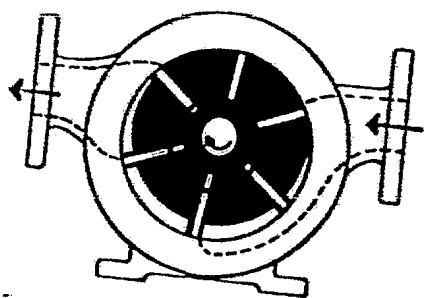


Fig. 2.31 Bomba de paletas deslizantes.

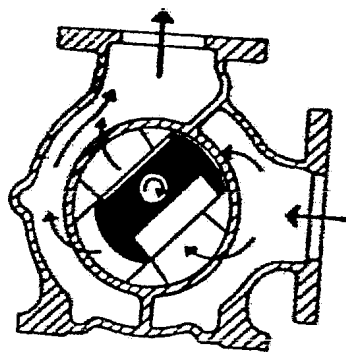


Fig. 2.32 Bomba de bloque de vaivén.

## 2.5 Bombas reciprocantes

Las bombas reciprocantes son máquinas de desplazamiento positivo, donde el movimiento de un fluido es causado por la disminución del volumen de la cámara, debido a la acción que ejerce el elemento impulsor.

El funcionamiento de una bomba reciprocante depende del llenado y vaciado sucesivo de la cámara de volumen fijo, para lo cual cierta cantidad de líquido es obligado a entrar al cuerpo de la bomba donde queda encerrado, e inmediatamente después ser forzado a salir por la tubería de descarga. En este proceso existe fricción entre las paredes fijas del receptáculo y las paredes móviles; por lo que estas bombas no son adecuadas para manejar líquidos que contengan materiales en suspensión.

El flujo de descarga de las bombas centrífugas y la mayor parte de las bombas rotatorias es continua; sin embargo, en las reciprocantes el flujo pulsa, dependiendo del tipo de bomba.

### 2.5.1 Acción de las bombas reciprocantes

Existen básicamente dos tipos de bombas reciprocantes: las de acción directa, movidas por vapor y las bombas de potencia. Existen muchas modificaciones de los diseños básicos, contruidas para servicios específicos en diferentes campos.

**Bombas de acción directa.** En este tipo, una varilla común de pistón conecta a un pistón de vapor y uno de líquido (fig 2.33). Las bombas de acción directa se construyen: simplex (un pistón de vapor y un pistón de líquido) y duplex (dos pistones de vapor y dos de líquido). Los extremos compuestos

y de triple expansión, que fueron usados en alguna época, no se fabrican ya como unidades normales.

Las bombas de acción directa horizontales simplex y duplex han sido por mucho tiempo muy apreciados para diferentes servicios, incluyendo alimentación de calderas en presiones bajas y medianas, manejo de lodos, bombeo de aceites y agua, etc.

Se caracterizan por la facilidad de ajuste de columna, velocidad y capacidad. Tienen una buena eficiencia a lo largo de una extensa región de capacidades. Las bombas de émbolo (fig 2.34) se usan generalmente para presiones más altas que los tipos de pistón (fig 2.33). Al igual que todas las bombas reciprocantes, las unidades de acción directa tienen un flujo de descarga pulsante.

**Bombas de potencia.** Estas (fig 2.35), tienen un cigueñal movido por una fuente externa - generalmente un motor eléctrico -, banda o cadena. Frecuentemente se usan engranes entre el motor y el cigueñal para reducir la velocidad de la salida del elemento motor.

Cuando se mueve a velocidad constante, las bombas de potencia proporcionan un gasto casi constante para una amplia variación de columna, teniendo una buena eficiencia.

En el extremo líquido, que puede ser del tipo pistón o émbolo, desarrollará una presión elevada cuando se cierra la válvula de descarga. Por esta razón, es práctica común el proporcionar una válvula de alivio para la descarga, con el objeto de proteger a la bomba y su tubería.



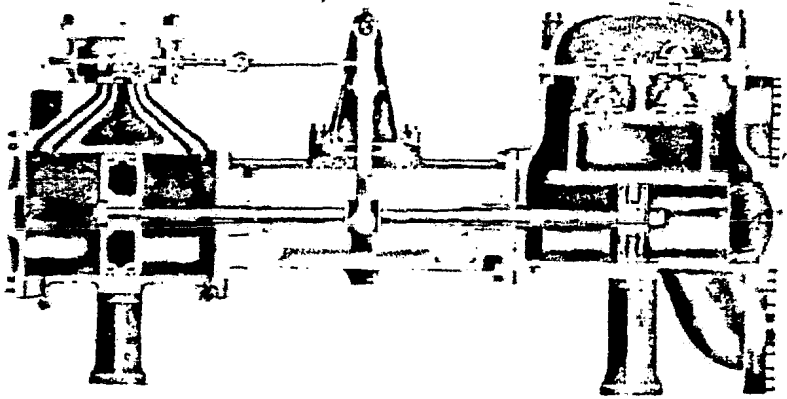


Fig. 2.33 Bomba horizontal de pistones dobles de acción directa.

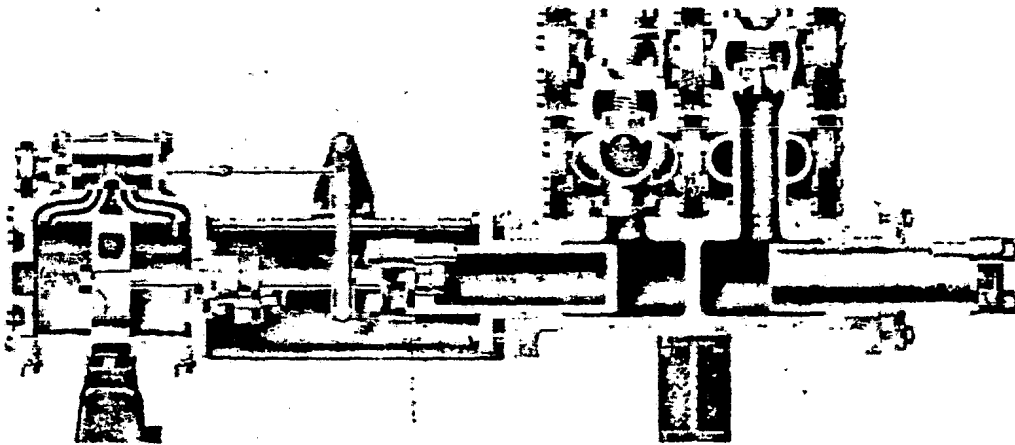


Fig. 2.34 Bomba horizontal duplex de émbolo del tipo de válvula de cámara con empaque extremo exterior.

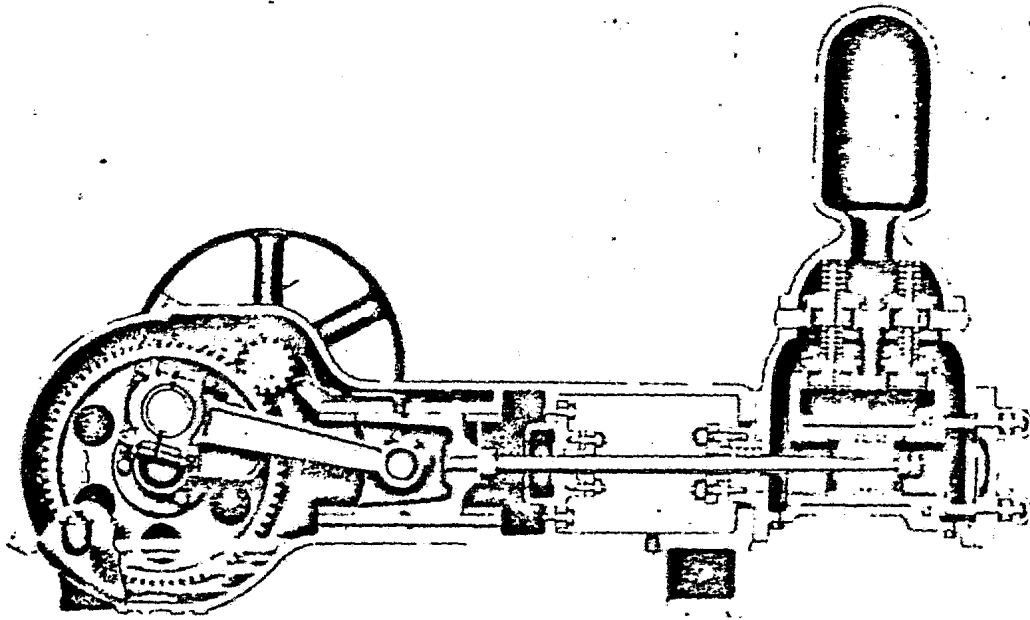


Fig. 2.35 Bomba horizontal de potencia simple, movida por un piñón engranado a un cigüeñal.

### 3. SELECCION DE EQUIPO DE BOMBEO

### 3. SELECCION DE EQUIPO DE BOMBEO

Probablemente el mayor problema que se encuentra al diseñar un sistema de bombeo es la elección del tipo, capacidad, columna y detalles de la bomba o bombas que habrán de usarse en un sistema de abastecimiento de agua potable.

El presente capítulo de este trabajo pretende, en una forma sencilla, seleccionar la bomba más adecuada para el abastecimiento de agua en un edificio, mostrando los pasos de cálculo que generalmente se siguen en la determinación

de la unidad más conveniente.

Antes de intentar elegir un equipo de bombeo se deberá tener en mente la clase, subclase y tipo de bomba a seleccionar (ver fig 2.1 clasificación de bombas).

En la generalidad de las veces, para abastecimiento de agua a edificios, se seleccionan las bombas de la clase rotodinámicas, ya sean bombas centrífugas horizontales o verticales.

Los equipos de bombeo se eligen generalmente por tres métodos:

1. El cliente suministra los detalles completos a uno o más fabricantes, de las condiciones de bombeo, y pide una recomendación y oferta de las unidades que parezcan más apropiadas para unas condiciones dadas.
2. El comprador efectúa un cálculo completo del sistema de bombeo, procediendo luego a elegir la unidad más adecuada a partir de catálogos y gráficas características de las bombas.
3. Se usa una combinación de estos dos métodos para llegar a la selección final.

El primer método se usa para bombas grandes, en aplicaciones en condiciones poco usuales, en caso que no se desee efectuar personalmente la elección de la bomba.

En este primer método, aunque parezca que releva al ingeniero de la responsabilidad de la elección del equipo de bombeo, de hecho no es así; ya que se

debe tener en cuenta otros aspectos, como la economía de la instalación y la determinación de qué equipo en particular proporciona mayor economía de operación para diferentes condiciones futuras de gasto y carga.

### 3.1 Secuencia de cálculo para la selección de un equipo

El cálculo completo para la selección de cualquier bomba (sea grande, pequeña, centrífuga, reciprocante o rotatoria) se puede resumir básicamente en los siguientes pasos:

- a) Trazo del diagrama de la disposición de la bomba, tuberías y accesorios.
- b) Determinación del gasto por bombear.
- c) Cálculo de la altura de bombeo (carga dinámica total).
- d) Estudio de las características del líquido.
- e) Elección de la bomba.

- a) Trazo del diagrama de la disposición de la bomba, tuberías y accesorios.

Este diagrama de la disposición debe basarse sobre la aplicación real. Generalmente son satisfactorios los diagramas de una sola línea, donde queden mostradas las longitudes de todas las tuberías horizontales y verticales, así como válvulas, equipos y accesorios. Cuando la tubería es compleja, generalmente es útil un dibujo isométrico.

b) Determinación del gasto por bombear

En caso que no se conozca el gasto, éste se puede determinar en función del número de salidas y aparatos (lavabos, excusados, etc.), como se muestra en la tabla 3.1

c) Cálculo de la carga de bombeo (carga dinámica total)

Un estudio cuidadoso de las condiciones de la carga de bombeo y la localización de la bomba se puede traducir en un ahorro apreciable de potencia - y por consiguiente ahorro en energía - sin aumentar sustancialmente el costo inicial del proyecto. Una elección cuidadosa del diámetro de tubería, basado en cargas futuras predecibles o estimadas, es un ejemplo de como puede hacer que un diseño cuidadoso produzca dividendos en cuanto a economía de operación del sistema.

La carga dinámica total se puede determinar de la siguiente forma:

$$C.D.T. = C.E.T. + C.F. + C.V.$$

donde:

C.D.T.: es la carga dinámica total, en m

C.E.T : es la carga estática total, en m, que representa la distancia vertical entre el nivel del suministro y el nivel de la descarga del líquido. A su vez, la C.E.T. está constituida por la columna de

## a) ESCUELAS

Número de salidas	LPM (GPM) por salida
0 - 10	5.6 (1.5)
11 - 25	3.7 (1.0)
26 - 50	3.0 (0.8)
51 - 100	2.2 (0.6)
101 - 200	1.8 (0.5)
201 - 300	1.5 (0.4)
301 - 400	1.5 (0.4)
401 - 500	1.1 (0.3)

## b) OFICINAS

Número de salidas	LPM (GPM) por salida
0 - 25	4.7 (1.25)
26 - 50	3.4 (0.90)
51 - 100	2.6 (0.70)
101 - 150	2.4 (0.65)
151 - 250	2.0 (0.55)
251 - 500	1.7 (0.45)
501 - 750	1.3 (0.35)
751 - 1000	1.1 (0.30)
1001 - 1500	1.1 (0.30)

## c) APARTAMIENTOS Y HOTELES DE APARTAMIENTOS

Número de salidas	LPM (GPM) por salida
0 - 25	2.2 (0.60)
26 - 50	1.8 (0.50)
51 - 100	1.3 (0.35)
101 - 200	1.1 (0.30)
201 - 400	1.0 (0.28)
401 - 800	0.94 (0.25)
801 - 1000	0.90 (0.24)
1001 - 1500	0.90 (0.24)
1501 - 2000	0.87 (0.23)

## d) HOTELES Y CLUBES

Número de salidas	LPM (GPM) por salida
0 - 25	2.4 (0.65)
51 - 100	2.0 (0.55)
101 - 200	1.7 (0.45)
201 - 400	1.3 (0.35)
401 - 800	1.0 (0.28)
801 - 1200	0.94 (0.25)
1201 - 1500	0.75 (0.20)
1501 - 2000	0.75 (0.20)
2001 - 2500	0.75 (0.20)

## e) HOSPITALES

Número de salidas	LPM (GPM) por salida
0 - 50	3.7 (1.0)
51 - 100	3.0 (0.8)
101 - 200	2.2 (0.6)
201 - 400	1.8 (0.5)
401 - 600	1.8 (0.5)
601 - 1000	1.5 (0.4)
1001 - 1500	1.1 (0.3)

## f) EDIFICIOS MERCANTILES

Número de salidas	LPM (GPM) por salida
0 - 25	5.6 (1.50)
26 - 50	3.7 (1.00)
51 - 100	2.8 (0.75)
101 - 150	2.6 (0.70)
151 - 250	2.4 (0.65)
251 - 300	2.2 (0.60)
351 - 500	1.8 (0.50)

- Agregar 15% si el mayor porcentaje de ocupantes son mujeres
- Agregar 10% a la capacidad total de edificios que tienen lavandería colectiva, alberca o algún proceso especial.

Tabla 3.1 Gasto por núm. de salidas, según clase de edificio.



descarga estática, que es la distancia entre el centro de la bomba y la descarga, y la elevación (o columna) estática, como se ve en la fig 3.1

C.F. : es la columna de fricción. Se mide en metros, y representa la columna equivalente para que el flujo del líquido venza la resistencia que le impone las paredes de la tubería, válvulas y aditamentos del sistema.

La columna de fricción existe tanto en el extremo de succión como en la descarga, y varía tanto por la velocidad y naturaleza del líquido, como por el material y condiciones interiores del tubo.

La resistencia de los aditamientos (válvulas, codos, etc.) generalmente se expresan en función de una longitud equivalente a tubo recto. En la tabla 3.2 se muestran longitudes equivalentes, para algunos accesorios comunes.

Al igual que un líquido que fluye en un tubo, existe una pérdida de fricción cuando un líquido entra al tubo de una fuente libre o sumergida, o descarga en condiciones similares. Las pérdidas que ocurren en la entrada del tubo se conocen como pérdidas de admisión, mientras que en la descarga se conocen como pérdidas de salida. Para disminuir

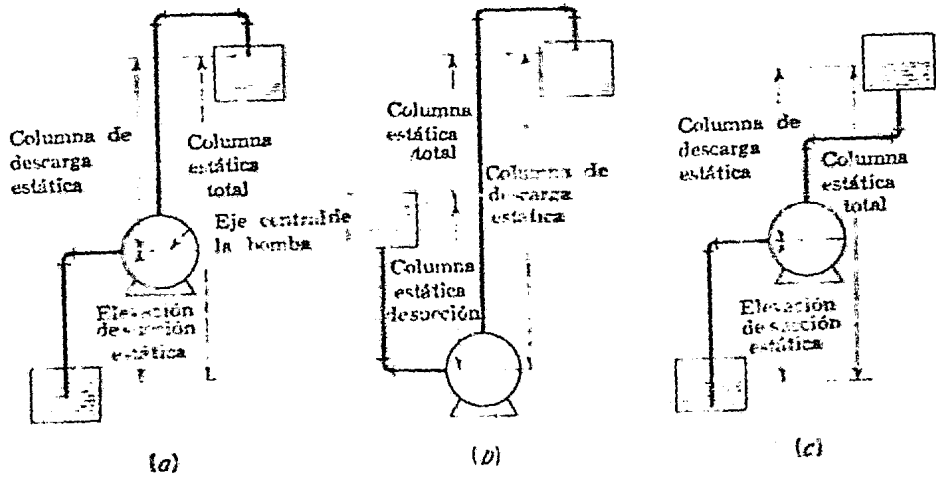


Fig. 3.1 Terminos usados en bombeo en tuberías de succión y descarga.

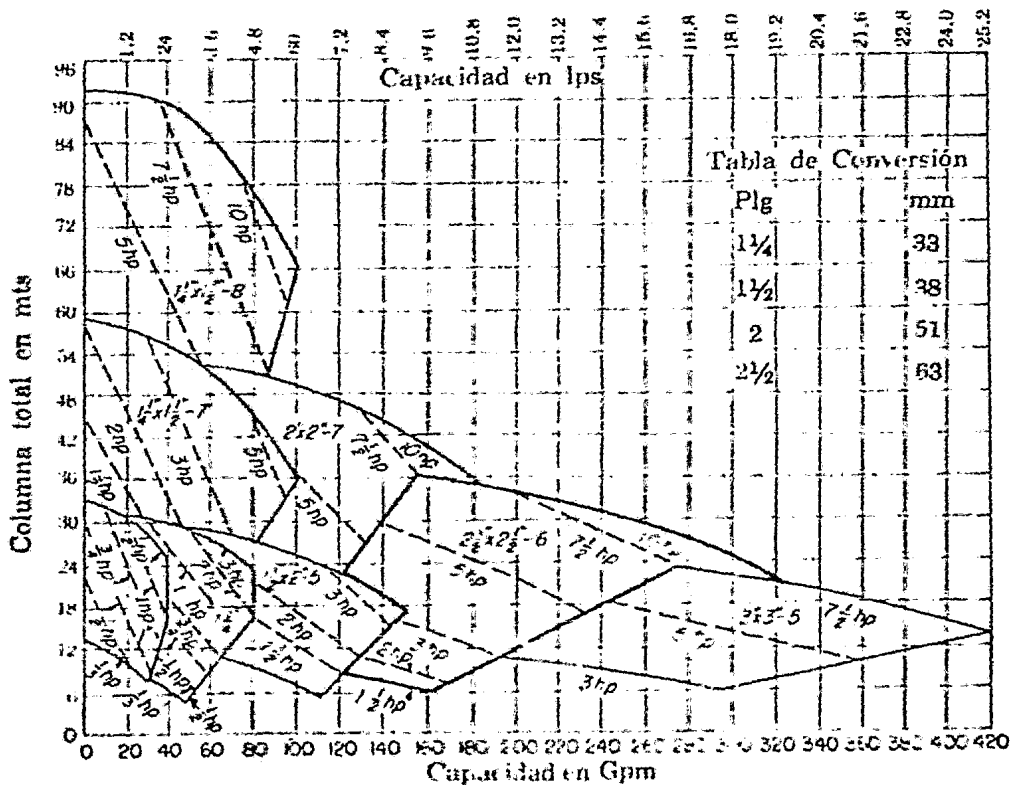


Fig. 3.2 Gráfica de características compuestas para una bomba centrífuga típica.









Tamaño de tubo en mm	 Codo normal	 Codo de radio medio	 Codo de radio grande	 Codo de 45	 Te	 Válvula de compuerta abierta	 Válvula de globo abierta	 Eje de balancín abierto
25.4	0.82	0.70	0.52	0.39	1.77	0.18	8.23	2.04
50.8	1.68	1.40	1.06	0.76	3.35	0.36	17.38	3.96
76.2	2.47	2.07	1.55	1.16	5.18	0.52	25.92	6.10
101.6	3.35	2.77	2.13	1.52	6.71	0.70	33.55	8.23
127.0	4.27	3.66	2.71	1.86	8.23	0.88	42.70	10.06
152.4	4.88	4.27	3.35	2.35	10.06	1.06	48.80	12.20
203.2	6.40	5.49	4.27	3.05	13.11	1.37	67.10	16.16
254	7.93	6.71	5.18	3.96	17.08	1.74	88.45	20.43
304.8	9.76	7.93	6.10	4.57	20.13	2.04	103.70	24.40
355.6	10.98	9.45	7.01	5.18	23.18	2.44	118.95	28.36
406.4	12.81	10.67	8.23	5.79	26.53	2.74	131.15	32.63
457.2	14.03	12.20	9.15	6.40	30.50	3.11	152.50	36.60
508	15.86	13.11	10.37	7.01	33.55	3.66	170.80	40.87
609.6	19.21	16.16	12.20	8.54	42.70	4.27	207.40	48.80
914.4	28.67	24.09	18.30	13.11	61.00	6.10	305.00	73.20

Tabla 3.2 Longitud equivalente de tubo recto, en metros.

este tipo de pérdidas, se puede usar un tubo en forma acampanada.

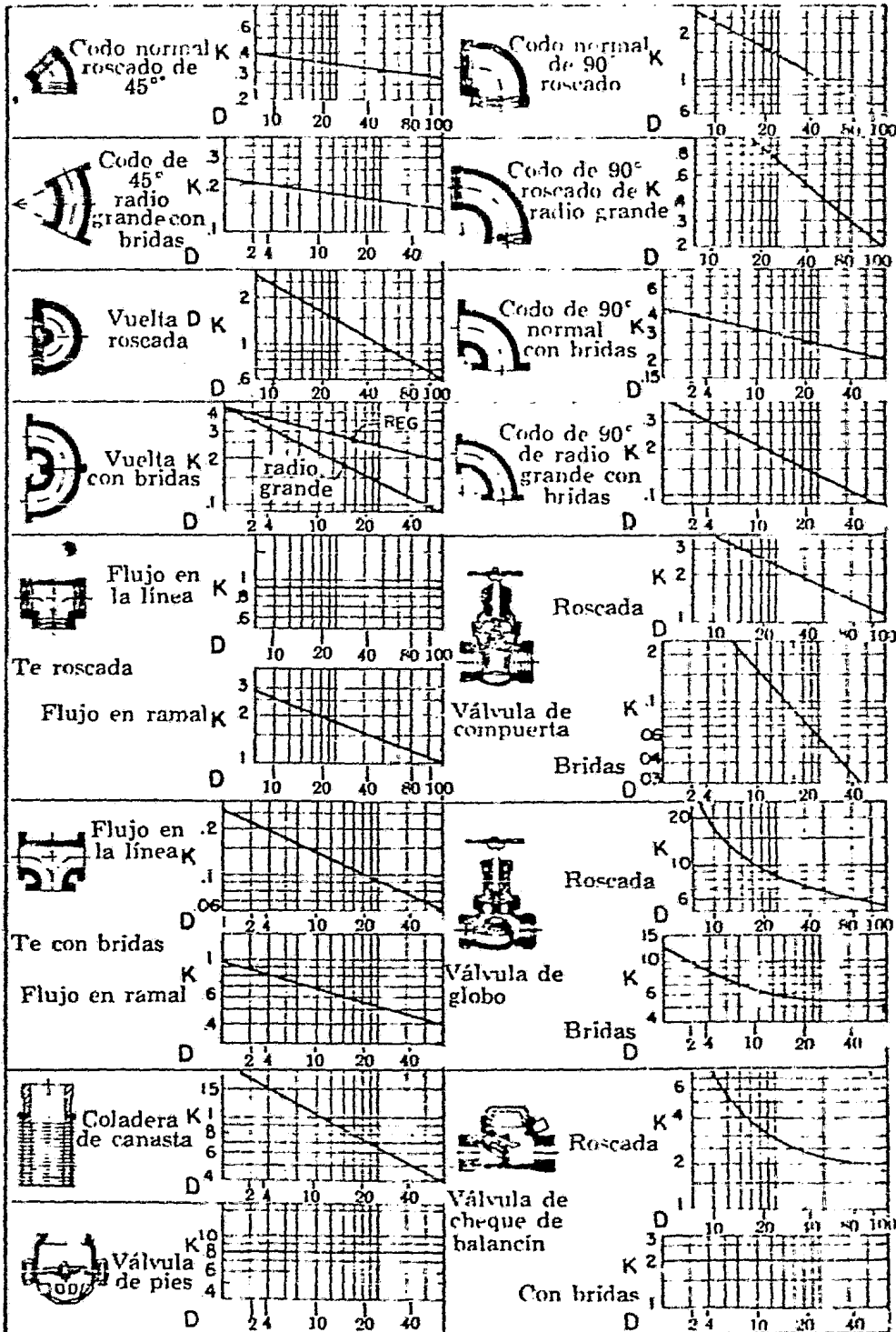
Asimismo, se presenta una pérdida cuando el líquido que fluye pasa a otro de sección mayor o menor en forma abrupta. La pérdida de carga en estos puntos, así como en las de admisión y salida del tubo, pueden expresarse como el producto de un coeficiente (cuyo valor depende del accesorio y del diámetro del mismo), y de la columna de velocidad. La tabla 3.3 señala los coeficientes para algunos accesorios que se usan en los sistemas de bombeo.

Nótese que los coeficientes de la tabla 3.3 y la velocidad correspondiente en el tubo, pueden usarse para determinar las pérdidas de columna causadas por un accesorio, en lugar de usar la longitud equivalente de tubería de la tabla 3.2

La tabla 3.4 muestra las pérdidas de fricción por tramo de tubería de 100 m, para diámetros de 1/2" a 24"

C.V. : es la columna de velocidad, expresada en m. Un líquido que se mueve en un tubo a una cierta velocidad, posee una cierta energía cinética debido a su movimiento. La columna de velocidad es la dis

D en centímetros.



\* Cortesía del Hidraulic Institute  $h = k \frac{u^2}{2g}$  metros de fluido.

Tabla 3.3 Coeficiente de resistencia para accesorios de tubería



tancia de caída necesaria para que un líquido adquiera una cierta velocidad, y viene dada por la fórmula:

$$C.V. = V^2/2g$$

donde:

V: es la velocidad del líquido, en m/seg

g: es la aceleración de la gravedad (9.81 m/seg<sup>2</sup>)

Dependiendo de la naturaleza de la instalación de bombeo, la columna de velocidad puede o no ser un factor importante en el cálculo de la carga dinámica total. Muchas veces este concepto se desprecia por ser un valor relativamente pequeño en comparación a la columna de fricción.

d) Estudio de las características del líquido

Algunos de los aspectos que se deben tomar en cuenta para la correcta selección del equipo de bombeo es la densidad, temperatura, presión de vapor, densidad y viscosidad del líquido a bombear.

En caso de que la bomba maneje agua potable, no hay necesidad de conocer ninguna de las características químicas del líquido, puesto que normalmente es agua fría y limpia.

e) Elección de la bomba

Los cuatro pasos anteriores dan clave por lo que respecta al tipo de bomba más adecuada para ser seleccionada. En la figura 3.2 se muestra una gráfica de características compuestas, donde, en función de la columna total (carga dinámica total) y el gasto, se puede determinar la potencia de la bomba, así como sus diámetros de succión y descarga.

Además de las gráficas de características compuestas, existen también tablas de capacidades y usos, que sirven para determinar si hay una bomba adecuada en particular (tabla 3.5), donde se muestran algunas características de la bomba.

Una vez conocido el tipo de bomba, se recurre a curvas de rendimiento (fig 3.3) para poder seleccionar correctamente el tamaño de la bomba. Esto supone, naturalmente, que se tiene a la mano un juego completo de boletines y otros datos técnicos.

En las llamadas curvas de rendimiento se presentan, en una misma gráfica, las curvas de variación de gasto y carga para diferentes diámetros de impulsores, curvas de igual eficiencia (curvas de isoeficiencia), potencia requerida, diámetros de succión y descarga, entre otros datos.

Entre los factores de operación que requieren reconocimiento especial, cuando se decide la clase de bomba a utilizar, están incluidos el tipo de servicio (continuo o intermitente),



# Sistemas de Bombeo, S.A. de C.V.

Rueta Modelo No. 20 Fracc. Alca Blanco  
Naucalpan de Juárez, México.  
Teléfono: 560-51-00 Telex: 817-74388



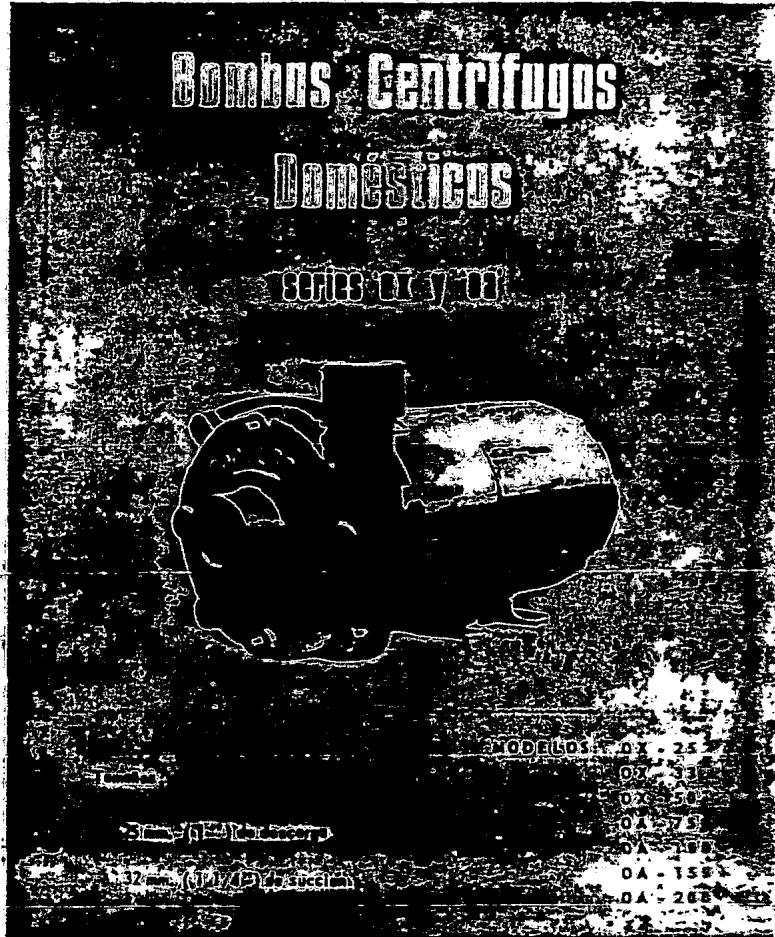
## Capacidades y Usos

tabla de capacidades

modelos ox y oa tamaño 1 1/4" (31 mm.) x 1" (25 mm.)

motor eléctrico 60 ciclos 3450 r.p.m.

Tabla 3.5 Tabla de capacidades y usos.



Modelos H.P.	CARGA TOTAL EN METROS															
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
	CAPACIDADES EN LITROS POR MINUTO															
OX-25 1/4	104	92	78	62	48											
OX-33 1/3		115	103	90	75	58	35									
OX-50 1/2			130	120	100	80	68	55								
OA-75 3/4					147	133	115	98	75	45						
OA-100 1.00						165	150	135	118	98	75	38				
OA-150 1.50							190	180	170	155	140	120	100	70		
OA-200 2.00										195	185	170	155	135	100	90

J. S. S.

En refrigeración, acondicionamiento de aire, torneos de enfriamiento, recirculación en industria, albercas, pequeña agricultura, abastecimiento de agua para casas y edificios, etc.

DISTRIBUIDOR:

5553B-1" 3450 RPM IMPULSOR F1A1AE

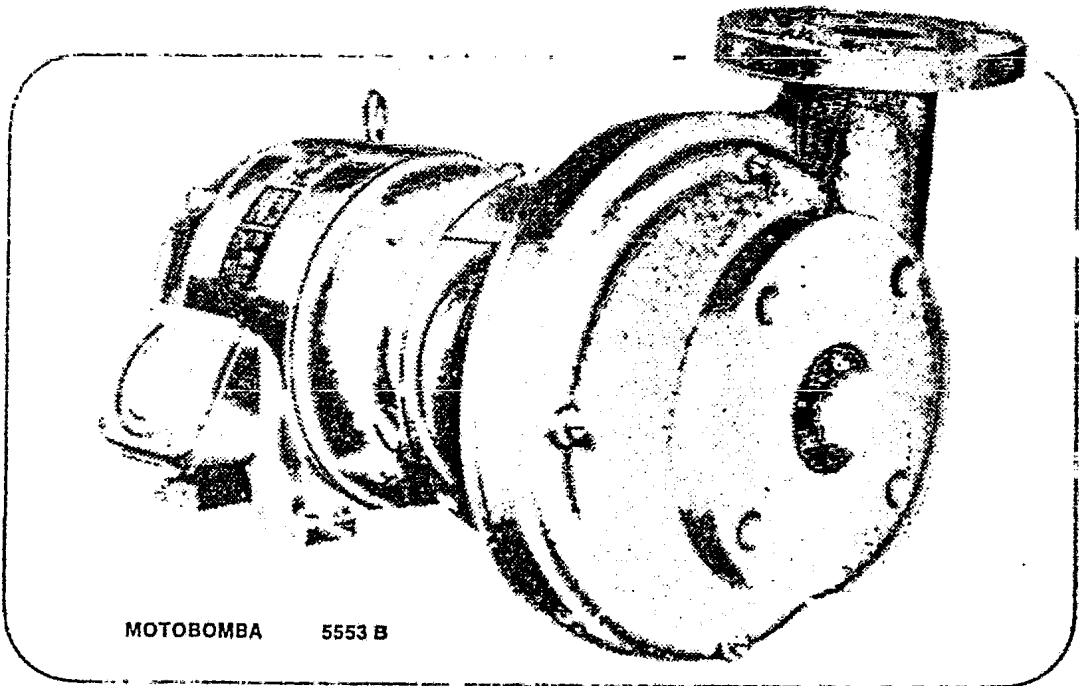
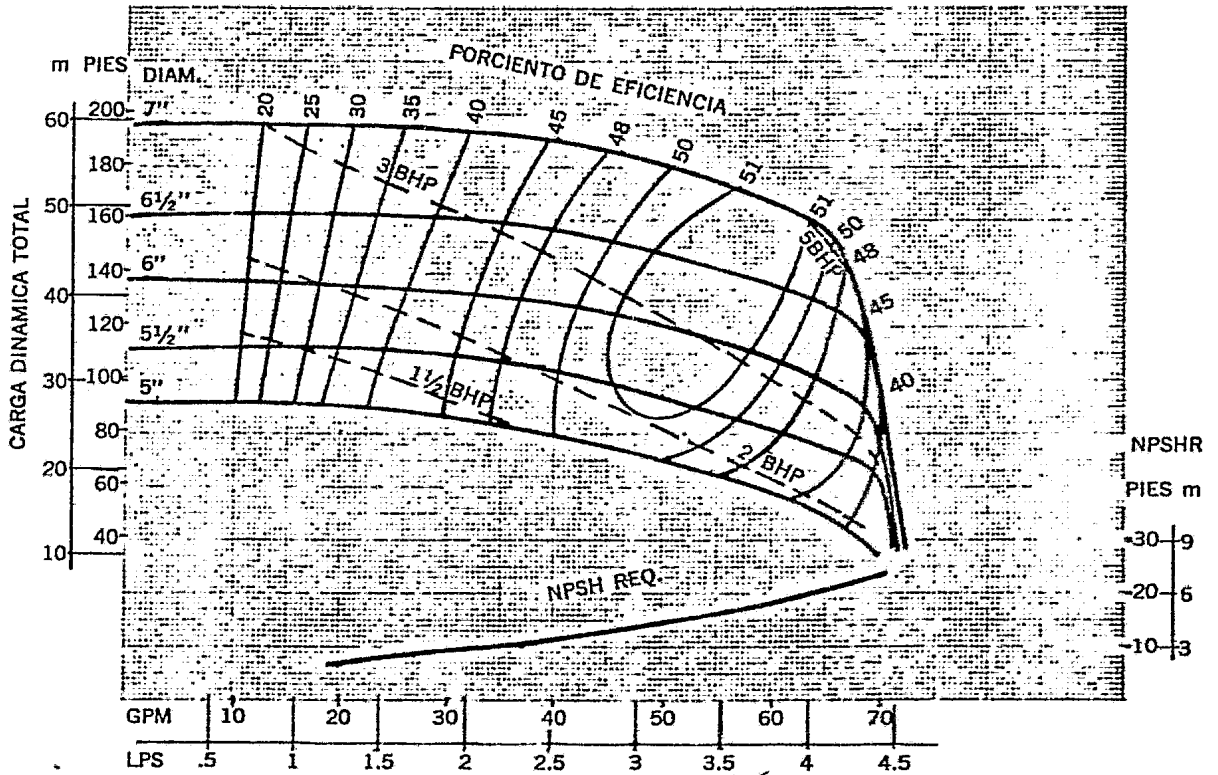


Fig. 3.3 Curvas de rendimiento de una motobomba centrífuga horizontal de succión lateral.

preferencias acerca de la velocidad de operación, condiciones diferentes en gasto y carga, posibilidad de operar en serie o en paralelo con otras bombas, y muchas otras condiciones peculiares a una aplicación dada. Estos factores mencionados requieren tanto estudio o más, como los básicos de carga dinámica total y gasto, debido a que son igualmente importantes.

Por otro lado, es necesario conocer de antemano la energía disponible en la instalación, o sea el voltaje, ciclaje, número de fases (sistemas monofásicos o trifásicos), etc., con el objeto de utilizar las curvas de rendimiento más adecuadas, ya que todos los fabricantes publican curvas para 60 ó 50 ciclos, 2 ó 3 polos, con motores de combustión interna o eléctricos.

### 3.2 Operación de equipos de bombeo en serie y en paralelo

Los edificios comerciales, industriales y residenciales requieren frecuentemente una o más bombas para auxiliar la presión de suministro de agua de la ciudad a un nivel adecuado.

Como ya se ha mencionado, las bombas centrífugas son usadas casi invariablemente para este servicio. Las bombas de un solo paso son comunes en edificios de hasta 16 pisos, mientras que en edificios más altos, o cuando la presión requerida para algunos procesos es alta, se utilizan unidades de varios pasos. Sin embargo, para algunas condiciones de servicio, a veces es necesario disponer de más de un equipo de bombeo trabajando simultáneamente, ya

sea en serie o en paralelo. Un conjunto de bombas trabajando en serie (fig 3.4A) tiene la característica de transportar el mismo gasto con una carga mayor; en cambio las bombas conectadas en paralelo tienen la particularidad de mantener una carga total constante, pero con un gasto mayor (fig 3.4B).

### 3.3 Bombas de eje vertical contra bombas de eje horizontal

Tanto las bombas de eje vertical como las horizontales tienen entre sí ventajas y desventajas, las cuales deben tenerse en consideración para hacer una correcta selección de un equipo de bombeo. A continuación se mencionarán en general algunas características de operación, mantenimiento y economía de los equipos.

En cuanto a las bombas de eje horizontal se puede decir que son adecuadas para mover grandes gastos, son más eficientes en su operación, su instalación es más sencilla y su mantenimiento es reducido que las bombas de eje vertical; pero sin embargo tienen las siguientes desventajas:

- a) Requieren de un mayor espacio para su instalación y operación.
- b) Se deben evitar inundaciones donde está instalado el equipo, ya que éste podría arruinarse.
- c) Resultan más costosas para bombear gastos pequeños.
- d) En caso que se desee que trabajen con carga de succión, se debe construir una cámara adjunta al cárcamo de bombeo.

Entre las ventajas de las bombas verticales se pueden mencionar las siguien-

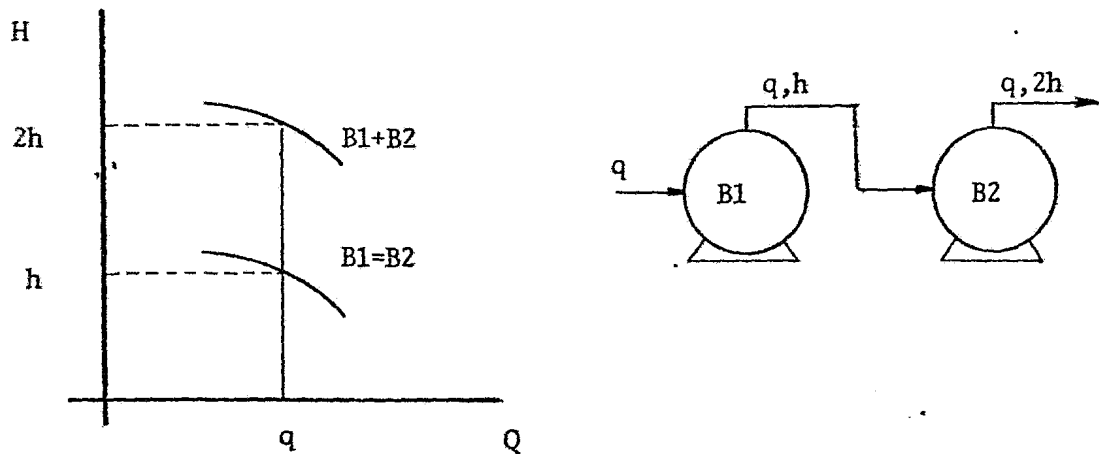


Fig. 3.4.A Diagrama de instalación de bombas conectadas en serie

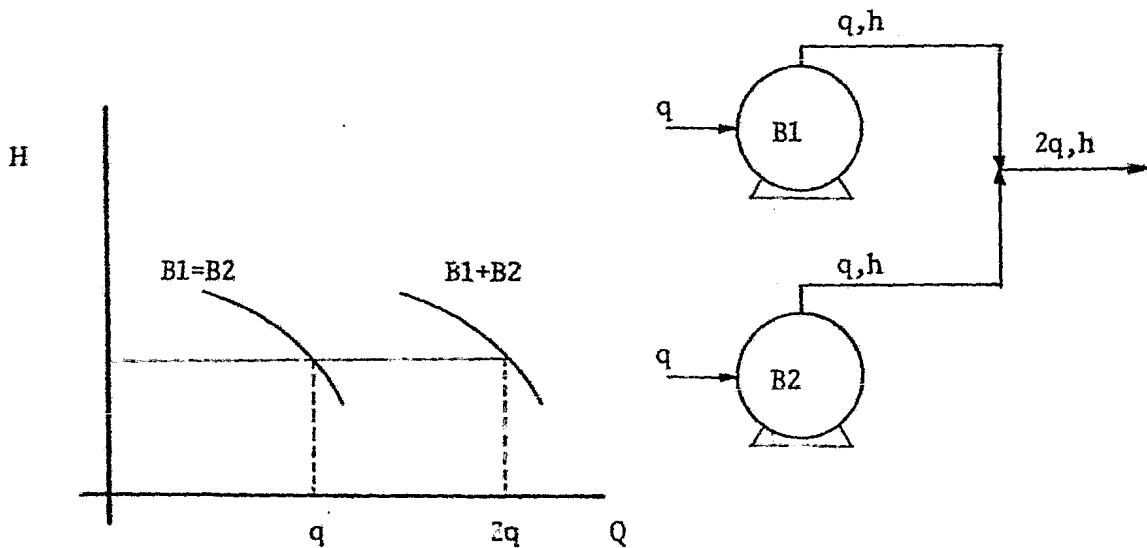


Fig. 3.4.B Diagrama de instalación de bombas conectadas en paralelo

tes:

- a) Se pueden obtener diferentes alturas o cargas de presión en la descarga, simplemente agregando a la flecha más pasos (impulsores), tomando en cuenta la limitación de la potencia del elemento motriz.
- b) Los motores pueden instalarse a cualquier altura, lo que los pone a salvo de inundaciones.
- c) Siempre trabajan con una altura de succión.

Como desventajas de las bombas verticales, se tiene que :

- a) Su costo inicial es mayor que las bombas horizontales.
- b) Tienen un solo punto de apoyo para soportar todos los pesos y esfuerzos.
- c) Son más deficientes en su operación y conservación que las bombas de eje horizontal.

### 3.4 Ejemplos

1. Determinar la bomba más adecuada para un edificio de apartamentos de 13 pisos (fig 3.5) con tres departamentos por piso y con 5 salidas por departamento.

Solución:

Se seleccionará una bomba horizontal centrífuga, ya que por experiencia estas bombas resultan más económicas y versátiles; faltan

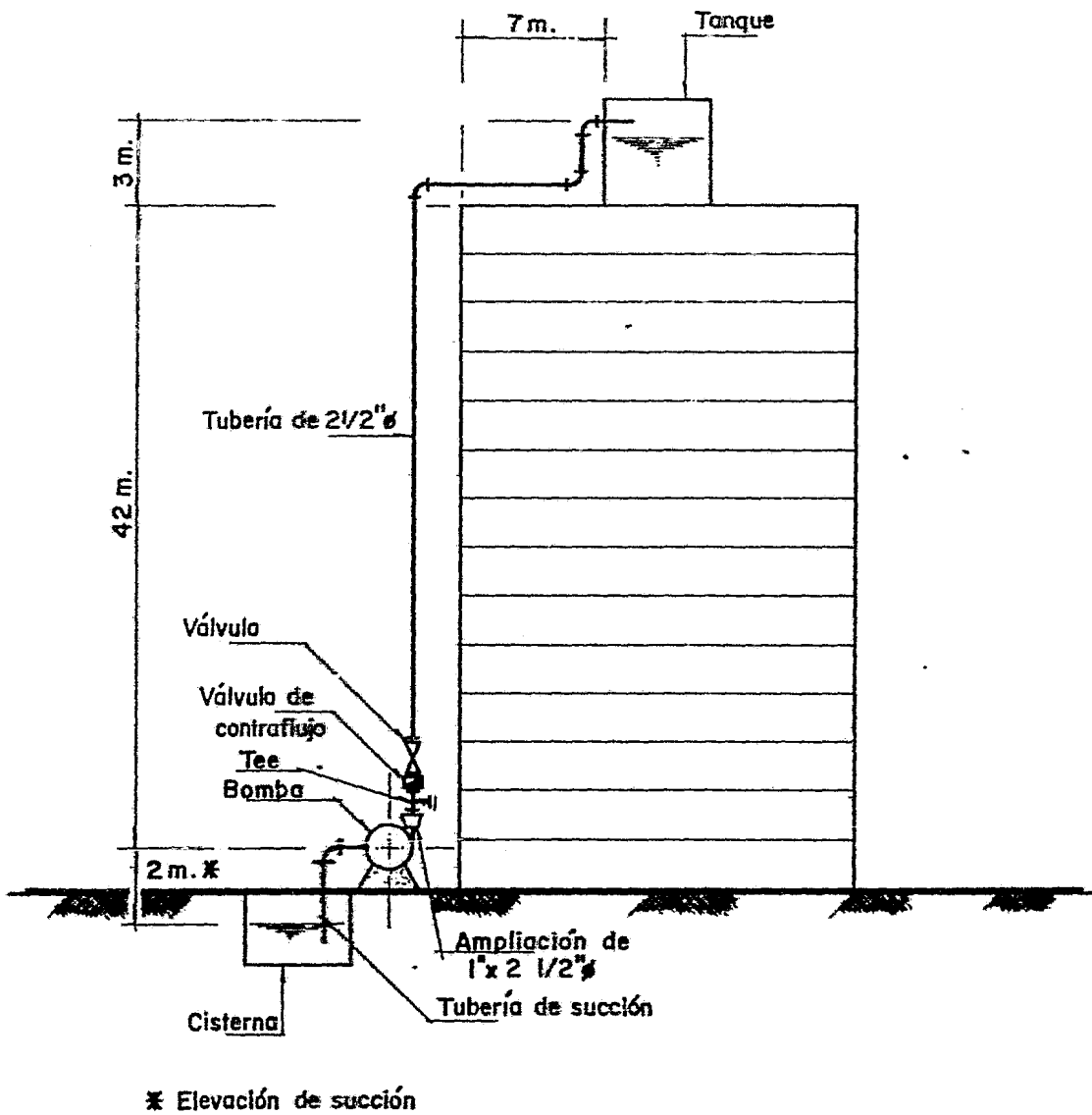


Fig. 3.5 Diagrama de disposición de la bomba, tuberías y accesorios principales.

do por determinar su modelo y potencia. Para esto, se seguirán los 5 pasos mencionados anteriormente en la selección de un equipo.

- a) El diagrama de disposición de una bomba, tuberías y accesorios y viene mostrado en la misma figura 3.5
- b) Determinación del gasto por bombear. Como el edificio en cuestión tiene 39 departamentos y cada departamento 5 salidas, el número total de salidas será de 195, y según la tabla 3.1c) para un número de salidas de 101 a 200, el gasto es de 1.1 l.p.m. por salida. Entonces el gasto total será de :

$$Q = 1.1 \times 195 = 214.5 \text{ l.p.m.}$$

- c) Cálculo de la carga dinámica total (CDT)

$$CDT = CET + h_f + CV$$

La carga estática total es de :

$$CET = 3 + 42 + 2 = 47 \text{ m (fig 3.5)}$$

Antes de determinar la pérdida por fricción, es necesario conocer la longitud total de la tubería y el recuento de conexiones.



$$\text{Longitud de tubería} = 2 + 42 + 7 + 3 = 54 \text{ m}$$

Recuento de conexiones:

C O N C E P T O	No. de piezas	Longitud equiv. (*)	Long. equiv. total
Codo de 90° x 2 1/2" $\phi$	4	2.08 m	8.32 m
Válvula de 2 1/2" $\phi$	1	0.44 m	0.44 m
Te de 2 1/2" $\phi$	1	4.27 m	4.27 m
S U M A			13.03 m

(\*) Tabla 3.2

Entonces:

$$\text{Longitud total de tubería} = 54 + 13.03 = 67.03 \text{ m}$$

De la tabla 3.5, para un gasto de 214.5 l.p.m. y un diámetro de 2 1/2", la pérdida por fricción en un tramo de 100 m es de 4.21 m; y por lo tanto para 67.03 m resulta de 2.82 m.

De la misma tabla 3.5, y con el mismo diámetro y gasto, la velocidad es de 1.13 m/seg, entonces:

$$CV = \frac{1.13^2}{2(9.81)} = 0.07 \text{ m}$$

Así, finalmente:

$$CDT = 47 + 2.82 + 0.07 = 49.89 \approx 50 \text{ m.}$$

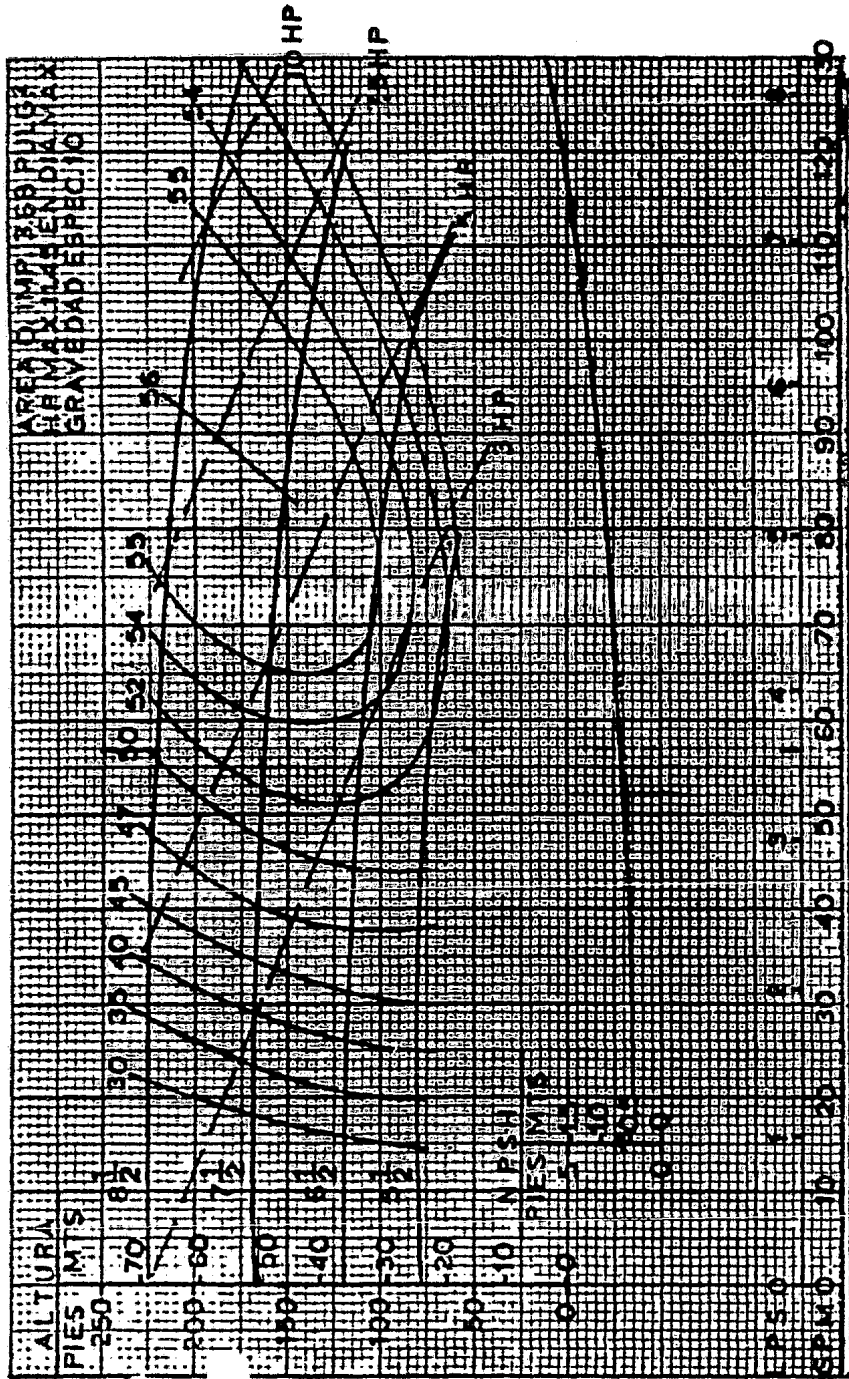
- d) Condiciones del líquido. Como la bomba manejará agua potable a temperatura ambiente, no hay necesidad de conocer algún otro dato adicional.
- e) Elección de la bomba. En general, para gastos pequeños, como el de este ejemplo, se utilizan motobombas por ser compactas y de fácil instalación.

En la figura 3.3 se muestra una gráfica de curvas rendimiento, donde para un gasto de 214.5 l.p.m. (3.6 l.p.s.) y una carga de 50 m, se tiene un porcentaje de eficiencia del 51% (para gastos pequeños la eficiencia generalmente es baja)

Sin embargo, al seleccionar una bomba con alta velocidad giratoria como la mostrada en la figura 3.3, con 3450 revoluciones por minuto, tiene el inconveniente de que sus piezas se desgastan más rápidamente que otra con una velocidad más baja. Así, también se puede seleccionar otra bomba como la mostrada a través de sus curvas rendimiento de la figura 3.6, donde la eficiencia, en este caso, aumenta a 53% y el número de revoluciones por minuto se reduce a 2900; con una potencia de 5 HP.

Por otro lado, si se tiene en cuenta que una bomba para gastos relativamente pequeños, en el caso de un abastecimiento de agua a un edificio de apartamentos funciona en forma intermitente, la decisión final del equipo a seleccionar tendrá que hacerse en función del precio de adquisición del

--CENTERLINE--



VELOCIDAD..... 2900  
 IMPULSOR..... 2.63.00.14

**GMC** PEERLESS TISA, S. A.  
 MONTERREY, N. L., MEXICO

TIPO... C.I.E. CERRADO  
 YAMAÑO.. 2 x 1 x 8½

Fig. 3.6 Curvas de rendimiento de una motobomba centrífuga horizontal de succión lateral.

equipo, facilidad de instalación preferencias personales, etc.

Comprobación de la elevación de la succión estática.

Se hará una revisión de la elevación estática que se presenta en este ejemplo.

Como se ha mencionado, la elevación de succión máxima permitida está en función de la presión barométrica del lugar, la cspn requerida por la bomba, las pérdidas de la tubería de succión y la presión de vapor, como se ilustra en la figura 1.3a

Si se elige la bomba de la figura 3.6, y suponiendo que el edificio estuviera a una altura de desplante de 2440 m sobre el nivel del mar, la presión barométrica sería de 0.77 kg/cm<sup>2</sup> (tabla 1.1). Si el agua está a una temperatura de 15 °C, la densidad es de 1.00 (fig 1.2), con lo que la presión barométrica no varía (0.77/1.00 = 0.77 kg/cm<sup>2</sup> = 7.7 m columna de agua).

De las curvas de rendimiento mostradas en la figura 3.6, la cspn (con las siglas en inglés NPSH) es de 0.64 m.

Las pérdidas de succión en un tramo de 2.00 m son de :

$$h_f = \frac{2 (4.21)}{100} = 0.08 \text{ m}$$

Finalmente, la presión de vapor (fig 1.2), para una temperatura de 15 °C, es de 0.40 m.

Entonces, la elevación de succión máxima permisible (ESP) será de:

$$ESP = 7.7 - 0.64 - 0.08 - 0.40 = 6.58 \text{ m}$$

En este caso la elevación de succión es de 2.00 m; por lo tanto no existe ningún problema por este concepto.

2. Seleccionar una bomba centrífuga adecuada para una fábrica, cuyo proceso industrial requiere de agua potable a una presión de 2.5 kg/cm<sup>2</sup>, sabiendo que el gasto actual es de 5 l.p.s. y el gasto futuro para las condiciones de proyecto será de 10.

**Solución:**

En este caso, como existe un gasto inicial y otro previsto a futuro, se podría seleccionar una bomba para el gasto total; sin embargo, por razones de economía y de buen funcionamiento del equipo, se propone la instalación de ~~dos~~ bombas iguales conectadas en paralelo; una de ellas para ser instalada de inmediato y la otra cuando la demanda del gasto sea la total (10 l.p.s.).

Para seleccionar el modelo de las bombas y su potencia, se seguirán los 5 pasos de cálculo en la selección de un equipo.

- a) El diagrama de disposición de las bombas, tuberías y accesos viene mostrado en la figura 3.7

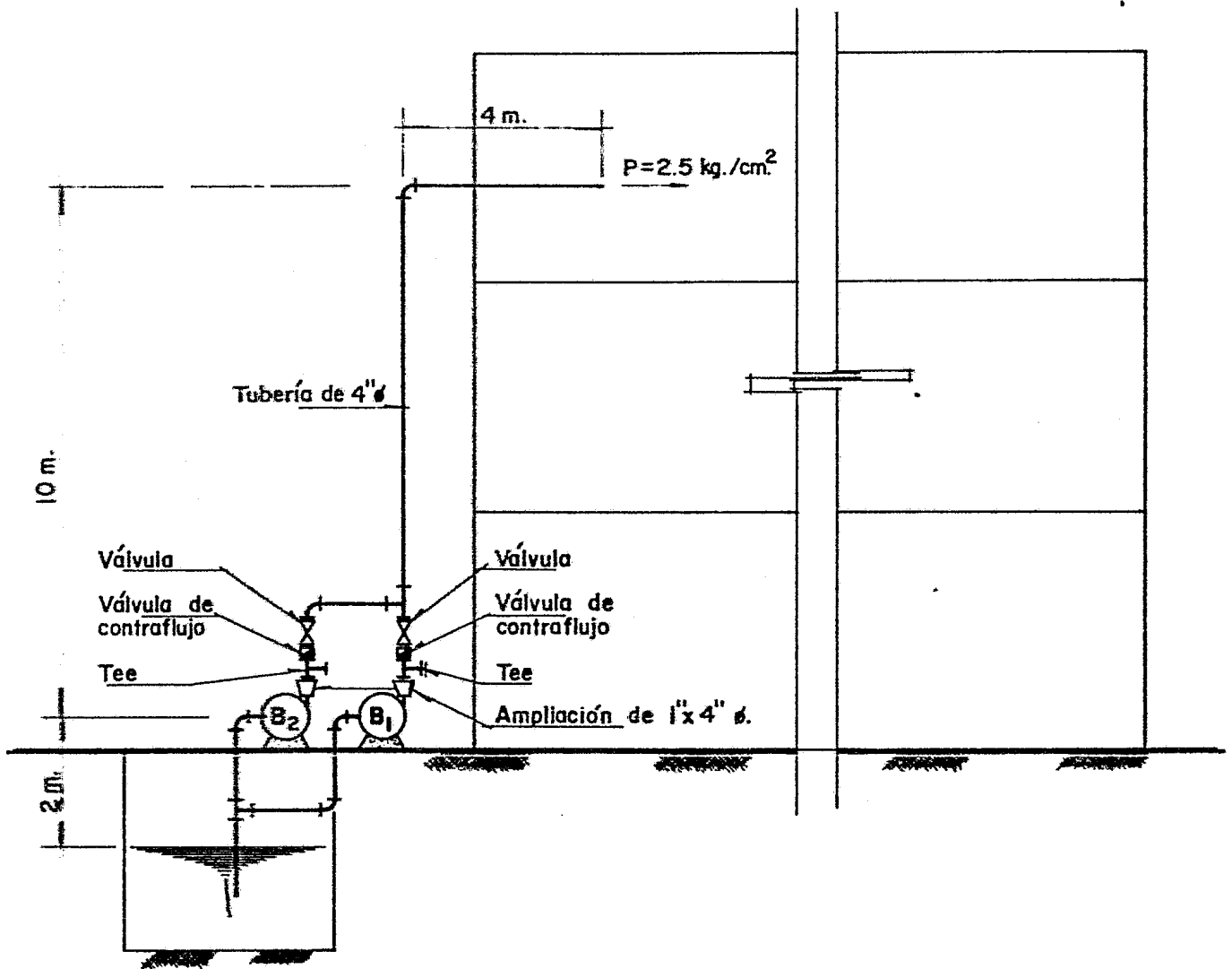


Fig. 3.7 Diagrama de disposición de las bombas, tuberías y accesorios principales.

- b) El gasto a bombear se ha definido en las condiciones iniciales del problema.
- d) Cálculo de la carga dinámica total:

$$CDT = CET + h_f + CV$$

La carga estática total es de:

$$CET = 10 + 2 = 12 \text{ m (fig 3.7)}$$

Para determinar la pérdida por fricción ( $h_f$ ) es necesario conocer la longitud total de tubería y el recuento de conexiones:

$$\text{Longitud de tubería} = 2 + 10 + 4 = 16 \text{ m}$$

Recuento de conexiones:

C O N C E P T O	No. de piezas	Longitud equiv. (*)	Long. equiv. total
Codo de 90° x 4" $\phi$	5	3.35 m	16.75 m
Válvula de 4" $\phi$	5	0.70 m	1.40 m
Te de 4" $\phi$	5	6.71 m	13.42 m
S U M A			31.57 m

(\*) Tabla 3.2

Entonces:

$$\text{Longitud total de tubería} = 16 + 31.57 = 47.57 \text{ m}$$

De la tabla 3.5, para un gasto de 600 l.p.m. (10 l.p.s.) y un diámetro de 4", la pérdida por fricción de la tubería en un tramo de 100 m es de 2.87 m; y por lo tanto, para 47.57 m la pérdida es de 0.98 m.

De la misma tabla 3.5, y con el mismo gasto y diámetro, la velocidad es de 1.23 m/seg, entonces:

$$CV = \frac{1.23^2}{2(9.81)} = 0.08 \text{ m}$$

Así, finalmente la carga dinámica total es de:

$$CDT = 12 + 0.98 + 0.08 = 13.06 \text{ m}$$

A esta altura de bombeo se le debe agregar los 2.5 kg/cm<sup>2</sup> de presión que requiere para el proceso industrial:

$$CDT_{\text{de operación}} = 13.06 + 25 = 38.06 \text{ m}$$

- d) Condiciones del líquido. Como se bombeará agua limpia a temperatura ambiente, no hay necesidad de conocer otro dato adicional.
- e) Elección de la bomba. En este caso en particular se po-



drían seleccionar las bombas cuyas curvas de rendimiento están mostradas en la figura 3.6. Para las condiciones de gasto y carga, la eficiencia resulta de 55.8%, y una potencia de 5 HP.

3. Para el mismo caso que el problema 2, seleccionar una bomba vertical, en vez de una horizontal.

Solución:

Se seleccionará una bomba vertical de turbina, previendo la colocación de varios impulsores, de acuerdo a las necesidades de gasto.

Al igual que en los anteriores ejemplos, se seguirán los 5 pasos de cálculo para la selección del equipo de bombeo.

- a) El diagrama de disposición de la bomba, tubería y accesorios viene mostrado en la figura 3.8
- b) El gasto de bombeo es el mismo del problema 2: 5 l.p.s. en la etapa inicial y 10 para condiciones futuras.
- c) Cálculo de la carga dinámica total:

$$CDT = CET + h_f + CV$$

donde la carga estática total es de:

$$CET = 10 + 3 = 13 \text{ m. (fig 3.8)}$$

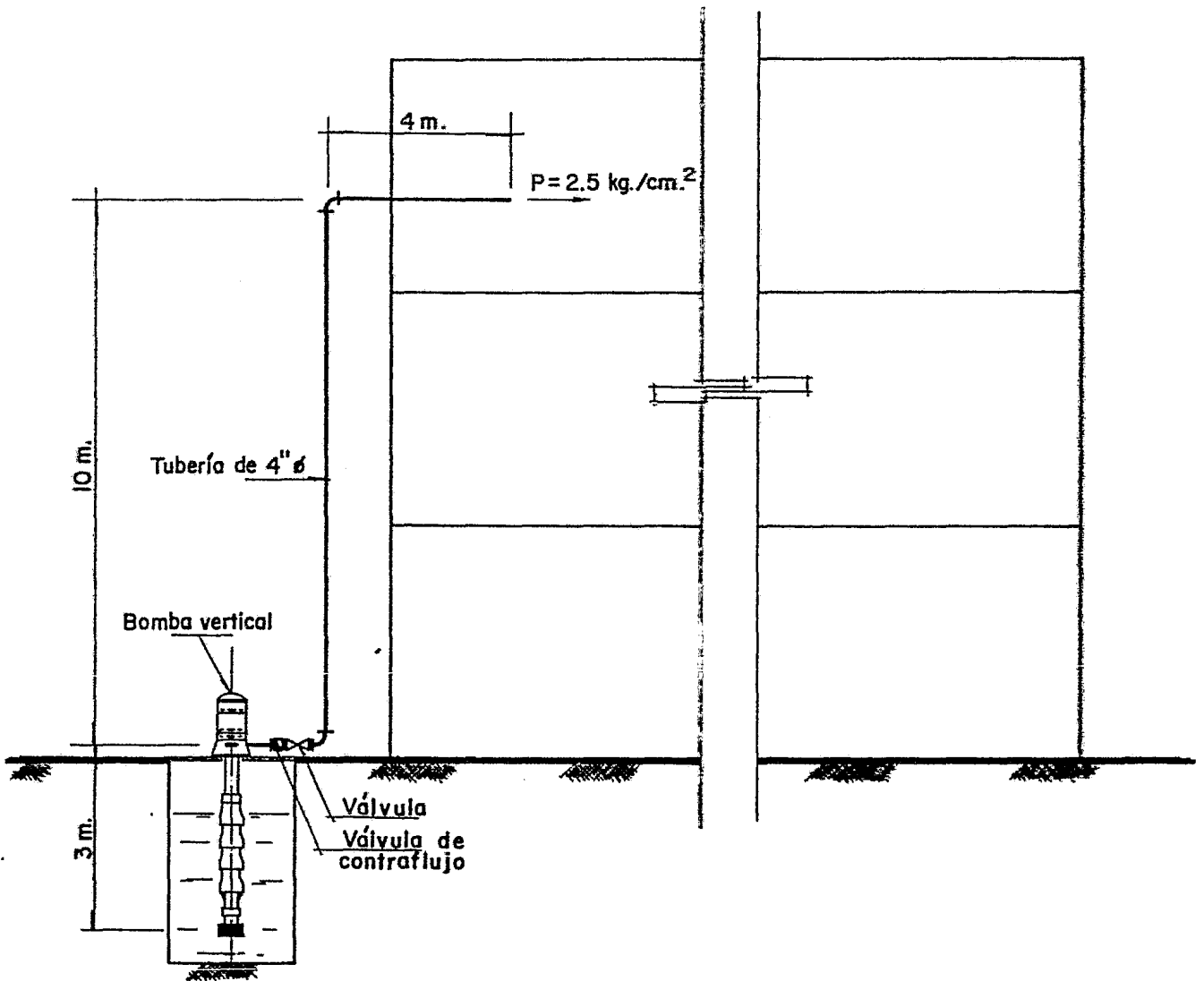


Fig. 3.8 Diagrama de disposición de bomba vertical, tubería y accesorios principales.

Para conocer las pérdidas por fricción ( $h_f$ ), como en los casos anteriores, es necesario conocer la longitud total de la tubería y el recuento de conexiones:

$$\text{Longitud de tubería} = 10 + 4 = 14 \text{ m}$$

Recuento de conexiones:

C O N C E P T O	No. de piezas	Longitud equiv (*)	Long. equiv. total
Codo de 90° x 4" $\phi$	2	3.35 m	6.70 m
Válvula de 4" $\phi$	1	0.70 m	0.70 m
S U M A			7.40 m

(\*) Tabla 3.2

Entonces:

$$\text{Longitud total de tubería} = 14 + 7.4 = 21.4 \text{ m}$$

De la tabla 3.5, para un gasto de 600 l.p.m. (10 l.p.s.) y un diámetro de 4", la pérdida por fricción de la tubería en un tramo de 100 m es de 2.87 m. Por lo tanto, para 21.4 m la pérdida es de 0.61 m.

La carga de velocidad es la misma que en el caso anterior:

$$CV = 0.08 \text{ m}$$

Entonces:

$$CDT = 13 + 0.61 + 0.08 = 13.69 \text{ m}$$

Así, la carga dinámica total de operación será:

$$CDT_{\text{de operación}} = 13.69 + 25 + 38.69 \text{ m}$$

- d) Condiciones del líquido. Agua limpia a temperatura ambiente.
- e) Elección de la bomba

De la figura 3.9 y para el gasto total, el número de pasos de la bomba será (curva no. 1)

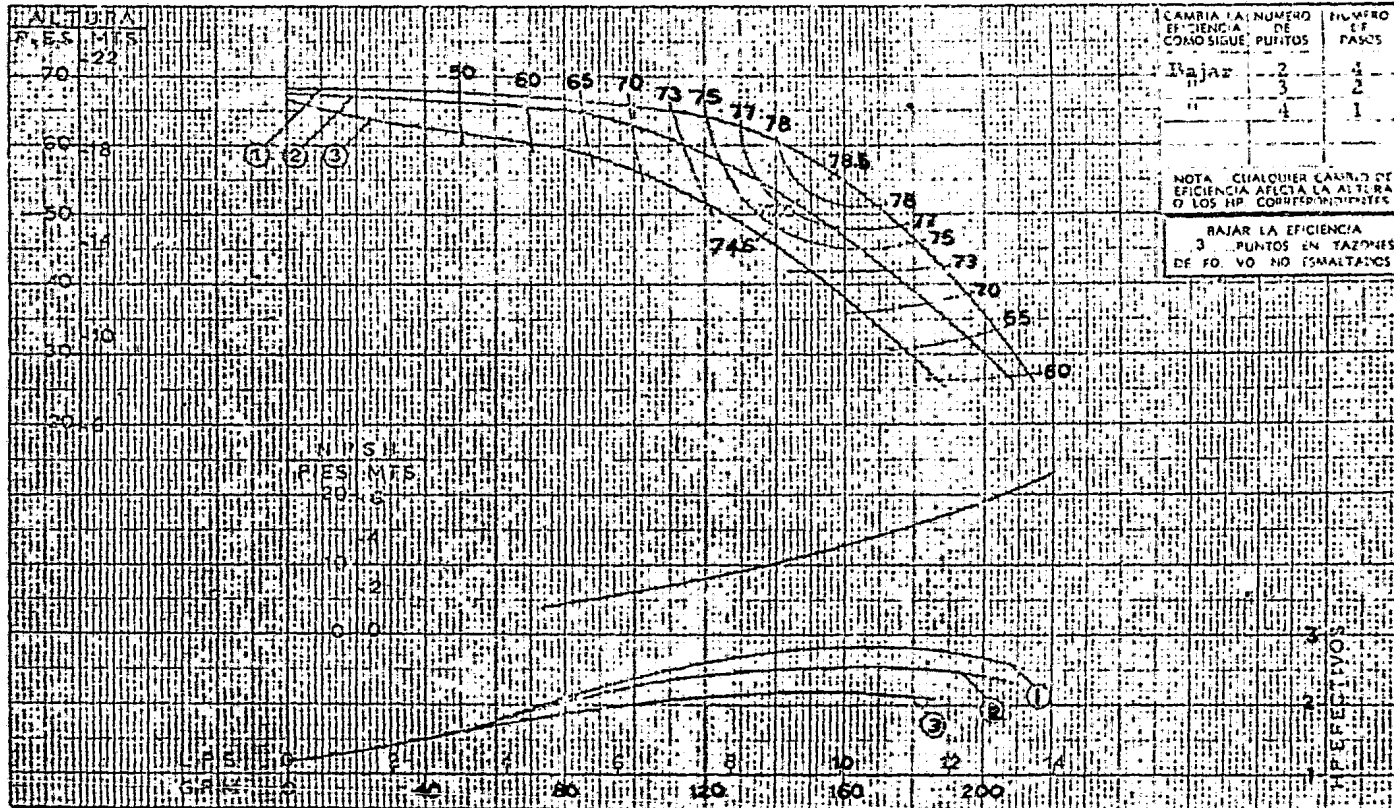
$$\text{No. P} = \frac{38.69}{16.8} = 2.3 \therefore 3 \text{ pasos}$$

Y para un gasto de 5 l.p.s.

$$\text{No. P} = \frac{38.69^*}{20.4} = 1.9 \therefore 2 \text{ pasos}$$

\* La carga dinámica de operación para un gasto de 5 l.p.s. es un poco menor debido a que la carga de fricción disminuye, pero para efectos de cálculo no afecta el hacer esta suposición.

Entonces, para un gasto de 10 l.p.s.  $\frac{38.69}{3} = 12.9 \text{ m}$  por pa-



CAMBIA LA EFICIENCIA COMO SIGUE	NUMERO DE PUNTOS	NUMERO DE PASOS
Bajar	2	4
"	3	2
"	4	1

NOTA: CUALQUIER CAMBIO DE EFICIENCIA AFECTA LA ALTURA O LOS HP CORRESPONDIENTES.  
BAJAR LA EFICIENCIA 3 PUNTOS EN TAZONES DE 100 VO NO ISMALTICOS

RENDIMIENTO HIDRAULICO - GARANTIZADO	CURVA NUM.	IMPULSOR NUM.	IMPULSOR DIAM.	RENDIMIENTO POR PASO
SE GARANTIZA EL PLANTO DESIGNADO UNICAMENTE	1		4 15/32	
1- LIQUIDO ADECUADO A LA SUCCION DE LA BOMBA.	2	2618292	4 5/16x4 15/32	TAZON 6LB
2- SUMERGENCIA APROPIADA.	3		4 1/64x4 15/32	R. P. M. 3460
3- LIQUIDO LIBRE DE GASES, AIRE O ABRASIVOS.	4			CURVA No. 2843021-E
4- JUEGO LATERAL SUFICIENTE PARA EL IMPULSOR.				

PEERLESS TISA, S.A.  
MONTERREY, N. L., MEXICO

Fig. 3.9 Curvas de rendimiento de una bomba vertical.

so, que implica una eficiencia del 73%.

Y para un gasto de 5 l.p.s.  $\frac{38.69}{2} = 19.4$  m por paso, con una eficiencia del 62.5 %.

La potencia del equipo será:

$$\text{Pot} = \frac{10 (38.69)}{76 (0.73 - 0.025)} = 7.22 \text{ H.P.}$$

Se propone una potencia comercial de 7 1/2 H.P.

A la eficiencia de 73% se debe disminuir en 2.5% por el número de pasos (3).

El impulsor seleccionado es ahora de 4 5/16" (curva No. 2).

#### 4. RECOMENDACIONES

#### 4. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones de este capítulo se refieren a las que se deben aplicar en la instalación, operación y mantenimiento del equipo de bombeo seleccionado, en especial a las bombas centrífugas; aclarando que estas recomendaciones deberán complementarse con las instrucciones específicas preparadas por el fabricante de la bomba en cuestión.



#### 4.1 Recomendaciones de instalación

- Localización.- Las bombas se deberán instalar, por conveniencia propia, en lugares alumbrados, secos y limpios, con espacio suficiente para desarmar la bomba.

Si un equipo de bombeo operará en un lugar húmedo o polvoso, se debe seleccionar un motor adecuado. Las bombas y motores diseñados para ser instalados a la intemperie están contruídos especialmente para resistir el intemperismo, y, por lo general, tienen fácil acceso para repararlos.

Cuando el equipo de bombeo se debe usar en condiciones de posibles inundaciones, se pueden tomar dos clases de medidas :

- 1.- Usar una bomba vertical de pozo húmedo, o
- 2.- Proveerse de bombas auxiliares de achique de pozo lleno, como un seguro contra daños del equipo principal.

En instalaciones normales, las bombas deben localizarse tan cerca como sea posible de la fuente de suministro del líquido.

Cuando sea conveniente, la línea del centro de la bomba deberá colocarse abajo del nivel del líquido en el depósito de succión.

- Cimentación.- Las cimentaciones son cualquier estructura rígida, suficientemente pesada, que proporcione un soporte rígido permanente a toda el área de la plancha de la base del equipo y absorba cualquier esfuerzo, impacto normal y la vibración.

Las cimentaciones construídas de concreto, desplantándose debe el suelo firme, son las más satisfactorias.

Al construir una cimentación, se debe dejar un margen para poner una lechada de concreto entre la superficie áspera de la cimentación y la cara inferior de la placa de base, con el objeto de poder fijar el equipo una vez alineado. Cuando el equipo de bombeo es grande puede montarse directamente sobre la cimentación, colocando placas de zapata bajo las patas de la bomba. De esta manera, el alineamiento puede corregirse con laines, y desmontar la unidad sin dificultad, si es necesario.

El espacio requerido por unidad de bombeo y la colocación de los pernos de anclaje están determinados por planos suministrados por el fabricante. Sin embargo, cada perno de cimentación (fig 4.1) deberá tener una camisa de tubo, de diámetro un poco mayor que la del perno.

Después de colocada la cimentación de concreto, se sostiene sólidamente en su lugar el tubo, mientras que el perno puede moverse para que coincida con el agujero de la placa en su base.

Cuando el equipo se monta en una armadura de acero u otra estructura, se debe colocar tan cerca como sea posible de los miembros principales, vigas y paredes, y soportarse de modo que no pueda deformarse la base, o estropear el alineamiento por cualquier flección o expansión de la base o la estructura.

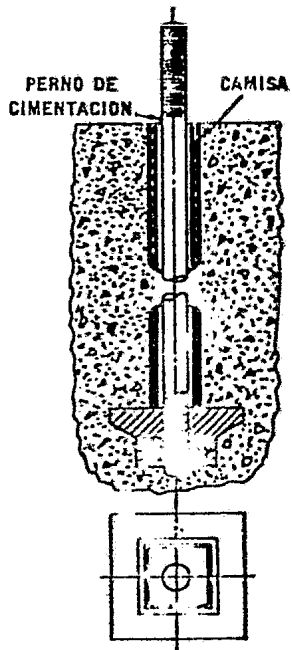


Fig. 4.1 Perno de cimentaciones

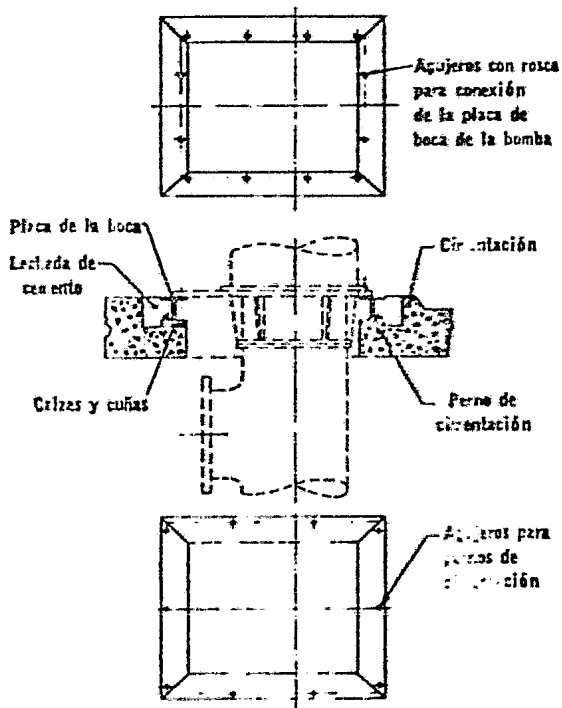


Fig. 4.2 Detalle de boca de bomba, de tipo rectangular para bomba vertical con descarga abajo del nivel del suelo.

- Montaje de bombas verticales de foso lleno.- Se debe usar una placa circular de boca de foso o una de zapata como superficie resistente para la brida de soporte en una bomba vertical de foso lleno. La cara del montaje debe estar maquinada a una superficie lisa, porque la placa circular o zapata se usará para alinear la bomba.

Si la tubería de descarga está localizada abajo de la brida del soporte de la bomba (descarga abajo del nivel del suelo), la placa circular o de zapata debe ser lo suficientemente grande para permitir el paso del codo de la descarga durante su instalación. En tal caso se debe usar una placa rectangular ( fig 4.2 ).

Si la tubería de descarga está colocada arriba de la brida de soporte de la bomba (descarga arriba del nivel del suelo) se debe proveer una placa o zapata circular (fig 4.3). Se debe dejar el suficiente espacio libre en el diámetro interior para permitir el paso de todas las partes de la bomba localizadas abajo de la brida de soporte, así como un registro para inspección a un lado de la cubierta.

- Alineamiento.- Una vez colocada la cimentación, los pernos de ésta deberán sacarse para iniciar la operación del alineamiento del equipo de bombeo.

La unidad debe ponerse sobre la cimentación y soportarse con pequeñas placas de acero cerca de los pernos de anclaje, dejando

un espacio de 2 a 5 cm entre el fondo de la placa y la parte superior del cimiento, para posteriormente, ser llenada por la lechada de concreto.

Con un nivel de burbuja se puede nivelar la base de la unidad. Cuando se pueda, es preferible colocar el nivel en alguna parte expuesta de la flecha de la bomba o superficie pólida de la cubierta. Las tiras de acero bajo la placa, deberán ajustarse hasta que la flecha de la bomba esté a nivel.

Además de la alineación de la bomba y la placa de base, se debe mantener el alineamiento preciso entre los dos medios coples de la bomba y del impulsor (fig 4.4).

Con el objeto de alinear perfectamente los acoplamientos se puede usar una regla recta, y una vez alineados verificar con un calibrador de espesores (fig 4.5) para ver que estén paralelos.

Se puede usar un indicador de carátula atornillado a la mitad de un acoplamiento para verificar tanto el acoplamiento radial como el axial, en vez de usar la regla recta (fig 4.6). Cuando se conecta con un acoplamiento de extensión la bomba con su impulsor se deberá usar un indicador de carátula para verificar el alineamiento (fig 4.7). Para ello, se quita la pieza de extensión entre los dos medios acoplamientos.

Cuando se haya nivelado el equipo de bombeo, se deberá apretar con los dedos las tuercas de anclaje.

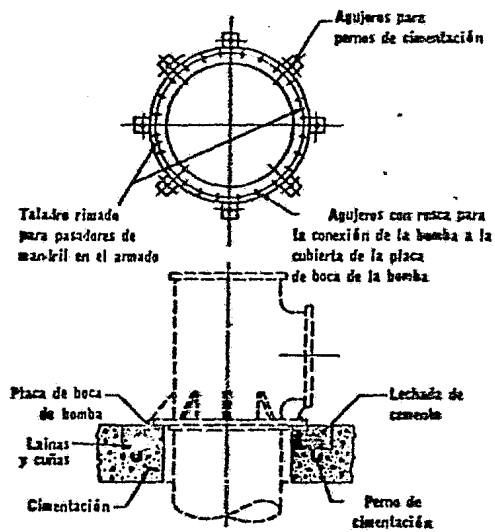


Fig. 4.3 Detalles de placa de boca de bomba, de tipo redondo para bomba vertical con descarga arriba de la superficie del suelo.

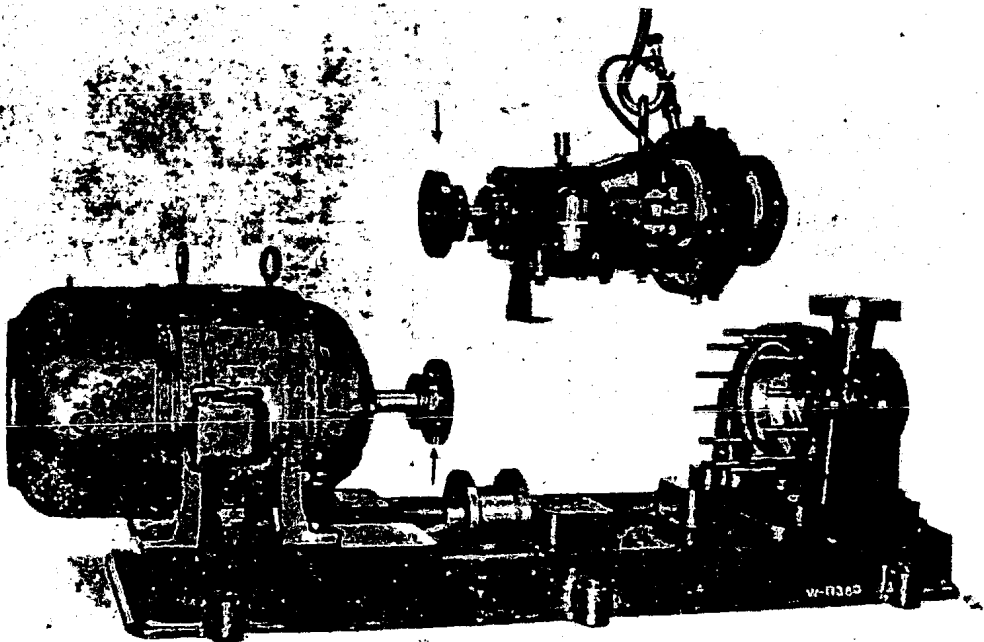


Fig. 4.4 Aplicación de los acoplamientos de extensión en una bomba desmontada.

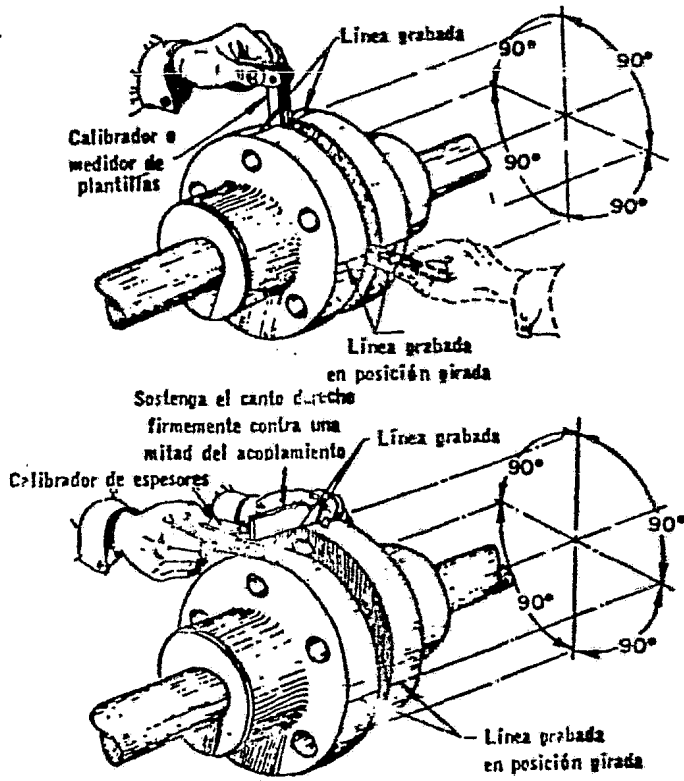


Fig. 4.5 Alineación de un acoplamiento usando calibradores de espesores.

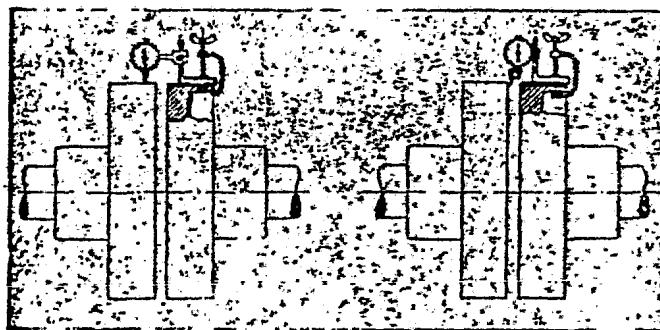


Fig. 4.6 Uso de indicador de carátula para alinear un acoplamiento normal.

- Vaciado de la lechada de concreto.- Ordinariamente, la placa de la base se fija con lechada de concreto antes de hacer las conexiones de la tubería, y antes de verificar finalmente la alineación de los dos medios acoplamientos.

El propósito de fijar la placa de base con lechada de concreto es evitar el movimiento lateral de ella y aumentar su masa para reducir la vibración, así como suavizar las irregularidades de la cimentación. La mezcla común para lechadear está compuesta de una parte de cemento y dos de arena, con suficiente agua para hacer que la mezcla fluya libremente bajo la base.

La parte superior áspera de concreto debe estar bien saturada con agua antes de lechadear. Se construye un molde de madera alrededor y por fuera de la placa base para contener la lechada. Se le agrega la lechada hasta que todo el espacio de abajo de la base esté lleno (fig 4.8).

Cuando la lechada ha fraguado (72 horas o más) se deberán apretar los pernos de sujeción y volver a verificar la alineación de los dos medios acoplamientos.

- Esfuerzos en la tubería.- Una operación satisfactoria en un sistema de bombeo no se puede mantener cuando la tubería ejerce esfuerzos y momentos en una bomba. Un equipo de bombeo puede fácilmente deformarse y salirse de su posición al apretar los tornillos de las bridas de las tuberías. Estas deben colocarse a escuadra una contra otra antes de que se aprieten los tornillos.



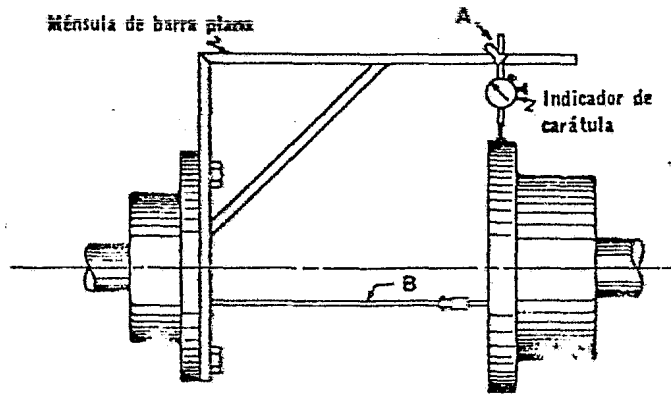


Fig. 4.7 Uso del indicador de carátula para alinear un acoplamiento de tipo extensión.

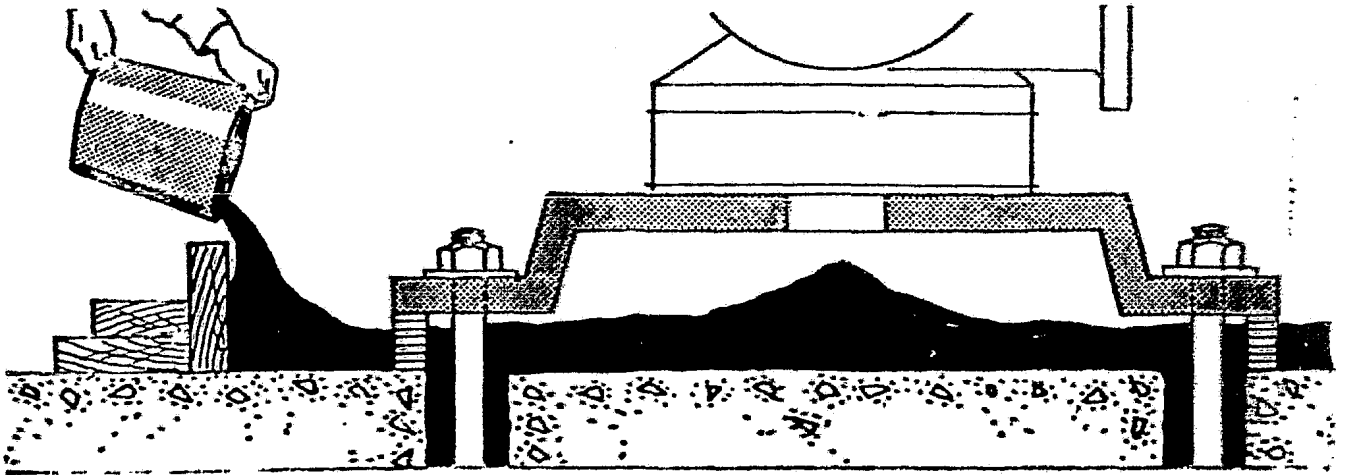


Fig. 4.8 Aplicación de lechada de concreto

La tubería de succión y descarga, y todas las válvulas y equipo anexo deberán soportarse y anclarse cerca de la bomba, pero independientemente de ella, para que no se transmitan esfuerzos a la cubierta de la bomba.

Cuando se trata de bombas grandes, o cuando se suponen fuertes cambios de temperatura, el fabricante de la bomba suministra al usuario la información sobre los esfuerzos máximos permisibles que puede soportar la carcasa de la bomba.

- Tubería de succión.- El principal motivo de dificultades en las instalaciones de bombas centrífugas, además del desalineamiento, son las tuberías de succión defectuosas; por lo cual, se recomienda que sean tan cortas y tan directas como sea posible. Si se requiere una línea de conducción larga, deberá aumentarse el diámetro de la tubería para reducir las pérdidas por fricción.

La tubería de succión debe tenderse con una pendiente de elevación continua hacia la bomba, sin puntos altos, para evitar la formación de bolsas de aire, que invariablemente causan dificultades.

En las tuberías verticales de succión, la entrada es, de preferencia, sumergida en el líquido hasta cuatro veces el diámetro de la tubería.

Después de instalada la tubería de succión, debe taparse y pro-

barse hidrostáticamente para que no tenga fugas antes del arranque inicial.

Los codos y otros accesorios inmediatos a la succión de la bomba deben seleccionarse y arreglarse cuidadosamente o, en caso contrario, se alterará desfavorablemente el flujo dentro del impulsor. Generalmente se prefieren codos de radio largo para las líneas de succión porque ofrecen menos fricción y proveen una distribución más uniforme del flujo que los codos normales.

- Tubería de descarga.- Generalmente, en la tubería de descarga se instalan válvulas de retención (chek) y de compuerta. La primera se coloca entre la bomba y la válvula de compuerta, con el objeto de proteger a la bomba contra el flujo en sentido inverso en el caso de una falla inesperada de energía eléctrica o del impulsor. La válvula de compuerta, se usa cuando se ceba la bomba o cuando se aísla para inspección o reparación.

- Coladeras de succión.- Otra causa común de dificultades en las instalaciones de bombas centrífugas es la entrada de materia extraña de diversos tamaños cuando está operando la bomba. Estas materias extrañas, si son lo suficientemente grandes, pueden atascar la bomba y reducir su capacidad o taparla completamente, impidiendo que bombee; y las pequeñas partículas pueden causar serios daños al acumularse entre los espacios libres de las juntas móviles.

Obviamente las coladeras deben instalarse en las líneas de suc-

ción, las cuales pueden ser de dos tipos : coladera plana de succión (fig 4.9) y coladera de succión perfeccionada (fig 4.10). En la primera se utilizan cedazos planos colocados entre las bridas para retener la materia extraña. Pero siendo ba ra tos no son realmente económicos, ya que el sacar, limpiar y co l o c a r de nuevo esos cedazos representa un costo considerable. En el segundo tipo de coladera se tiene un cedazo inclinado que provoca una caída de presión menor y, por lo tanto, períodos más largos entre limpiezas, que los cedazos planos convencionales. Esta última coladera está provista con una válvula macho de descarga para sacar material extraño acumulado; así, en muchos casos, la mugre acumulada puede descargarse abriendo esta válvula sin tener que parar realmente el sistema. La coladera está ta m bi é n provista de una abertura con válvula, permitiendo que se l a v e el cedazo con un flujo en sentido contrario si es necesario. Es posible limpiar esta coladera en diez minutos de tiempo total fuera de servicio, contra aproximadamente 4 horas que se requieren para coladeras planas convencionales.

- Válvulas de desfogue.- Estas con un uso poco frecuente, se ins ta lan en uno o más puntos altos de la cubierta de la bomba para permitir que escape el aire atrapado. Se usan durante el cebado de la bomba o más tarde, durante su operación.
  
- Instrumentación.- Son varios los instrumentos esenciales para verificar el funcionamiento y condición de las bombas instaladas. Su uso depende de la importancia de la instalación, como

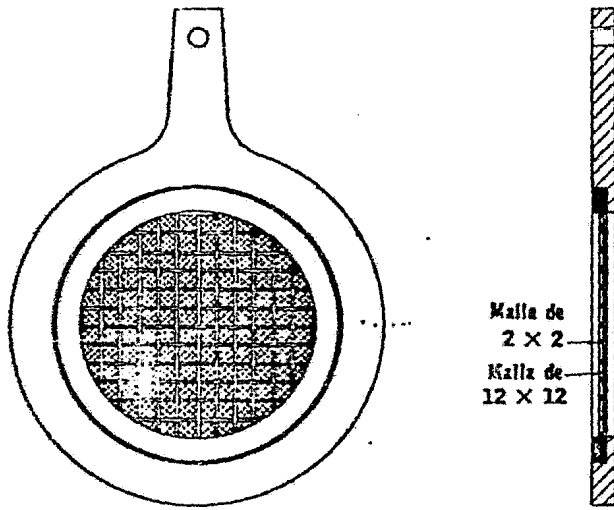


Fig. 4.9 Coladera plana de succión.

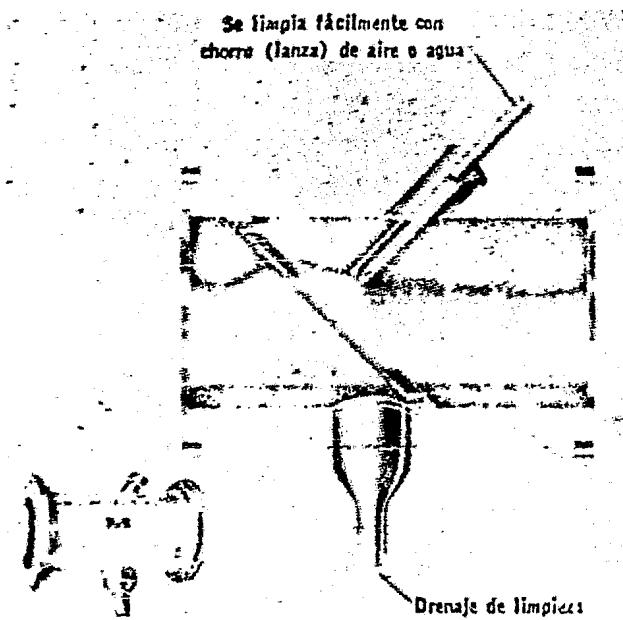


Fig. 4.10 Coladera de succión perfeccionada.

Los manómetros y medidores de gasto.

Los manómetros se colocan tanto en la succión como en la descarga. Los manómetros deben montarse en un lugar conveniente para que puedan observarse fácilmente.

También es necesario proveer un dispositivo medidor de gasto, porque es difícil determinar la capacidad descargada por la bomba sin uno de ellos.

- Control automático de bombeo.- El uso de dispositivos de control automático en sistemas de bombeo permite la obtención de un mayor rendimiento de éstos, al mismo tiempo que reducen los costos de operación y mantenimiento. Se obtiene un mayor rendimiento porque los dispositivos de control mantienen las condiciones de operación tomadas en consideración al diseñar el sistema y seleccionar el equipo. La reducción en cuanto al costo de operación y mantenimiento se logra porque no es necesario tener personal para la operación manual del sistema, y así el equipo queda protegido de operar en condiciones desfavorables.

En un sistema de bombeo para tanques elevados, el control eléctrico se realiza de la siguiente forma :

Una bomba accionada por un motor eléctrico toma el agua de un cárcamo y lo eleva a un depósito. Al llenarse este depósito, el flotador (prolongado con un cable con un contrapeso P) acciona un interruptor que abre el circuito eléctrico del motor, y és

te se para. Por el contrario, al bajar el nivel del agua, el flotador cierra el circuito y la bomba funciona de nuevo (fig 4.11).

De igual forma, se puede instalar otro control eléctrico en el cárcamo, y así evitar que la bomba trabaje en condiciones desfavorables.

#### 4.2 Recomendaciones de operación

En esta parte, se mencionarán brevemente los procedimientos normales de arranque, operación y parada para bombas centrífugas, además de diversos problemas ocasionados por la operación en condiciones normales.

- Cebamiento de una bomba.- Como se menciona en el capítulo 1, el cebamiento es la acción de llenar de líquido una bomba centrífuga, incluyendo la tubería de succión, antes de empezar a operarla. Las bombas centrífugas nunca deben arrancarse sino hasta que estén bien cebadas; las excepciones son las bombas autocebantes y algunas instalaciones especiales de gran capacidad y baja velocidad, en las que no es práctico cebar antes de arrancar; siendo el cebado casi simultáneo con la arrancada.
- Procedimiento de arranque y parada.- Los métodos usados para arrancar bombas están influidos en gran parte por las características de la bomba en cuestión, es decir, por la forma de su curva de carga-capacidad.

Las curvas de carga alta y mediana (velocidad específicas bajas

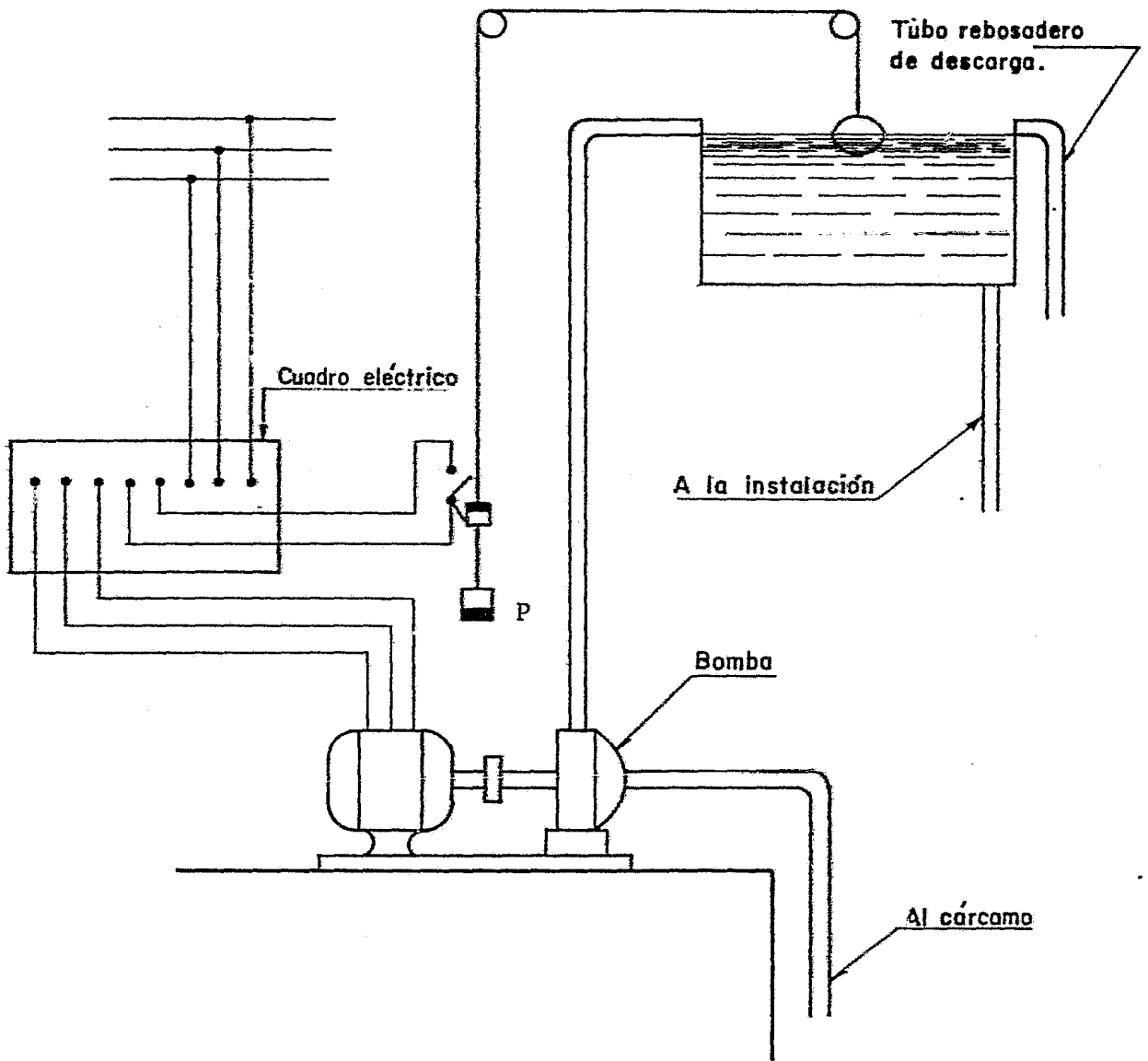


Fig. 4.11 Control eléctrico para tanques elevados



y medianas) deben arrancarse contra la válvula de descarga cerrada, a fin de disminuir la carga inicial en el impulsor.

En caso de bombas de baja carga (velocidad específica alta) del tipo de flujo mixto y de hélice, tienen la característica opuesta, subiendo rápidamente la eficiencia con una reducción de capacidad. Estas bombas, por lo tanto, se deberán arrancar con la válvula de descarga totalmente abierta, contra una válvula de retención, si se requiere, para evitar el flujo en sentido inverso.

Suponiendo que la potencia de una bomba no excede a la potencia segura del motor, y que se va a arrancar contra una válvula de compuerta cerrada, el procedimiento de arranque es el siguiente :

- 1.- Cebear la bomba; abriendo la válvula de succión y cerrando las purgas para preparar la bomba para la operación.
- 2.- Abrir la válvula de suministro de agua a los cojinetes.
- 3.- Abrir la válvula de suministro de agua a los estoperos, si son enfriados por agua.
- 4.- Abrir la válvula de suministro de líquido de sello, si la bomba tiene este equipo.
- 5.- Abrir la válvula de la línea de recirculación si la bomba no debe operarse contra una descarga totalmente cerrada.
- 6.- Arranque el motor.

- 7.- Abrir la válvula de descarga, lentamente.
- 8.- Obsérvese el escurrimiento de los estoperos y ajuste la válvula del líquido de sello para tener un flujo apropiado de lubricación de la empaquetadura. Si la empaquetadura es nueva, no apriete el prensaestopas inmediatamente, sino déjese asentar el empaque antes de reducir el escurrimiento por los estoperos.
- 9.- Verificar la operación general mecánica de la bomba y del motor.
- 10.- Cierre la válvula de la línea de recirculación cuando ya haya suficiente flujo por la bomba, con el objeto de evitar el sobrecalentamiento.

En algunos casos, el agua de enfriamiento de los cojinetes y el líquido de sello es suministrado por la misma bomba, eliminándose la necesidad de los pasos 2, 3 y 4.

El procedimiento para parar una bomba también depende del tipo y del servicio de la bomba. Generalmente, el proceso para parar una bomba que puede operar contra una válvula cerrada es el siguiente :

- 1.- Abra la válvula del sistema de recirculación
- 2.- Cierre la válvula de compuerta
- 3.- Pare el motor

4. Cierre la válvula del suministro de agua de enfriamiento a los cojinetes y estoperos, si son enfriados por agua
- 5.- Si no se requiere de suministro de líquido de sellado cuando la bomba está inactiva, cierre la válvula en esta línea de abastecimiento.
- 6.- Cierre la válvula de succión y abra las válvulas de drenaje, según lo requiera cada instalación en particular, o si se va a abrir la bomba para inspección.

Muchas instalaciones permiten parar el motor antes de cerrar la válvula de compuerta en la descarga.

Generalmente, el arranque y parada de bombas movidas con turbina de vapor y máquinas de combustión, requieren de los mismos pasos y la misma secuencia que las bombas movidas por motor.

A continuación se mencionan algunas reglas generales para operación de bombas :

- Correr una bomba en seco.- Sólo una bomba centrífuga con espacios libres excesivos entre partes estacionarias y las giratorias podrán trabajar en seco por tiempo indefinido. La mayoría de las bombas tienen ajustes precisos en las juntas de escuarrimiento y no pueden operar en seco de ninguna manera, o en al-

gunos casos por más de unos segundos, sin dañarse seriamente.

La única excepción a esta regla es un diseño especial de bombas grandes de baja carga y cebado automático. Para asegurar una operación provechosa en estas condiciones, los espacios libres en los anillos de desgaste se hacen ligeramente más grandes que el diseño normal.

- Estrangulación en la succión.- Si se estrangula la succión de una bomba centrífuga se origina una reducción en la presión absoluta en la entrada del impulsor. Esto puede hacerse para que resulte una reducción en la capacidad, forzando la bomba a operar en "vacío" y reduciendo la capacidad de descarga. Esta operación es dañina, a menos que esté especialmente diseñada para ello.
- Arranque de bombas paradas por falta de corriente eléctrica.- Si una válvula de retención protege a una bomba del fluido inverso después de una falla de corriente, generalmente no hay razón para no volver a arrancarla una vez que se haya establecido la corriente. Sin embargo, algunas bombas con elevación de succión pueden perder su cebado durante el período en que no hay corriente. Esto no se aplica, por supuesto, si las bombas se ceban automáticamente, o si se incluye algún dispositivo de protección para que la bomba no trabaje si no está cebada.

#### 4.3 Recomendaciones de mantenimiento

Debido a la gran variedad de tamaños, partes y diseños de bombas, cualquier

recomendación de mantenimiento debe restringirse a los tipos más comunes de bombas centrífugas.

Deberán estudiarse cuidadosamente los instructivos de mantenimiento antes de dar servicio a una bomba determinada.

La amplitud de los conocimientos que debe tener el personal de mantenimiento acerca de las bombas a su cuidado depende de las demandas de gasto y complejidad del sistema en que están instaladas. Por lo general, el personal de mantenimiento sólo necesita saber las condiciones específicas para el servicio, que generalmente se dan en la placa de la bomba. Ocasionalmente, necesitan también información más completa sobre las características de la bomba para proporcionar inspección y mantenimiento más adecuados.

- Observación diaria.- Las instalaciones de bombas deberán inspeccionarse todos los días, con la frecuencia que la importancia de la instalación y operación ameriten. El operador debe reportar cualquier irregularidad en la operación de la bomba. Se debe percatar de algún cambio o sonido de ésta, así como de incrementos en la temperatura en los cojinetes y el escurrimiento de los estoperos.

En su caso, también se deberán revisar los manómetros e indicadores de flujo.

- Inspección semestral.- El prensaestopas del estopero deberá revisarse cada medio año, verificando que tenga movimiento libre. Se deberán limpiar y aceitar los pernos y tuercas del prensaesto

pas e inspeccionar si los empaques no necesitan reponerse.

El alineamiento de la bomba y del impulsor también debe verificarse, y corregirse si es necesario.

- Inspección anual.- Además del mantenimiento semestral, las bombas centrífugas se deben inspeccionar muy cuidadosamente una vez al año. Se deben desmontar los cojinetes, limpiar y examinar si tienen defectos. Las cajas de los cojinetes deben limpiarse cuidadosamente. Los baleros antifricción deberán examinarse para ver si están rallados o tienen desgaste, después de limpiarse.

Las mitades del acoplamiento deberán desconectarse y verificar el alineamiento.

Si se tienen disponibles dispositivos e instrumentos de medición deberán recalibrarse y comprobar su correcto funcionamiento.

Si se hacen reparaciones internas, deberán probarse la bomba al terminar la reparación.

- Partes de repuesto y reparación.- Por otro lado, se debe mantener constantemente un almacén adecuado de partes y refacciones para la bomba, con el objeto de asegurar una pronta restauración del servicio, en caso de una reparación inesperada, y así evitar cualquier demora en la obtención de partes esenciales de repuesto con el fabricante.

El servicio para el que se usa una bomba centrífuga, determinará el número mínimo de partes de repuesto que se deberán tener en

existencia en el sitio de la instalación. El mínimo de partes para cualquier bomba centrífuga deberá incluir un juego de anillos de desgaste, uno de manguitos de flecha (o una flecha si no se usan manguitos) y un juego de cojinetes. Con frecuencia es conveniente tener un rotor completo de repuesto para instalar a una bomba, cuando éste se ha gastado excesivamente o se ha dañado accidentalmente. Siempre deberá haber en existencia suficiente empaquetadura de repuesto y material para las juntas con cubierta axialmente dividida.

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

- "BOMBAS, SU SELECCION Y APLICACION"  
Tyler G. Hicks  
Compañía Editorial Continental, S.A. 1979
  
- "BOMBAS, TEORIA, DISEÑO Y APLICACIONES"  
Manuel Viejo Zubicaray  
Editorial Limusa, S.A. 1981
  
- "BOMBAS CENTRIFUGAS. SELECCION, OPERACION Y MANTENIMIENTO"  
Igor J. Karassik y Roy Carter  
Compañía Editorial Continental, S.A. 1980
  
- "CURSOS DE SELECCION, APLICACION Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS  
CENTRIFUGAS PARA AGUA Y OTROS LIQUIDOS"  
Industrias Ocelco de México,S.A. ITT-1971
  
- "APUNTES DEL CURSO DE LA MATERIA DE INSTALACIONES SANITARIAS"  
Ing. Enrique Chiñas de la Torre. 1982
  
- "REVISTAS Y CATALOGOS"
  - . Manufacturero Fairbanks Morse, S.A.
  - . Peerless TISA, S.A.
  - . Industrias Ocelco de México, S.A.